








# Evaluación química, nutricional *in vitro* e *in situ* de ensilado de papaya de desecho y pasto pangola

Marcelino Gómez-Trinidad<sup>1</sup> ; Paulino Sánchez-Santillán<sup>1\*</sup> ; Jerónimo Herrera-Pérez<sup>2</sup> ;  
Adán García-Balbuena<sup>2</sup> ; Guadalupe Nuñez-Martínez<sup>2</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico, Guerrero, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N° 2. Guerrero, México.

\*Correspondencia: [sanchezsantillanp@gmail.com](mailto:sanchezsantillanp@gmail.com)

Recibido: Julio 2022; Aceptado: Diciembre 2022; Publicado: Enero 2023.

## RESUMEN

**Objetivo.** Caracterizar nutritivamente *in vitro* e *in situ* ensilados con 75% de papaya de desecho y 25% de pasto pangola como base y 3% de melaza de caña como aditivo. **Materiales y métodos.** Los silos en bolsa (50 kg) se fermentaron por 21 d para medir características de calidad (pH, nitrógeno amoniacal, materia seca (MS), ácido láctico y ácidos grasos volátiles (AGV)) y químicas (proteína cruda (PC), cenizas (Ce), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA)). En la prueba *in vitro* se midió producción parcial a las 24, 48 y 72 h y acumulada a 72 h de biogás y metano, degradación de MS, FDN y FDA a las 72 h. La digestibilidad *in situ* se determinó a 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 y 96 h, así como la cinética de digestibilidad de los nutrientes (MS, PC, FDN, FDA y MO). **Resultados.** Las características de calidad se encuentran dentro de los rangos establecidos para considerar un buen ensilado. En el contenido químico sobresale 5.1% de PC y 70.0% de FDN. En las primeras 24 h, se produjo 72.3% de biogás y 70.5% de metano. Las degradaciones fueron de 64% para MS, 51% en FDN y 55% en FDA. La digestibilidad *in situ* a las 72 h mostró degradaciones de 63% para MS, 82% para PC, 49% para FDN y 47% para FDA. **Conclusiones.** La elaboración de ensilado con papaya de desecho y pasto pangola es una alternativa no convencional para la alimentación de rumiantes.

**Palabras clave:** Fruta; sobreproducción frutal; características calidad; ensilaje; silos en bolsa (Fuente: DeCS).

## ABSTRACT

**Objective.** To characterize *in vitro* and *in situ* nutritional characterization of silages with 75% papaya residues and 25% pangola grass as a base and 3% sugarcane molasses as an additive. **Materials and methods.** Bagged silos (50 kg) were fermented for 21 d to measure quality (pH, ammonia nitrogen, dry matter (DM), lactic acid and volatile fatty acids (VFA)) and chemical characteristics (crude protein (CP), ash (As), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF)). In the *in vitro* assay, partial production at 24, 48 and 72 h and cumulative production at 72 h of biogas and methane, DM, NDF and ADF degradation at 72 h were measured. *In situ* digestibility was determined at 3, 6, 9, 12, 24, 24, 24, 36, 72 and 96 h, and nutrient digestibility kinetics (DM, CP, NDF, ADF and

### Como citar (Vancouver).

Gómez-Trinidad M, Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, García-Balbuena A, Nuñez-Martínez G. Evaluación química, nutricional *in vitro* e *in situ* de ensilado de papaya de desecho y pasto pangola. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(1):e2883. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2883>



©El (los) autor (es) 2023. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

OM). **Results.** The quality characteristics are within the established ranges for considering a good silage. In the chemical content, 5.1% CP and 70.0% NDF stand out. In the first 24 h, 72.3% biogas and 70.5% methane were produced. Degradations were 64% for DM, 51% for NDF and 55% for ADF. *In situ* digestibility at 72 h showed degradations of 63% for DM, 82% for CP, 49% for NDF and 47% for ADF. **Conclusions.** The preparation of silage with papaya and pangola grass residues is a non-conventional alternative for ruminant feeding.

**Keywords:** Fruit; fruit overproduction; quality characteristics; silage; bagged silos (*Source: DeCS*).

## INTRODUCCIÓN

Estimaciones de la FAO indican que 13.8% de la producción mundial de alimentos se pierden entre la explotación agrícola y el comercio al por menor (1). La reducción de desperdicio de alimento disminuye los costos de producción, mejora la seguridad alimentaria y contribuye a la sustentabilidad del medio ambiente (2). La papaya (*Carica papaya L*) se produce en el trópico de México y Centroamérica; crece y desarrolla en zonas cálidas y húmedas. México destinó 20,100 Ha a la producción de papaya en el 2020 (3), donde el estado de Oaxaca es el mayor productor y aporta 31% de la producción nacional, seguido por Colima (17%), Chiapas (14%), Veracruz (10%) y Guerrero (4%). La pulpa de papaya es rica en minerales y vitaminas; mientras la semilla contiene glucosinolatos, tocoferoles, carotenoides e isotiocianato de bencilo. Este fruto se caracteriza como antioxidante por su contenido de fenoles, flavonoides y alcaloides (4).

Las pérdidas poscosecha de papaya se estiman en 30% y se atribuyen a rápido ablandamiento que reduce vida de anaquel, daños mecánicos, frío extremo, enfermedades posteriores al corte, así como madurez avanzada (5). Estos desperdicios contienen carbohidratos que se pueden fermentar en ácido láctico para la alimentación de rumiantes mediante la técnica de ensilado (6). El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes frescos y residuos de frutas de temporada (2). Estudios *in vitro* mencionan que se pueden elaborar silos con papaya de desecho, usando heno de pasto estrella como absorbente de humedad, urea y melaza de caña de azúcar como aditivos; por los valores reportados en las características de calidad (contenido de materia seca, nitrógeno amoniacal, pH y ácido láctico) y fermentativas *in vitro* (producción de biogás y degradaciones) concluyeron que es una alternativa no convencional en la alimentación de rumiantes (7). **Objetivo.** Determinar las características de calidad, nutricionales y fermentativas *in vitro* de

ensilajes elaborados con papaya madura (*Carica papaya L.*) Sin embargo, son escasos los estudios donde se usa la papaya de desecho como base para la elaboración de ensilados. Por lo que el objetivo del presente estudio fue caracterizar nutritivamente *in vitro* e *in situ* ensilados con 75% de papaya de desecho y 25% de pasto pangola como base y 3% melaza de caña como aditivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio de Nutrición Animal y posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero, Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

**Silos.** La papaya de desecho se recolectó en papayales de la localidad de José María Morelos, Oaxaca, México. Las pacas de pasto pangola (150 d rebrote) se compraron en Cuajinicuilapa, Guerrero, México. La papaya y el heno se molieron en un molino (M.A.GRO® TR-3500, México) con una criba de 2.54 cm. Los 5 silos (50 kg) se realizaron en bolsa de propileno de 70x120 cm, calibre 600. La composición base fue 75% de papaya de desecho y 25% de pasto pangola con 3% de melaza de caña como aditivo para asegurar la disponibilidad de carbohidratos fácilmente fermentables para las bacterias lácticas durante el proceso de fermentación. La extracción de aire y amarre de los silos; así como el tiempo de almacenamiento fue según Cañaverl-Martínez et al (8).

**Indicadores de calidad.** El pH y contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) se determinaron según lo descrito por Cañaverl-Martínez et al (8). El contenido de materia seca (MS) fue según AOAC (9). El ácido láctico se determinó con la metodología de Taylor (10) modificado por Cañaverl-Martínez et al (8). La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) se determinó al tomar 1 mL de fluido (30 g de ensilado + 150

mL de HCl 1% con 24 h de refrigeración), se filtró y colocó en un tubo Eppendorf (2 mL) con 0.25 ml de ácido metafosfórico a 25% (MEYER®). La concentración de AGV se determinó en un cromatógrafo de gases Claurus 500, Pekín Elmer, USA), provisto con un automuestreador, una columna capilar de 15 m (ELITE-FFAP, Pekín Elmer, USA), y un detector de ionización de flama (FID). El gas acarreador fue N<sub>2</sub> a 60 psi, se usó H<sub>2</sub> y aire extra seco para generar la flama. Las temperaturas del horno, inyector y columna fueron 120, 250 y 250°C, respectivamente. El tiempo de retención fue de 1.22, 1.55 y 2.02 min para los ácidos acético, propiónico y butírico, respectivamente.

**Análisis químico.** La deshidratación y molido del ensilado fue según lo descrito por Cañaveral-Martínez et al (8). El contenido de proteína cruda (PC; método 976.05), cenizas (Ce; método 942.05) fue con la metodología de la AOAC (9). La materia orgánica (MO) se calculó al restar a 100 el porcentaje de Ce. La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa se realizó con la metodología de ANKOM Technology Method según Van Soest et al (11).

**Ensayo *in vitro*.** El medio de cultivo se preparó según Cobos y Yokoyama (12) modificado por Cañaveral-Martínez et al (8). A un vial serológico de vidrio (120 mL) con 0.5 g de MS de ensilado se adicionaron 40 mL de medio de cultivo. Los viales se sellaron herméticamente con un tapón de neopreno (20 mm Ø) y con un arillo de aluminio. Los viales se inocularon con 10 mL de bacterias ruminales y se incubaron a 39°C por 72 h en baño María. La producción de biogás se midió según lo descrito por Cañaveral-Martínez et al (8). La producción de biogás se reportó parcialmente a las 24, 48 y 72, así como el acumulado a las 72 h. Los valores de la producción de biogás acumulado se usaron para estimar la cinética de producción de biogás mediante el modelo Gompertz (13).

La concentración parcial de metano (CH<sub>4</sub>) se midió a las 24, 48 y 72 h, así como el acumulado a las 72 h según la metodología descrita por Torres-Salado et al (14). Después de las 72 h de incubación se determinaron las características fermentativas: pH, degradación de la materia seca (15); así como la degradación de la FDN y FDA por diferencia entre la FDN o FDA inicial del ensilado y la FDN o FDA residual en el ensilado después del proceso de fermentación *in vitro*.

**Ensayo *in situ*.** La digestibilidad *in situ* se obtuvo usando dos vacas (Suiz-Bu) con un peso vivo de 350 ± 30 kg, provistas de cánula ruminal permanente (10.16 cm de diámetro interno, Bar Diamond®, Parma, Idaho, USA). Las vacas se alimentaron con pasto pangola molido de 150 d de rebrote a libre acceso con un suplemento en base húmeda compuesto por 20 kg de ensilado de papaya y 2 kg de alimento comercial (Api-aba®, 11% PC). El agua fue a libre acceso.

En bolsas de poli-seda (10 x 20 cm) se colocaron 5 g de ensilado con tamaño de partícula de 1 mm y se sellaron con cinchos de plástico (100 x 2.5 mm). Para cada tiempo (3 repeticiones independientes), las bolsas se remojaron en agua a 39°C por 10 min y después se incubaron en el rumen de cada vaca por 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 y 96 h (16). Las variables ruminales promedio durante el ensayo se muestran en la Tabla 1. Las bolsas se sujetaron a una cadena de hierro galvanizado (1.5 x 100 cm) y se fijó al tapón de la cánula ruminal y el orden de introducción al rumen fue inverso al tiempo de incubación para retirar todas las muestras simultáneamente al concluir el periodo de incubación. Posteriormente, las bolsas se enjuagaron con agua corriente fría hasta que el agua de enjuague fue clara. Las bolsas de 0 h no se incubaron en rumen, únicamente se enjuagaron con el mismo protocolo que aquellas que se incubaron en rumen (17).

**Tabla 1.** pH, nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), conteo de bacterias y protozoarios total de las vacas usadas en el ensayo *in situ*

Vaca	Hora	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/dL)	Bacteria (10 <sup>9</sup> células/ mL)	Protozoarios (10 <sup>5</sup> células/ mL)
1	3	6.0	10.8	4.05	4.69
	6	5.8	9.4	4.45	8.28
	9	6.6	6.0	4.75	5.31
	12	6.3	7.4	4.70	4.53
	24	6.0	10.8	3.95	3.13
	36	5.8	11.5	3.70	3.28
	72	6.4	5.3	4.70	4.69
	96	6.1	4.6	4.85	4.84
	Promedio vaca 1	6.1	8.2	4.39	4.84
2	3	6.8	3.2	3.90	6.09
	6	7.1	11.5	3.85	5.63
	9	7.4	5.3	4.00	2.50
	12	6.8	4.6	4.45	1.63
	24	6.2	8.1	5.30	5.16
	36	6.9	6.7	4.75	4.06
	72	6.5	8.8	5.00	6.41
	96	6.8	6.0	4.15	6.58
	Promedio vaca 2	6.8	6.8	4.43	6.58
Promedio General	6.5	7.5	4.41	5.71	

Las bolsas con el residual se secaron a 55°C por 72 h y se pesaron para determinar la digestibilidad de MS por diferencia de peso. Los residuos de las bolsas en cada vaca y cada tiempo se agruparon para obtener una muestra compuesta. A estas se determinó PC (9), FDN y FDA (11).

La cinética de digestibilidad *in situ* de MS, PC, FDN y FDA se estimaron mediante un procedimiento de regresión no lineal de SAS® (18) utilizando la ecuación descrita por Ørskov y McDonald (19):  $P = a + b [1 - e^{(-c*t)}]$ ; donde:

P= digestibilidad ruminal en el tiempo t (%);  
a= la fracción digestible rápidamente soluble (%);  
b= la fracción lenta o potencialmente digestible (%);  
a+b = la máxima digestibilidad potencial (%);  
c= la velocidad a la que b se digiere (%/h);  
t= tiempo (h) de incubación en el rumen.

**Análisis estadístico.** A los indicadores de calidad y análisis químico (5 repeticiones independientes), así como las variables de los ensayos *in vitro* (10 repeticiones independientes) e *in situ* (6 repeticiones independientes) se realizó un análisis descriptivo usando software InfoStat (20) para obtener media, desviación estándar, máximo y mínimo.

**Aspectos éticos.** El protocolo experimental relacionado con el manejo de los animales se basó en el Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación especificados en las normas oficiales de los Estados Unidos Mexicanos (NOM\_062-ZOO-1999).

## RESULTADOS

Los indicadores de calidad y análisis químico del ensilado de papaya de desecho con pasto pangola se muestran en la tabla 2.

Del total de biogás producido por el ensilado de papaya de desecho, 72.3% se produjo en las primeras 24 h, 20.6% de las 24 a 48 h y el resto de las 48 a 72 h. Respecto, a la producción acumulada de CH<sub>4</sub>, 70.5% se produjo en las primeras 24 h, 17.0% en las siguientes 24 h y 12.5% de las 48 a 72 h (Tabla 3).

En las primeras 24 h, la producción parcial de CH<sub>4</sub> representó 22.6% del biogás parcial producido, 19.1% de las 24 a 48 h y 40.5% de las 48 a 72

h. Sin embargo, el acumulado a las 72 h mostró que la producción de CH<sub>4</sub> representó 23.13% del biogás acumulado producido (Tabla 3). Además, los valores de la cinética de fermentación y degradación de MS, FDN y FDA del ensilado de papaya de desecho y pasto pangola se muestran en la tabla 3.

**Tabla 2.** Características de calidad y química de ensilado de papaya de desecho y heno de pasto pangola.

Variable	Media	DE	MIN	MAX
pH	3.4	0.1	3.4	3.6
Materia seca (%)	26.3	2.1	22.3	28.8
Nitrógeno amoniacal (% N <sub>2</sub> T)	1.1	0.2	0.8	1.4
Ácido láctico (% MS)	7.6	1.0	5.8	8.8
Ácido acético (g/Kg MS)	19.3	3.4	16.0	22.8
Ácido propiónico (g/Kg MS)	0	0	0	0
Ácido butírico (g/Kg MS)	0	0	0	0
Proteína cruda (%)	5.1	0.4	4.7	5.5
Cenizas (%)	6.4	0.0	6.4	6.4
Materia orgánica (%)	93.6	0.0	93.6	93.6
Fibra detergente neutro (%)	70.0	1.4	68.7	71.4
Fibra detergente ácido (%)	42.2	1.1	41.1	43.3
Hemicelulosa (%)	27.8	0.3	27.6	28.1

DE: Desviación estándar; MIN: Mínimo; MAX: Máximo; N<sub>2</sub>T: nitrógeno total

**Tabla 3.** Ensayo *in vitro* de ensilado de papaya de desecho y heno de pasto pangola

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Producción de biogás (mL/g MS)				
0-24 h	155.9	4.9	146.9	159.9
24-48 h	44.5	1.2	42.6	46.8
48-72 h	15.3	1.3	12.8	17.0
0-72 h (Acumulada)	215.7	4.7	208.7	221.4
Producción de metano (mL/g MS)				
0-24 h	35.2	2.8	29.1	37.6
24-48 h	8.5	2.8	2.1	12.8
48-72 h	6.2	2.2	5.2	12.8
0-72 h (Acumulada)	49.9	3.6	43.0	54.7
pH	6.7	0.0	6.7	6.8
Degradación (%)				
MS	64.0	1.1	62.3	66.8
FDN	51.6	1.8	49.2	55.7
FDA	55.4	2.9	51.0	59.7
A (mL/g MS)	204.9	4.4	198.6	211.1
b (mL/h)	2.5	0.1	2.4	2.6
k (h)	0.112	0.005	0.105	0.121

MS = materia seca; FDN = fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácido; A = producción potencial de biogás total; k = tiempo Lag; b = tasa constante de producción de biogás del material potencialmente degradable.

La digestibilidad *in situ* de las 6 a las 9 h de incubación en rumen presentó el mayor cambio en la digestibilidad con 15.7% y el menor de 72 a 96 h con 6.4% (Tabla 4). La digestibilidad *in situ* mostró variación en los tiempos evaluados, dado que a las 3 h fue mayor la digestibilidad que las 6 y 9 h, mientras que la digestibilidad a las 36 h fue menor que la determinada a las 9, 12 y 24 h de incubación (Tabla 3). El mayor cambio en la digestibilidad *in situ* de la FDN en los intervalos de tiempo evaluados fue de las 3 a las 6 h (42.5%), mientras que el menor fue de las 72 a 96 h (10.8%). Para el caso de la digestibilidad de la FDA, el mayor aumento fue de las 6 a 9 h de incubación (35.9%) y el menor de las 72 a 96 h (9.8%). Los estimadores *a*, *b*, *a+b* y *c* de la digestibilidad de la MS, PC, FND y FDA se muestran en la Tabla 4.

## DISCUSIÓN

El objetivo del presente manuscrito fue caracterizar nutritivamente *in vitro* e *in situ* ensilados con 75% de papaya de desecho y 25% de pasto pangola como base y 3% de melaza de caña como aditivo; esto como una alternativa no convencional en la alimentación de rumiantes en el trópico. Dado que anualmente el procesamiento de frutas tropicales genera grandes cantidades de residuos (2) por la estacionalidad de la producción de frutas tropicales y sus desechos, además de disminuir su efecto contaminante (22). En la literatura se reportan estudios donde usan la papaya en ensilados de pescado por la enzima papaína (23) o silos de residuos como cáscaras y semillas únicamente (24).

El aseguramiento de un buen proceso de ensilado tiene como principios que se tenga entre 30 y 35% de materia seca, así como azúcares solubles disponibles (25). La disponibilidad de azúcares no fue limitante porque la papaya madura contiene 43.5 mg/g MS y la melaza 519.3 mg/g MS azúcares (26). Sin embargo, la papaya contiene 12% de MS (7,27), por lo que se requirió del pasto pangola para absorber el exceso de humedad o afluentes de la papaya, como lo publicó Guzmán et al (22); quienes usaron rastrojo de maíz para absorber los efluentes de mango de desecho para su conservación con la técnica de ensilado.

**Tabla 4.** Ensayo *in situ* de ensilado de papaya de desecho y heno de pasto pangola

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Digestibilidad de materia seca (%)				
3 h	34.36	0.32	34.17	35.01
6 h	37.83	2.08	35.31	40.85
9 h	43.76	0.75	42.79	44.54
12 h	46.79	1.76	43.49	48.25
24 h	51.56	2.21	47.52	53.97
36 h	57.20	2.42	53.52	59.86
72 h	63.22	5.77	57.49	69.14
96 h	67.24	5.19	62.1	72.29
<i>a</i> (%)	33.4	1.2	31.4	34.9
<i>b</i> (%)	35.2	7.8	26.9	43.9
<i>a+b</i> (%)	68.6	8.5	60.4	78.2
<i>c</i> (%/h)	0.036	0.014	0.021	0.054
Digestibilidad de proteína cruda (%)				
3 h	69.6	0.2	69.5	70.0
6 h	60.4	13.0	47.8	73.4
9 h	66.0	7.3	58.9	73.0
12 h	72.0	1.5	69.6	73.3
24 h	80.1	0.9	78.5	81.1
36 h	63.5	6.1	57.4	70.2
72 h	82.8	4.7	78.2	87.3
96 h	73.7	3.5	69.9	77.2
<i>a</i> (%)	63.0	4.4	58.3	67.2
<i>b</i> (%)	12.8	6.9	6.1	20.2
<i>a+b</i> (%)	75.9	2.5	73.3	78.5
<i>c</i> (%/h)	0.120	0.088	0.043	0.242
Digestibilidad de la fibra detergente neutro (%)				
3 h	12.7	0.6	11.9	13.1
6 h	18.1	2.9	15.3	22.0
9 h	24.2	1.0	22.5	25.2
12 h	28.7	0.9	27.1	29.8
24 h	33.5	1.2	32.1	35.2
36 h	42.7	3.5	38.4	46.8
72 h	49.8	8.9	41.0	58.8
96 h	55.2	8.0	47.3	62.9
<i>a</i> (%)	11.9	1.5	10.1	14.1
<i>b</i> (%)	45.5	11.1	34.7	56.0
<i>a+b</i> (%)	57.3	12.5	45.7	70.0
<i>c</i> (%/h)	0.034	0.012	0.021	0.045
Digestibilidad de la fibra detergente ácido (%)				
3 h	13.0	1.5	11.2	14.4
6 h	17.0	3.5	13.8	21.5
9 h	23.1	3.1	19.3	26.0
12 h	27.9	2.0	25.8	30.8
24 h	31.3	3.1	28.0	34.9
36 h	40.1	6.3	33.1	46.8
72 h	47.8	11.2	36.8	58.8
96 h	52.5	9.0	43.7	61.1
<i>a</i> (%)	12.8	2.6	10.1	15.9
<i>b</i> (%)	42.5	11.2	31.5	53.5
<i>a+b</i> (%)	55.3	13.7	42.5	69.4
<i>c</i> (%/h)	0.030	0.010	0.020	0.040

*a* = fracción soluble de digestibilidad rápida; *b* = fracción lenta o potencialmente digestible; *a+b* = máxima digestibilidad potencial; *c* = velocidad a que *b* se digiere



Kung et al (25) reportaron que las concentraciones de productos finales de fermentación en varios ensilados (leguminosas con hasta 35% de MS, maíz de 30 a 40% de MS) es de 3.7 a 4.5 de pH, 2 a 4% de ácido láctico respecto a la MS, 1 a 3% de ácido acético, menos de 0.5% tanto de ácido propiónico y ácido butírico, 5 a 15% de N-NH<sub>3</sub> respecto al % de N<sub>2</sub> total. Los valores reportados en el presente estudio (Tabla 2) se encuentran dentro de estos rangos, además de adecuada fermentación láctica; por lo que el ensilado de papaya de desecho con pasto pangola se puede considerar de buena calidad (25).

La concentración de MS y pH similar, menores en N-NH<sub>3</sub> y mayores en ácido láctico (Tabla 2) se reportaron en ensilados elaborados con 75% de papaya de desecho, 25% de pasto estrella con 2% urea y 3% de melaza de caña como aditivos (7). Así mismo, valores similares de pH, menores en ácido láctico y contenido de MS (Tabla 2) se reportaron en ensilados elaborados con 72.5% de cáscara con pulpa de calabaza, 22.5% de heno de pasto pangola, 3% melaza de caña y 2% de urea (28).

Las variables del análisis químico del ensilado de papaya con pasto pangola (Tabla 2) se asumen a las características de los ingredientes de su elaboración, ya que el contenido de FDN es 70% y menor a 5% el contenido de proteína. Esto porque el pasto pangola tenía más de 150 d de rebrote, de modo que conforme creció el pasto desarrolló su pared celular como soporte compuesta de celulosa y lignina, además la síntesis de nitrógeno disminuyó (29). Valores similares de contenido de FDN y FDA, así como inferiores de PC (Tabla 2) se reportaron en ensilados de papaya de desecho, pasto estrella y 3% de melaza de caña (7). Además, valores superiores en FDN, FDA y PC (Tabla 2) en ensilados elaborados con residuos de cáscara con pulpa de calabaza, pasto pangola, usando urea y melaza de caña como aditivos (28).

La producción parcial y acumulada de biogás y metano *in vitro* en el presente estudio (Tabla 3) se asume a la naturaleza y fermentación de los carbohidratos; dado que el biogás y metano son resultado de la fermentación en acetato, propionato y butirato (30). Valores similares de producción de biogás y metano (Tabla 3) fueron expresados en ensilados de 80% mango de desecho, 20% pasto pangola y 3% de melaza

de caña (31); así como inferiores en biogás y similares en metano (Tabla 3) en ensilados con 75% de papaya de desecho y 25% de pasto estrella fermentados por 28 días (7).

Los valores de DFDN en la prueba *in vitro* (Tablas 3) e *in situ* (Tabla 4) son similares porque son dos métodos biológicos que sirven para estimar la digestibilidad de los alimentos (32). La importancia de determinar la DFDN es para predecir el consumo del alimento, la producción de leche (33), contenido de energía del ensilado, comportamiento animal (34). Un aspecto importante a considerar es el uso del heno de pasto pangola, ya que su estado de madurez influyó sobre la DFDN por el proceso de lignificación durante su desarrollo (35). Sin embargo, durante el proceso de fermentación láctica, se aumentó la solubilidad de la lignina por la hidrólisis de los complejos fenólicos que la constituyen (36).

La DFDA en las pruebas *in vitro* e *in situ* fueron similares a las 72 h (Tablas 3 y 4). Esto permite inferir sobre la digestibilidad del contenido de celulosa y lignina del ensilado, de modo que los valores de digestibilidad de FDN del presente estudio (Tablas 3 y 4) son mayores a los ensilados de mango de desecho (31) y papaya de desecho (7), ambos usando heno de pasto altamente lignificado; así mismo mayores en DFDN y DFDA que el pasto pangola con 56 d de rebrote (37).

Los estimadores de la cinética de fermentación de gas del ensilado de papaya de desecho sirven para interpretar la curva de crecimiento del inóculo, energía metabolizable y degradación de la materia orgánica (28); mientras los estimadores de la cinética de digestibilidad *in situ* de los nutrientes permite diferenciar entre las fracciones solubles y potencialmente digestibles, así como su velocidad de digestibilidad en rumen (19). La información del presente estudio sobre el contenido químico, características de calidad, características fermentativas *in vitro* y digestibilidad *in situ* de ensilados elaborados con una base de 75% de papaya de desecho y 25% de heno de pasto pangola con más de 150 d de rebrote; usando 3% de melaza de caña de azúcar como aditivo; indican que se puede usar como una alternativa no convencional en la alimentación de rumiantes, requiriendo ensayos *in vivo* para corroborar los resultados obtenidos.

## Conflicto de intereses

Los autores del presente estudio declaramos que no existe conflicto de intereses con la publicación de este manuscrito.

## Agradecimientos

Al cuerpo Académico UAGro-CA-183 Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico, por el financiamiento para que se llevará a cabo la presente investigación.

## REFERENCIAS

1. FAO. Food loss and waste database [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022 [citado 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/flw-data/en/>
2. Yang J, Tan H, Cai Y. Characteristics of lactic acid bacteria isolates and their effect on silage fermentation of fruit residues. *J Dairy Sci.* 2016; 99(7):5325-5334. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10952>
3. SIAP. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [Internet]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022 [citado 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
4. Sharma A, Bachheti A, Sharma P, Bachheti RK, Husen A. Phytochemistry, pharmacological activities, nanoparticle fabrication, commercial products and waste utilization of *Carica papaya* L.: A comprehensive review. *Curr Res Biotechnol.* 2020; 2:145-160. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2020.11.001>
5. Zerpa-Catanho D, Esquivel P, Mora-Newcomer E, Sáenz MV, Herrera R, Jiménez VM. Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L. 'Pococí' hybrid). *Postharvest Biol Technol.* 2017; 125:42-51. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.002>
6. Pathak PD, Mandavgane SA, Kulkarni BD. Waste to Wealth: A Case Study of *Papaya Peel*. *Waste Biomass Valorization.* 2019; 10(6):1755-1766. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0181-x>
7. Sánchez-Santillán P, Marcial LAS, Jiménez LAS, Salado NT. Características de calidad, químicas y fermentativas *in vitro* de ensilados de papaya (*Carica papaya* L) de desecho y heno de pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis*). *Trop Subtrop Agroecosystems.* 2022; 25(1):12. <https://www.revista.coba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3863>
8. Cañaveral-Martínez UR, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Sánchez-Hernández D, Herrera-Pérez J, Rojas-García AR. Características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilado de mango maduro. *Rev Mex Agroecosistemas.* 2020; 8(Supl 1):82-90. <https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/volumen-8-n-1/>
9. AOAC. Official methods of analysis [Internet]. 18.<sup>a</sup> ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist; 2005. Disponible en: <https://www.eoma.aoac.org/>
10. Taylor KACC. A simple colorimetric assay for muramic acid and lactic acid. *Appl Biochem Biotechnol.* 1996; 56(1):49-58. <https://doi.org/10.1007/BF02787869>
11. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 1991; 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
12. Cobos MA, Yokoyama MT. *Clostridium paratrificum* var. *Ruminantium*: colonisation and degradation of shrimp carapaces *in vitro* observed by scanning electron microscopy. *En: Wallace RJ, Lahlou-Kassi, editores. Rumen Ecology Research Planning. Addis Ababa, Ethiopia: Proceedings of a Workshop held at the International Livestock Research Institute; 1995.*

13. Lavrenčič A, Stefanon B, Susmel P. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Anim Sci*. 1997; 64(3):423-431. <https://doi.org/10.1017/S1357729800016027>
14. Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Rojas-García AR, Herrera-Pérez J, Hernández-Morales J. Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano. *Arch Zootec*. 2018; 67(257):55-59. <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3491>
15. Hernández-Morales J, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Rojas-García AR, Reyes-Vázquez I, Mendoza-Núñez MA. Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Rev Mex Cienc Pecu*. 2018; 9(1):105-120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
16. Rosero NR, Posada SO. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Rev Colomb Cienc Pecu*. 2007; 20(2):174-182. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324134>
17. Peng K, Gresham GL, McAllister TA, Xu Z, Iwaasa A, Schellenberg M, Chaves AV, Wang Y. Effects of inclusion of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) with native cool-season grasses on *in vitro* fermentation and *in situ* digestibility of mixed forages. *J Anim Sci Biotechnol*. 2020; 11(1):23. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0418-6>
18. SAS Institute Inc. Statistical Analysis System, SAS, Cary, NC: SAS Inst; 2011. <https://support.sas.com/en/software/sas-stat-support.html>
19. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci*. 1979; 92(2):499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
20. Di Rienzo JA, Balzarini MG, Gonzalez L, Cazanoves F, Tablada M, Robledo WC. InfoStat versión 2020. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; 2020. <https://www.infostat.com.ar/>
21. 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. SENASICA, México; 2001. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-62-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-62-ZOO-1999_220801.pdf)
22. Guzmán O, Lemus C, Martínez S, Bonilla J, Plasencia A. Características químicas del ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L.) destinado a la alimentación animal. *Rev Cuba Cienc Agríc*. 2012; 46(4):369-374. <http://cjascience.com/index.php/RCCA/article/view/165>
23. Parisuaña-Callata JP, Churacutipa-Mamani M, Salas A, Barriga-Sánchez MB, Araníbar M. Ensilado de residuos de trucha en la alimentación de ovinos de engorde. *Rev Investig Vet Perú*. 2018; 29(1):151-160. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14160>
24. Wimalasiri S, Somasiri SC. Ensiled fruit peels of pineapple (*Ananas comosus*) and papaya (*Carica papaya*) as an animal feed. 2nd International Conference on Agriculture, Food Security and Safety. 2021; (2):29-43. <https://doi.org/10.32789/agrofood.2021.1003>
25. Kung L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J Dairy Sci*. 2018; 101(5):4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
26. Carballo-Sánchez MP, Ramírez-Ramírez JC, Gimeno M, Hall GM, Ríos-Durán MG, Shirai K, et al. Papaya (*Carica papaya*) and tuna (*Thunnus albacares*) by-products fermentation as biomanufacturing approach towards antioxidant protein hydrolysates. *Rev Mex Ing Quím*. 2016; 15(1):91-100.



27. Coronel-López BJ, Espino-García JJ, Peralta-Ortiz JJG, Torres-Cardona MG, Meza-Nieto MA, Almaraz-Buendía I. Characterization of fruit and vegetable waste as an alternative ruminant feed in Pachuca, Hidalgo, Mexico. *Agro Product*. 2021; 14(2):49-53. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i2.1964>
28. Lorenzo-Hernández R, Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, Mayren-Mendoza F de J, Salinas T, Rojas AR, Maldonado PM. Evaluación de las características de calidad y bromatológicas de ensilados elaborados con residuos de calabaza (*Cucurbita argyrosperma*). *Rev Int Contam Ambient*. 2019; 35(4):957-963. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.14>
29. Gándara L, Borrajo CI, Fernández JA, Pereira MM. Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad del rebrote sobre el valor nutritivo de *Brachiaria brizantha* cv. «Marandú». *Rev Fac Cienc Agrar*. 2017; 49(1):69-77. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3105>
30. Amanzougarene Z, Fondevila M. Fitting of the *in vitro* gas production technique to the study of high concentrate diets. *Animals*. 2020; 10(10):1935. <https://doi.org/10.3390/ani10101935>
31. Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, Torres-Salado N, Almaraz-Buendía I, Reyes-Vázquez I, Rojas-García AR, Gómez-Trinidad M, Contreras-Ramírez EO, Maldonado-Peralta MA, Magadan-Olmedo F. Chemical composition, and *in vitro* fermentation of ripe mango silage with molasses. *Agrofor Syst*. 2020; 94(4):1511-1519. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00442-z>
32. Gosselink JMJ, Dulphy JP, Poncet C, Jailler M, Tamminga S, Cone JW. Prediction of forage digestibility in ruminants using *in situ* and *in vitro* techniques. *Anim Feed Sci Technol*. 2004; 115(3):227-246. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.01.008>
33. Combs D. Using *in vitro* total-tract NDF digestibility in forage evaluation. *Focus Forage*. 2014; 15(2):1-3. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/using-in-vitro-total-tract-ndf-digestibility-in-forage-evaluation/>
34. Hoffman PC, Lundberg KM, Shaver RD. NDF digestibility: reference values for forages, byproducts and total mixed rations. *Focus Forage*. 2006; 5(17):1-2. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/ndf-digestibility-reference-values-for-forages-byproducts-and-total-mixed-rations/>
35. Hoffman PC, Lundberg LM, Shaver RD, Contreras-Govea FE. El Efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (fibra detergente neutro). *Focus Forage*. 2007; 15(5):1-2. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/MaturityNDFesp-FOF.pdf>
36. Colombatto D, Morgavi DP, Furtado AF, Beauchemin KA. Screening of exogenous enzymes for ruminant diets: Relationship between biochemical characteristics and *in vitro* ruminal degradation. *J Anim Sci*. 2003; 81(10):2628-2638. <https://doi.org/10.2527/2003.81102628x>
37. Almaraz-Buendía I, García AM, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Bottini-Luzardo MB, Rojas-García AR. Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. *Arch Zootec*. 2019; 68(262):260-266. <https://doi.org/10.21071/az.v68i262.4145>