



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-20. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.2>  
Artículo Original. Recibido:25/07/2022. Aceptado:20/04/2024. Publicado:05/05/2024. Clave: e2022-56.  
<https://www.youtube.com/watch?v=0EuXyc7MobQ>

## Fermentación y digestibilidad ruminal *in vitro* de ensilados de *Sorghum bicolor* y *Cajanus cajan*

*In vitro* rumen fermentation and digestibility of silages of *Sorghum bicolor* and *Cajanus cajan*



**Esaú Pérez-Luna<sup>1\*</sup> ID, Samuel Albores-Moreno<sup>2</sup> ID, Alexis Ruíz-González<sup>4</sup> ID, Sergio Espinosa-Villafuerte<sup>5</sup> ID, José Alayón-Gamboa<sup>3</sup> ID, Benigno Ruíz-Sesma<sup>6</sup> ID**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5. C.P. 30470. Chiapas, México. <sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y ambiente, Ganadería Sustentable y Cambio Climático, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. C.P. 29290. Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. <sup>3</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Conservación de la Biodiversidad, Avenida Rancho, Polígono 2-A, Ciudad Industrial. C.P. 24500. Lerma, Campeche, México. <sup>4</sup>Département des Sciences Animales, Université Laval, Québec, QC, Canada. <sup>5</sup>Consultor de Qualisilo S. A. de C.V., Calle Lyon número 160, Fraccionamiento La Salle segunda sección. C.P. 29070. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. <sup>6</sup>Universidad Veracruzana, Área Biológico Agropecuaria, Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria. \*Autor de correspondencia: Esaú Pérez Luna. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas, Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5. C.P. 30470 Chiapas, México. Email: eperezl@unach.mx, samuel.albores@ecosur.mx, alexis.ruiz-gonzalez.1@ulaval.ca, sergio.zootecnista82@gmail.com, jalayon@ecosur.mx, ruizsb71@gmail.com

### RESUMEN

El sistema de producción bovino de doble propósito es el más predominante en el trópico, caracterizado por un sistema de pastoreo extensivo de gramíneas nativas o introducidas con baja digestibilidad y altas concentraciones de carbohidratos estructurales, provocando con esto una baja eficiencia productiva de los sistemas, ante este escenario, es necesario buscar alternativas que mejoren la eficiencia productiva. El objetivo fue evaluar la fermentación anaeróbica y digestibilidad ruminal *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los ensilados de *S. bicolor* y *C. cajan*. En los tratamientos se utilizaron cuatro sustratos (sorgo, sorgo + *C. cajan*, *C. cajan*, sorgo + *C. cajan* + inoculante) y cuatro tiempos de fermentación anaeróbica (0, 30, 60 y 90 días), en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x4, con tres repeticiones. El promedio de MS, MO, PC, FDN y FDA fue 373.9±41.43; 960.58±7.59; 87.82±24.95; 588.73±51.17; 371.76±61.39 g kg<sup>-1</sup> de MS. Para la DIVMS fue de 56.32±9.05%. Se encontró diferencias significativas (P<0.05) para los parámetros de fermentación y DIVMS. El volumen máximo de gas se presentó en los tratamientos que contenían únicamente sorgo y sorgo + *C. cajan* + inoculante. Las fracciones de rápida fermentación fueron mayores (P<0.05) en los tratamientos sorgo + *C. cajan* + inoculante. Las fracciones de fermentación media y lenta fueron mayores en sorgo y sorgo + *C. cajan* + inoculante. Se concluye que la planta de *C. cajan* sola o combinada presenta un efecto negativo en la DIVMS.

**Palabras clave:** sorgo, guandú, inoculante, fermentación anaeróbica, digestibilidad *in vitro*.



## ABSTRACT

The dual-purpose cattle production system is the most predominant in the tropics, characterized by an extensive grazing system of native or introduced grasses with low digestibility and high concentrations of structural carbohydrates, causing with this a low productive efficiency of the systems, in this scenario, it is necessary to look for alternatives that improve productive efficiency. The objective was to evaluate the anaerobic fermentation and rumen digestibility in vitro of dry matter (DIVMS) of silages of *S. bicolor* and *C. cajan*. Four substrates (sorghum, sorghum + *C. cajan*, sorghum + *C. cajan* + inoculant) and four anaerobic fermentation times (0, 30, 60 and 90 days) were used in the treatments, in a completely randomized design with a 4x4 factorial arrangement, with three replications. The average for DM, OM, CP, NFD and AFD was 373.9±41.43; 960.58±7.59; 87.82±24.95; 588.73±51.17; 371.76±61.39 g kg<sup>-1</sup> DM. For DIVMS it was 56.32±9.05%. Significant differences (P<0.05) were found for fermentation parameters and DIVMS. The maximum volume of gas was presented in treatments containing only sorghum and sorghum + *C. cajan* + inoculant. The fractions of rapid fermentation were higher (P<0.05) in the treatments sorghum + *C. cajan* + inoculant. The fractions of medium and slow fermentation were higher in sorghum and sorghum + *C. cajan* + inoculant. It is concluded that the *C. cajan* plant alone or combined has a negative effect on DIVMS.

**Keywords:** sorghum, *Cajanus cajan*, inoculant, anaerobic fermentation, in vitro digestibility.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las principales actividades del sector agropecuario en México, la cual se realiza bajo diferentes condiciones y sistemas de producción (García *et al.*, 2015). En este sentido, uno de los sistemas de producción más comunes, es la producción de bovinos con un doble propósito bajo pastoreo de regiones extensas de praderas (Estrada *et al.*, 2018) con gramíneas nativas o introducidas (Kú *et al.*, 2013). No obstante, la calidad nutritiva de los forrajes muestra una baja concentración de proteína cruda y alta concentración de carbohidratos estructurales, lo cual induce a una baja digestibilidad (Piñeiro *et al.*, 2017). Además, por las condiciones climáticas, la biomasa de forraje producida es limitada, en particular durante el estiaje (escasez de lluvias y altas temperaturas), lo que repercute en la disponibilidad de forraje propiciando la estacionalidad de la producción de leche y carne (García, 2018).

Esto ha impulsado la búsqueda de nuevos materiales forrajeros o estrategias de alimentación que satisfagan las necesidades nutricionales de los animales y con esto establecer un sistema de cosecha uniforme asegurando un nivel de producción constante durante el año. Además, de las condiciones climáticas adversas, el manejo inadecuado de los pastizales nativos e introducidos en las regiones tropicales ha sido considerado uno de los principales problemas que limita la productividad de las empresas ganaderas (Kú *et al.*, 2013). Una carga animal superior a la capacidad de carga del pastizal y la ineficiencia de administración del forraje producido, provocan la sobre utilización de la pradera y conducen al sobre pastoreo propiciando la invasión de malezas o pastos de menor valor forrajero, y severas deficiencias nutricionales en el suelo (Villanueva, 2015). Recientemente se han propuesto estrategias para contrarrestar dichos efectos (estacionalidad de la producción de forraje, baja calidad nutritiva y efectos en el suelo); tales como la segregación de potreros, la conservación de los excedentes forrajeros



durante el periodo de lluvias, además, todas las modalidades agroforestales, agropastoriles, agrosilvopastoriles o mediante el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) (González *et al.*, 2015).

En los últimos años ha sugerido el establecimiento de Sistemas Integrados de Producción Agrícola (SIPA) que están basados en actividades agrícolas, ganaderas y forestales, realizadas en la misma área, ya sea en cultivos asociados, de sucesión o rotación, que buscan efectos sinérgicos entre los componentes del agroecosistema, contemplando la adecuación ambiental, la valorización del productor y la viabilidad económica (Balbino *et al.*, 2011). Consecuentemente, se mejora la interrelación suelo-planta-clima-animal, los cuales contribuyen a determinar de forma específica el hábitat de cada uno de los organismos que conforman los sistemas biológicos y de flujo de energía, ya sea que pertenezcan los sistemas agrícolas, pecuarios o forestales (Torres *et al.*, 2007).

Los SIPA pueden integrar actividades ganadera-forestal (IGF) o silvopastoril: integra el componente ganadero (pastoreo y animal) y forestal, en consorcio. Sistema más enfocado para áreas con restricción de implantación de cultivos, incluyendo sólo los componentes forestales y pecuarios en la misma área. Los cuales pueden ser utilizados como estrategia de alimentación en pastoreo, corte y acarreo, y también ser conservados (ensilado) para utilizarlos durante los períodos de estiaje (Mannetje, 1982).

En el sur de México, particularmente Chiapas, cuenta con las características edafoclimáticas para el establecimiento y uso de esta estrategia, que permitirá mejorar la producción de bovinos. Sin embargo, se ha generado escasa información sobre las asociaciones de los forrajes tropicales que han sido recientemente integrados en los sistemas de alimentación de rumiantes.

Por tanto, es imprescindible investigar la asociación cultivo-ganado o agro pastoril: sistema de producción que integra el componente agrícola y ganadero en rotación, consorcio o sucesión en la misma área y en un mismo año agrícola o por varios años, en secuencia o intercalados. Debido a que se desconocen aspectos importantes de manejo, establecimiento, producción y formas de conservación de los nuevos forrajes mediante ensilaje (Balbino *et al.*, 2011). El ensilaje ayuda a mantener follajes con poca pérdidas de MS y de nutrientes, manteniendo una buena palatabilidad por el ganado (Gómez *et al.*, 2015). En este sentido, el ensilaje de las asociaciones entre gramíneas y leguminosas, han tomado importancia, debido a que, a través de esta técnica, se incrementa el aporte de proteína al sistema ruminal, además que permiten aprovechar y conservar el forraje que podría ser usado durante el estiaje (Contrera *et al.*, 2008).

Estudios señalan que la composición química del ensilado de la asociación *S. bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *C. cajan* Cv Caqui, presenta potencial alimenticio para la alimentación de rumiantes (Pérez-Luna *et al.*, 2019). Sin embargo, en la literatura todavía no se cuenta con información concerniente a las características de fermentación y valor nutritivo, además se desconoce la edad óptima de aprovechamiento de estos sustratos en la alimentación de los rumiantes. Por lo que, en el presente estudio se planteó como



objetivo evaluar la degradación y el potencial de fermentación *in vitro* del ensilado de *S. bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *C. cajan* cv Caqui en un sistema integrado de producción.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del área del estudio

El experimento se realizó en el Rancho “Loma Bonita”, municipio de Villaflores, Chiapas. México, con clima predominante cálido subsúmelo intermedio Aw” 1 (w) (i) g con lluvias en verano, precipitación medida de 1200 mm, con una temperatura media anual de 22°C (INEGI, 2017).

### Establecimiento y manejo de los cultivos

Para el establecimiento de los cultivos de sorgo y guandú se movilizó una capa de suelo de aproximadamente 5 cm para el control de las malezas. La siembra de sorgo se realizó a una profundidad de 2.5 cm (dos semillas por punto) con una sembradora de precisión, a una distancia de 50 cm entre hileras y 4 cm entre plantas, con una densidad de 250 000 plantas por ha<sup>-1</sup>; para guandú, a una distancia de 50 cm entre hileras y 14 cm entre plantas, con una densidad de 71 428 plantas por ha<sup>-1</sup>.

Los cultivos fueron fertilizados al boleto con la formula 300-150-50 para el sorgo y 100-150-50 para guandú de N-P-K. El N fue distribuido al 50% en dos aplicaciones a los 5 y 35 días después de la siembra.

Esporádicamente se controló las malezas y el control químico de plagas y enfermedades en concentraciones recomendadas por el distribuidor. Durante el desarrollo del cultivo únicamente se encontró *Melanaphis sacchari* en el sorgo, para ello, se utilizó Cipermetrina a razón de 1.5 l ha<sup>-1</sup>, cada vez que se observó la presencia de dicha plaga.

### Elaboración de micro silos

Con una ensiladora de doble surco se realizó el corte y picado de los cultivos a un tamaño de partícula uniforme (2 a 3 cm de longitud). Al momento de la cosecha, se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos y se depositaron en botellas de plástico (Pet), con capacidad de un litro, extrayendo de cada una de ellas la mayor cantidad de oxígeno para asegurar una buena fermentación anaeróbica del forraje.

El ensilaje se elaboró a los 85 días después de la siembra. Después de pasar cada sustrato y sus combinaciones en sus diferentes tiempos de ensilaje de acuerdo al tratamiento asignado, las muestras de cada tratamiento fueron colectadas, secadas y molidas, y enviadas al laboratorio de Bromatología del Colegio de la Frontera Sur para los análisis de materia seca (MS), las muestras fueron colocadas en un horno de aire forzado a una temperatura de 60 °C por 48 h, materia orgánica (MO) por la combustión de las muestras en mufla a 600 °C durante 6 h, proteína cruda (PC) determinado por el método de Kjeldahl (CP, AOAC, 1996; ID 954.01), fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991), (Cuadro 1), y en el Laboratorio de



Ecología de herbívoros del mismo Centro, se realizaron las pruebas de fermentación con la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por [Menke & Steingass \(1988\)](#) y [Theodorou \*et al.\* \(1994\)](#)

### **Técnica de degradación y fermentación *in vitro***

Se empleó la técnica de producción de gas propuesta por [Menke & Steingass \(1988\)](#) y modificada por [Theodorou \*et al.\* \(1994\)](#), con la que se cuantificó el gas producido por la fermentación *in vitro* durante 72 h de incubación. Los tratamientos fueron muestras de sorgo, sorgo+guandú, guandú y sorgo+guandú+inoculante (Sill-All 4x4 Lallemand), de 4 tiempos de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días), resultando 16 posibles combinaciones (Cuadro 1), cada combinación fue repetida 3 veces. El inóculo consistió de una muestra compuesta de líquido ruminal (LR) obtenida de tres ovinos (40 kg de PV) por medio de una sonda esofágica y alimentados con una dieta base de forraje. Previo a la extracción del LR, los animales se mantuvieron en ayuno durante 14 horas. El LR se filtró a través de ocho capas de gasa y se mezcló en una proporción 1:9 con una solución mineral reducida ([Menke & Steingass, 1988](#); [Krishnamoorthy \*et al.\*, 2005](#)).

Para cada combinación se pesó 500 mg de muestra seca y molida, la cual fue depositada en frascos ámbar de 125 mL de capacidad, a los cuales se les agregó 90 mL de inóculo ruminal y se mantuvieron bajo flujo constante de CO<sub>2</sub>, posteriormente fueron sellados herméticamente con tapones de goma y aro de aluminio ([Theodorou \*et al.\*, 1994](#)). Los frascos fueron incubados a 39 °C en baño maría. La presión de gas en cada frasco fue medida con un manómetro (Metron, Mode:63100, México) a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h posteriores a su incubación ([Blümmel & Ledzien, 2001](#)).

Los valores de presión de gas fueron transformados a volumen de gas mediante una ecuación de regresión lineal:  $V = (P + 0.0186) (0.0237)^{-1}$  ([Elmasry \*et al.\*, 2016](#)).

### **Variables evaluadas**

#### **Producción de gas *in vitro***

Se estimó el volumen máximo ( $V_m$ , mL g<sup>-1</sup>), la tasa de fermentación ( $S$ , h<sup>-1</sup>) y la fase de retraso ( $L$ , h<sup>-1</sup>) de la producción de gas con el modelo logístico  $V_o = V_m / (1 + e^{(2-4k(t-L))})$  ([Schofield & Pell, 1995](#)), mediante el programa NLIN ([SAS, 2006](#)). También se obtuvieron los volúmenes para los intervalos de tiempo de 0 a 8 ( $V_{f0-8}$ ), 8 a 24 ( $V_{f8-24}$ ) y 24 a 72 ( $V_{f24-72}$ ) h de incubación. Estos volúmenes fueron utilizados para estimar las fracciones (mg g<sup>-1</sup> de forraje) de rápida (FR), media (FM) y lenta (FL) fermentación de sustratos, de acuerdo a las ecuaciones de regresión lineal propuestas por [Miranda \*et al.\* \(2015\)](#):  $FR = V_{f0-8} / 0.4266$ ,  $FM = V_{f8-24} / 0.6152$ ,  $FL = V_{f24-72} / 0.3453$ . La suma de las tres fracciones fue considerada como la fracción fermentable total (FT). Además, se estimó el índice de potencial de emisiones de gas por gramo de materia orgánica digestible (IPEGF; mL g<sup>-1</sup> MOD).



**Cuadro 1. Distribución de los tratamientos**

Sustratos	Días de ensilado	Repeticiones		
<b>Sorgo (S)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Sorgo + Guandú (S+G)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Guandú (G)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3
<b>Sorgo+Guandú+ Inoculante (S+G+I)</b>	0	R1	R2	R3
	30	R1	R2	R3
	60	R1	R2	R3
	90	R1	R2	R3

### **Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)**

Al concluir el período de incubación (72 h) se obtuvieron los residuos de cada muestra mediante filtrado en un matraz y un embudo Buchner con filtro (Papel filtro F/rápido MOD.617 Código P.V.NO.1034), y se estimó la DIVMS, mediante su secado a 60 °C por 48 h. Con la MS inicial y residual se calculó la DIVMS (%) ([Monforte et al., 2005](#)).

### **Diseño y análisis estadístico**

Las variables de fermentación (Vm, S, L, FR, FM, FL, FT, IPEGF, DIVMS) se analizaron con el modelo lineal general empleando el paquete estadístico [SAS versión 9 \(2006\)](#), bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x4, con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento. Las medias de las 16 combinaciones se compararon mediante comparaciones múltiples de Tukey y las pruebas estadísticas se consideraron significativas cuando  $P < 0.05$  ([Montgomery, 2013](#)). Se realizó un análisis de correlación de Pearson para los componentes químicos (PC, FDN, FDA) y las variables de fermentación; y un análisis de regresión lineal para la DIVMS y la fracción fermentable total.

## **RESULTADOS**

### **Composición química**

La caracterización química de los tratamientos se presenta en el cuadro 2. El promedio de MS, MO, PC, FDN y FDA fue  $373.9 \pm 41.43$ ;  $960.58 \pm 7.59$ ;  $87.82 \pm 24.95$ ;  $588.73 \pm 51.17$ ;  $371.76 \pm 61.39$  g kg<sup>-1</sup> de MS. Para la DIVMS fue de  $56.32 \pm 9.05$  %.



**Cuadro 2. Composición química proximal de los tratamientos experimentales (g/kg)**

TRATAMIENTO	MS	MO	PC	FDN	FDA
S 0	439.0	953.2	62.1	605.5	339.6
S 30	399.0	966.2	80.5	538.8	286.0
S 60	379.1	964.4	73.4	541.1	294.5
S 90	355.3	960	69.8	586.9	369.6
S+G 0	376.3	970.3	53.0	484.5	295.4
S+G 30	350.7	966.3	78.8	626.1	354.0
S+G 60	349.0	962.4	82.1	622	373.2
S+G 90	306.2	964.2	80.8	610	382.4
G 0	379.6	956.2	112.5	587.7	404.5
G 30	372.2	952.6	135.8	657.8	489.7
G 60	401.8	950	130.8	637.3	468.2
G 90	444.5	944.1	122.9	624.5	450
S+G+I 0	358.3	969.3	64.2	499.2	309.1
S+G+I 30	407.4	966	81.7	581.9	374
S+G+I 60	377.7	966.7	80.2	568.3	351.9
S+G+I 90	286.8	957.3	96.5	648.1	406.1
Media	373.93	960.58	87.82	588.73	371.76
DE	41.43	7.59	24.95	51.17	61.39

### **Cinética de fermentación de gas *in vitro***

Para las variables Vm y S no se encontró interacción entre factores, sin embargo, la variable L sí presentó interacción entre factores (Cuadro 3). Los sustratos con el mayor Vm fueron sorgo con 317.37, 297.8, 294.57, 264.17 mL g<sup>-1</sup>, respectivamente, a tiempos de 0, 30, 60 y 90 días de fermentación anaeróbica y la combinación de sorgo+guandú+inoculante con 289.47, 269.63 y 266.6 mL g<sup>-1</sup>, a tiempos de 0, 30 y 60 días de fermentación anaeróbica, respectivamente. Por otra parte, los tratamientos que se caracterizaron por una producción media de gas fueron sorgo+guandú y guandú con tiempos de ensilaje de 0, 30, 60 y 90 días; Cuadro 3).



**Cuadro 3. Parámetros de la cinética de producción de gas, fracciones de fermentación, digestibilidad *in vitro* de la materia seca e índice potencial de emisión de gas (IPEGF) de ensilaje de *Sorghum bicolor* L. Moench Cv RB Cañero y *Cajanus cajan* Cv Caqui con diferentes tiempos de ensilado**

Trat	Parámetros			Fracciones de Fermentación				DIVMS (%)	IPEGF mL g <sup>-1</sup> MSD
	Vm (mL g <sup>-1</sup> )	S (h <sup>-1</sup> )	L (h)	FR	FM	FL	FT		
S 0	317.4 <sup>a</sup>	0.036 <sup>bcd</sup>	4.6 <sup>a</sup>	152.1 <sup>c</sup>	243.4 <sup>a</sup>	388.9 <sup>a</sup>	784.4 <sup>a</sup>	67.2 <sup>ab</sup>	473.8 <sup>ab</sup>
S 30	294.6 <sup>ab</sup>	0.038 <sup>abcd</sup>	4.8 <sup>a</sup>	139.8 <sup>cde</sup>	233.3 <sup>a</sup>	349.6 <sup>ab</sup>	722.7 <sup>ab</sup>	72.1 <sup>a</sup>	408.3 <sup>ab</sup>
S 60	297.8 <sup>ab</sup>	0.039 <sup>abcd</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	155.4 <sup>c</sup>	236.7 <sup>a</sup>	334.3 <sup>abc</sup>	726.5 <sup>ab</sup>	66.6 <sup>ab</sup>	447.2 <sup>ab</sup>
S 90	264.2 <sup>abcde</sup>	0.040 <sup>abcd</sup>	4.3 <sup>ab</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	215.6 <sup>ab</sup>	287.6 <sup>bcd</sup>	640.5 <sup>bcde</sup>	60.4 <sup>abc</sup>	437.3 <sup>ab</sup>
S+G 0	247.9 <sup>bcdef</sup>	0.043 <sup>a</sup>	3.0 <sup>dc</sup>	168.6 <sup>bc</sup>	197.3 <sup>bc</sup>	227.6 <sup>cde</sup>	593.6 <sup>bcdef</sup>	63.2 <sup>abc</sup>	393.4 <sup>b</sup>
S+G 30	240.3 <sup>cdef</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	138.2 <sup>cde</sup>	190.5 <sup>bc</sup>	256.1 <sup>cde</sup>	584.7 <sup>cdefg</sup>	60.7 <sup>abc</sup>	396.1 <sup>b</sup>
S+G 60	219.5 <sup>defg</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	3.2 <sup>dc</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	173.4 <sup>cd</sup>	225.6 <sup>def</sup>	536.3 <sup>defgh</sup>	54.2 <sup>cde</sup>	407.2 <sup>ab</sup>
S+G 90	244.1 <sup>bcdef</sup>	0.039 <sup>abcd</sup>	3.5 <sup>bcd</sup>	143.9 <sup>cde</sup>	186.5 <sup>bc</sup>	266.2 <sup>cde</sup>	596.7 <sup>bcdef</sup>	54.3 <sup>cde</sup>	448.1 <sup>ab</sup>
G 0	214.7 <sup>efg</sup>	0.042 <sup>ab</sup>	2.7 <sup>d</sup>	148.9 <sup>cd</sup>	168.8 <sup>cd</sup>	197.1 <sup>ef</sup>	514.8 <sup>efgh</sup>	55.7 <sup>bcde</sup>	385.9 <sup>b</sup>
G 30	185.3 <sup>g</sup>	0.040 <sup>abcd</sup>	3.3 <sup>dc</sup>	111.9 <sup>de</sup>	144.3 <sup>de</sup>	197.1 <sup>ef</sup>	453.3 <sup>gh</sup>	44.3 <sup>ef</sup>	418.0 <sup>ab</sup>
G 60	166.9 <sup>g</sup>	0.042 <sup>abc</sup>	3.2 <sup>dc</sup>	109.4 <sup>e</sup>	128.9 <sup>e</sup>	170.7 <sup>f</sup>	409.0 <sup>h</sup>	39.5 <sup>f</sup>	446.5 <sup>ab</sup>
G 90	196.7 <sup>fg</sup>	0.041 <sup>abcd</sup>	2.8 <sup>d</sup>	137.4 <sup>cde</sup>	147.7 <sup>de</sup>	194.1 <sup>ef</sup>	479.2 <sup>fgh</sup>	46.5 <sup>def</sup>	423.8 <sup>ab</sup>
S+G+I 0	289.5 <sup>abc</sup>	0.037 <sup>abcd</sup>	0.0 <sup>f</sup>	262.4 <sup>a</sup>	185.9 <sup>bc</sup>	268.3 <sup>cde</sup>	716.6 <sup>abc</sup>	58.2 <sup>bcd</sup>	498.7 <sup>ab</sup>
S+G+I 30	269.6 <sup>abcd</sup>	0.036 <sup>cd</sup>	1.4 <sup>e</sup>	199.0 <sup>b</sup>	183.6 <sup>bc</sup>	284.5 <sup>bcd</sup>	667.2 <sup>abcd</sup>	59.3 <sup>bc</sup>	455.2 <sup>ab</sup>
S+G+I 60	266.6 <sup>abcde</sup>	0.035 <sup>d</sup>	0.9 <sup>ef</sup>	206.4 <sup>b</sup>	181.9 <sup>c</sup>	277.4 <sup>bcd</sup>	665.8 <sup>abcd</sup>	53.6 <sup>cde</sup>	499.0 <sup>ab</sup>
S+G+I 90	245.1 <sup>bcdef</sup>	0.036 <sup>cd</sup>	1.6 <sup>e</sup>	172.7 <sup>bc</sup>	171.7 <sup>cd</sup>	269.3 <sup>cde</sup>	613.7 <sup>bcde</sup>	45.4 <sup>ef</sup>	540.1 <sup>a</sup>
EE	10.33	0.0011	0.180	7.42	6.35	14.95	25.44	2.31	27.35
Sustrato	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003
Días ensilado	0.0007	0.4980	0.0001	0.0001	0.0005	0.1408	0.0014	0.0001	0.1695
Sustrato*Días de ensilado	0.0983	0.1357	0.0011	0.0001	0.0708	0.0122	0.0771	0.0089	0.5941

FACTOR A	Sustratos				EE
	Sorgo	Sorgo+Guandu	Guandu	Sorgo+Guandu+Inoculante	
Vm (mL g <sup>-1</sup> )	293.47 <sup>a</sup>	237.96 <sup>c</sup>	190.90 <sup>d</sup>	267.70 <sup>b</sup>	6.54
S (h <sup>-1</sup> )	0.0383 <sup>b</sup>	0.0410 <sup>a</sup>	0.0414 <sup>a</sup>	0.0360 <sup>c</sup>	0.0006
FM (mg g <sup>-1</sup> )	232.236 <sup>a</sup>	186.931 <sup>b</sup>	147.435 <sup>c</sup>	180.800 <sup>b</sup>	4.09
FT (mg g <sup>-1</sup> )	718.50 <sup>a</sup>	577.83 <sup>c</sup>	464.07 <sup>d</sup>	665.82 <sup>b</sup>	15.96
IPEGF (mL g <sup>-1</sup> MSD)	441.67 <sup>b</sup>	411.20 <sup>b</sup>	418.56 <sup>b</sup>	498.28 <sup>a</sup>	13.80
FACTOR B	Tiempos de ensilado (días fermentación)				EE
	0	30	60	90	
Vm (mL g <sup>-1</sup> )	267.358 <sup>a</sup>	247.450 <sup>b</sup>	237.708 <sup>b</sup>	237.533 <sup>b</sup>	12.71
S (h <sup>-1</sup> )	0.0399 <sup>a</sup>	0.0387 <sup>a</sup>	0.0392 <sup>a</sup>	0.0389 <sup>a</sup>	0.0008



FM (mg g <sup>-1</sup> )	198.87 <sup>a</sup>	187.92 <sup>ab</sup>	180.23 <sup>b</sup>	180.37 <sup>b</sup>	9.71
FT (mg g <sup>-1</sup> )	652.34 <sup>a</sup>	606.98 <sup>ab</sup>	584.40 <sup>b</sup>	582.51 <sup>b</sup>	32.05
IPEGF (mL g <sup>-1</sup> MSD)	437.98 <sup>a</sup>	419.42 <sup>a</sup>	449.98 <sup>a</sup>	462.34 <sup>a</sup>	16.54

<sup>a, b, c</sup>= Medias con distinta literal en columnas son diferentes (P<0.05); Vm= Volumen maximo; S: tasa de fermentación; L: fase de retraso; FR= fracción de fermentación rápida; FM=fracción de fermentación media; FL= fracción de fermentación lenta; FT=fracción fermentable total; DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca; IPEGF: Índice potencial de emisión de gas por unidad de materia orgánica digestible.

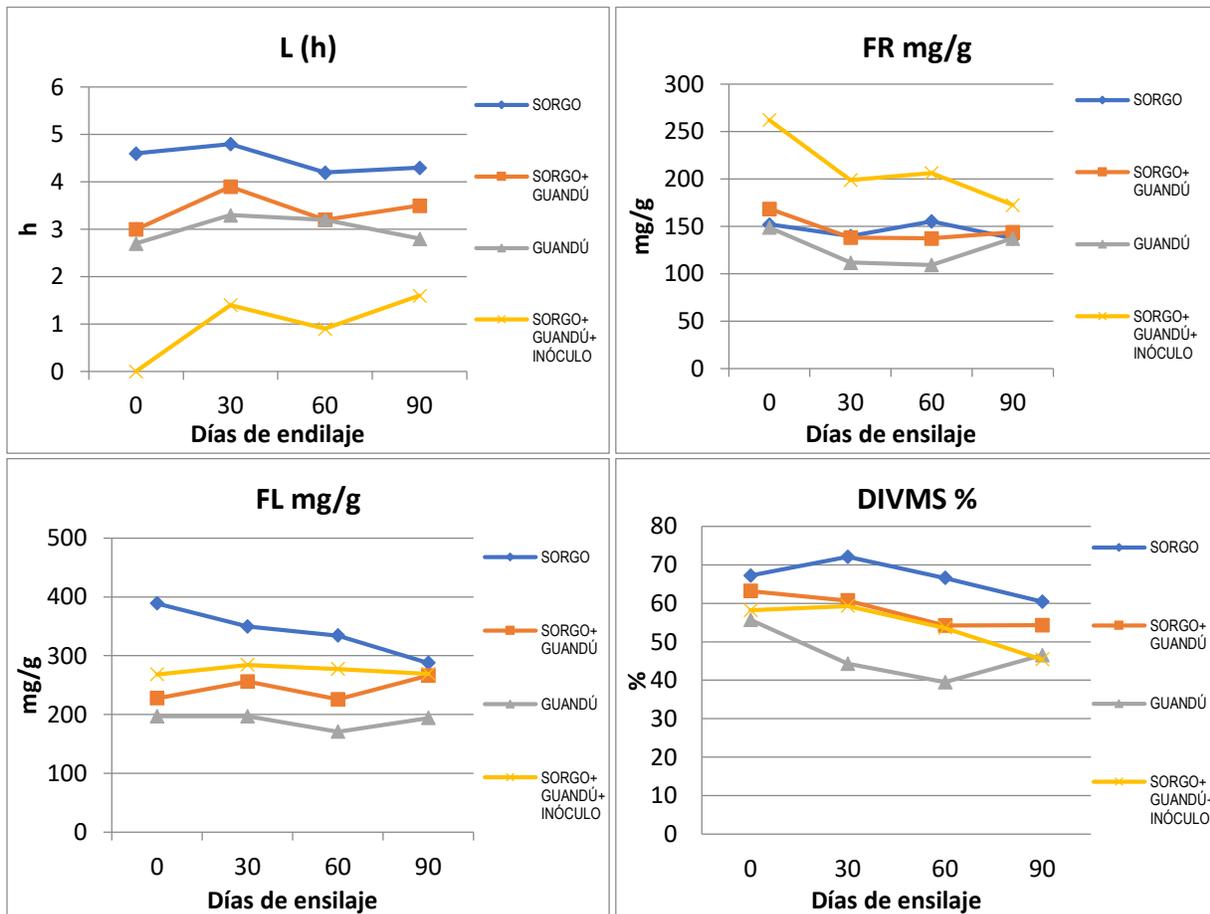


Figura 1. Interacción de sustrato y días de ensilaje en las variables L, FR, FL y DIVMS

Por otra parte, se observó la mayor tasa de fermentación (S) para S+G 0, y la más baja (P=0.0001) la presentó S+G+I 60, en el resto de los tratamientos no se encontró diferencia estadística significativa.

La menor fase de retraso (L) se observó en el sustrato de la mezcla de S+G+I a 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente. Asimismo, se encontró que la L intermedia fue similar entre G 0, G 90, S+G 60, S+G 0, G 60 y G 30, mientras que las mayores fases de



retraso se observaron en S 0 y S 30, y fueron similares entre S 90, S 60, S+G 30 y S+G 90 (Cuadro 3).

### **Tiempo de fermentación anaeróbica (FA)**

El volumen máximo (Vm) de producción de gas y la fase de retraso (L, h) (Cuadro 3) fue afectado significativamente ( $P < 0.05$ ) por los tiempos de FA (Cuadro 3). Sin embargo, la S no mostró cambios significativos ( $P > 0.05$ ) entre los tiempos de FA. El tiempo de fermentación con mayor Vm fue a los 0 días de FA ( $267 \text{ mL g}^{-1}$ ), el cual disminuyó al incrementar los días de FA (Cuadro 3).

La menor fase de retraso (L) se observó a los 0 días de fermentación (2.5962 h). Asimismo, se encontró una L intermedia a los 60 y 90 días de FA (2.91 y 3.08 h respectivamente); mientras que una mayor L se observó a los 30 días de FA (3.35 h).

### **Fracciones fermentables, digestibilidad e índice de potencial de emisión de gas**

La mezcla de sustratos S+G+I 0 presentó el mayor valor de la fracción de rápida fermentación (0-8 h) ( $P < 0.05$ ), seguidos de S+G+I a 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente (Cuadro 3). Asimismo, se encontró que el S+G+I 90 fue similar estadísticamente a todos los tratamientos que contenían el sustrato sorgo en sus diferentes tiempos de ensilaje, así como G 0 y G 90 (Cuadro 3). Por otro lado, se encontró que la fracción de fermentación media (8-24 h) también difirió ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos. La mayor fermentación media fue encontrada para el S a los 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente. Los tratamientos G 90, G30 y G 60 presentaron una menor fermentación media de la MS.

Para la fracción de lenta fermentación (24-72 h), también se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos. El mayor valor de fermentación se observó en el S 0, seguido por S 30 y S 60. Mientras que los tratamientos que contenían sorgo como sustrato solo o combinado, presentaron fracciones de lenta fermentación similares (Cuadro 3). Además, los tratamientos de guandú solo en sus diferentes días de ensilaje presentaron menor valor de fermentación lenta.

El tratamiento que presentó ( $P < 0.05$ ) la mayor fracción de fermentación total (FT) fue el S 0, seguido por S 60, S 30, S+G+I 0, S+G+I 30, S+G+I 60, que mostraron FT similares (Cuadro 3). El resto de los tratamientos presentaron las menores FT (Cuadro 4).

La DIVMS e índice potencial de emisión de gas fermentado (IPEGF) difirió ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 3). Se encontró una interacción entre los sustratos y los días de ensilaje, la mayor DIVMS se obtuvo en los tratamientos S 30, S 0, S+G 0, S+G 30, S 90 y S+G 60 (Cuadro 3). Mientras que el guandú solo presentó los valores más bajos de DIVMS G 90, G 30 y G 60. Los tratamientos que tuvieron menor ( $P < 0.05$ ) IPEGF fueron S+G 30, S+G 0 y G 0. Mientras que S+G+I 90 produjo mayor cantidad de gas por unidad de materia orgánica fermentada (Cuadro 3).



La mayor FM, FL, FT y DIVMS se obtuvo en el sorgo, seguidos por sorgo + guandú y sorgo + guandú + inoculante (Cuadro 3) y guandú tuvo una menor FM, FL, FT y DIVMS (FM= 147.43 mg g<sup>-1</sup>, FL=189.77 mg g<sup>-1</sup>, FT=464.07 mg g<sup>-1</sup> y DIVMS=46.48%).

Los sustratos que mostraron el menor IPEGF fueron sorgo, sorgo + guandú y guandú (441.67, 411.20 y 418.56 mL g<sup>-1</sup>MOD). Mientras que el sustrato que produjo mayor cantidad de gas por unidad de materia orgánica fermentada fue sorgo + guandú + inoculante (Cuadro 3).

La mayor FR, FM, FT y DIVMS se presentó en el tratamiento sin FA (0 días; FR= 182.98 mg g<sup>-1</sup>, FM=198.87 mg g<sup>-1</sup>, FT=652.34 mg g<sup>-1</sup> y DIVMS=61.06%). Mientras que a los 30, 60 y 90 días de FA presentaron una menor FR, FM, FT y DIVMS (Cuadro 3). Por otro lado, se observó que para la fracción de fermentación lenta (FR) e IPEGF no mostraron cambios significativos entre los tiempos de FA.

### **Relación entre composición química y cinética de producción de gas *in vitro***

La concentración de PC, FDN y FDA de los diferentes tratamientos se correlacionó negativamente con el volumen máximo (V<sub>m</sub>), con las fracciones de rápida y media fermentación (FR, FM), las fracciones de fermentación total (FT) y las DIVMS (Cuadro 4); mientras que la FT se correlacionó negativamente con PC y FDA (Cuadro 4).

Sin embargo, al realizar la correlación entre PC y DIVMS de los tratamientos compuestos con guandú, presentó una correlación negativa de -0.85 (P=0.0005).

## **DISCUSIÓN**

### **Composición química**

Las concentraciones de PC en *C. cajan* cv Caqui en los diferentes días de FA (Cuadro 2) son superiores al umbral de los requerimientos de PC (110-120 g kg<sup>-1</sup> MS) para un nivel medio de producción de animales en pastoreo (NRC, 2016). El ensilado de sorgo, sorgo + guandú, sorgo + guandú + inoculante (Sill-All 4x4 Lallemand) en sus diferentes días de fermentación anaeróbica superan el nivel (60-80 g kg<sup>-1</sup> MS) crítico que influye negativamente sobre el consumo voluntario (Orskov, 1992) y la actividad microbiana en el rumen (Van Soest *et al.*, 1991).

El contenido de FDN de T2, T3, T5 y T13 estuvo por debajo de la concentración de 550 g kg<sup>-1</sup> MS que limita el CV y la digestibilidad de los nutrientes en los animales (Van Soest, 1965) y se caracteriza como un alimento de alta calidad, por poseer una concentración cercana a 450 g kg<sup>-1</sup> MS de FDN (Girma *et al.*, 2015). No obstante, T1, T4, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T14, T15, T16 se pueden considerar como sustratos de calidad media por contener una concentración que varía entre 450 y 650 g kg<sup>-1</sup> MS de FDN (Cuadro 1). Además, de que poseen altas concentraciones de FDA (T1, T4, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T14, T15, T16) y podría estar relacionado con el clima, temperatura, radiación, precipitación y humedad relativa (Méndez *et al.*, 2020).



**Cuadro 4. Matriz de correlación entre la composición química, las constantes de producción de gas y la digestibilidad *in vitro* de materia seca**

	PC	FDN	FDA
V	-0.82924 <.0001	-0.58985 0.0162	-0.84829 <.0001
S	0.27733 0.2984	0.02217 0.935	0.234 0.3831
L	-0.03253 0.9048	0.17503 0.5167	-0.08863 0.7441
FR	-0.52165 0.0382	-0.60738 0.0126	-0.49812 0.0496
FM	-0.79137 0.0003	-0.51604 0.0407	-0.83235 <.0001
FL	-0.68033 0.0037	-0.33237 0.2085	-0.69951 0.0026
FT	-0.81092 0.0001	-0.56184 0.0235	-0.82585 <.0001
DIVMS	-0.78719 0.0003	-0.65437 0.006	-0.88745 <.0001
IPEGF	-0.1406 0.6035	0.05275 0.8462	-0.02326 0.9318

<sup>A</sup> coeficiente de correlación; <sup>B</sup> Correlación significativa a  $P < 0.05$ . PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; S: tasa de fermentación; L: fase de retraso; Vm: Volumen máximo; FR: fracción de fermentación rápida; FM: fracción de fermentación media; FL: fracción de fermentación lenta; FT: fracción fermentable total; IPEGF: Índice potencial de emisión de gas por unidad de materia orgánica digestible.

### Cinética de fermentación de gas *in vitro*

La conservación de los forrajes mediante la técnica de FA es una de las estrategias de alimentación que sustenta a los sistemas de producción del trópico en la época de estiaje, este método de conservación permite mantener las características nutricionales deseables del forraje, mediante la fermentación ácido láctica anaeróbica (Contrera-Govea *et al.*, 2008). La utilidad de la combinación en los silos de las asociaciones entre gramíneas y leguminosas, ha tomado importancia, debido a que, a través de esta técnica, se incrementa el aporte de proteína al sistema ruminal, permiten aprovechar, conservar y mejorar las condiciones de fermentación y degradación de los sustratos en el rumen (Gómez *et al.*, 2015). Al respecto, Boddey *et al.* (2009) Señalan un aumento en la sustentabilidad de sistemas integrados que es alcanzado con la incorporación de leguminosas al sistema, la utilización de leguminosas arbustivas como el guandú, tanto para la producción en el consorcio con cultivos anuales como maíz o sorgo, así como en la asociación con gramíneas para pastoreo directo, son una opción que visa mejorar el contenido proteico de la dieta de los animales.

En este sentido, los mayores Vm obtenidos en T1, T3, T2 y T4 se relacionan con la mayor digestión de los carbohidratos estructurales presentes en las biomasa (FDN), los cuales ocasionan un lento inicio de la fermentación (L), (Cuadro 3), mostrando un retardo en la



adherencia de los microorganismos e incrementando la tasa de fermentación (S), (Cuadro 3) (Kibon & Orskov, 1993; Albores *et al.*, 2018). Adicionalmente, se ha reportado que el ensilado de sorgo muestra un potencial para poder ser una estrategia de alimentación mediante la FA y que no muestran diferencias ( $P > 0.05$ ) en los tiempos de FA como se muestra en el presente estudio (Rendón *et al.*, 2014). Por otra parte, el mayor Vm encontrado en T13, T14 y T15 podría relacionarse con el inoculo (Sil-all 4X4 Lallemand) que se le agregó al sustrato y al tiempo de FA que disminuyó el tiempo de adherencia (L) de los microorganismos, mejorando la tasa de fermentación (S), (Cuadro 3) (Rodríguez *et al.*, 2013).

Por otra parte, *C. cajan* y sus combinaciones con sorgo y aditivos se han estudiado fundamentalmente en la alimentación de animales no rumiantes, por lo que, existe poca información acerca de su utilización en rumiantes, y menos aún de su degradación ruminal. En este contexto, en el presente estudio se muestra que los tratamientos con baja producción de gas total fueron los sustratos que tenían sorgo + guandú y guandú (T5, T16, T8 y T6, T7, T9, T12, T10 y T11; Cuadro 3), este bajo Vm se relaciona a una alta concentración de FDN y FDA (Cuadro 2) y un rápido inicio de la fermentación, debido a sus contenidos de PC, que al degradarse liberan carbonato de amonio y  $\text{NH}_3$  que es utilizado por las bacterias para la síntesis de proteína microbiana (Cajarville *et al.*, 2012), disminuyendo la cantidad de gas producido (Cuadro 3); (González *et al.*, 1998).

### **Fracciones fermentables, digestibilidad e índice de potencial de emisión de gas fermentado**

La sincronización de la disponibilidad de energía y la liberación de  $\text{NH}_3$  en el rumen depende de la velocidad y disponibilidad potencial de nutrientes contenidos en los forrajes (FR, FM y FL; Cuadro 3). En las gramíneas, los follajes arbóreos y las mezclas entre estos sustratos para la alimentación animal, los índices de sincronización son químicamente más complejos y críticos, comparado con aquellos alimentos más homogéneos (Rosales & Gill, 1999); y es común observar un exceso de nitrógeno y presentar una pobre a moderada sincronización entre la fermentación del nitrógeno y la fermentación de MS. Sin embargo, cuando estos son combinados en un silo, se espera que se mejoren las condiciones de los índices de sincronización incrementando las fracciones fermentables y la degradación de la MS (Nsahlai *et al.*, 1995). En este sentido, los hallazgos sobre el inicio rápido a moderado del proceso de fermentación de la MS con los T13, T15, T14, T16, T5 (Cuadro 3) podría deberse a una mayor fermentación de su fracción soluble que contiene azúcares; además, de la fermentación del almidón, la celulosa y pectinas (Miranda *et al.*, 2015) que favorecieron la rápida acción microbial y el inicio de la fermentación (FR) como consecuencia de la interacción en la concentración de PC, FDN, FDA y al inoculo Sil-all 4X4 Lallemand, que se agregó a los tratamientos (Cuadro 2), que probablemente conservó la cantidad de carbohidratos no estructurales como los azúcares y el almidón (Cajarville *et al.*, 2012).



Mientras que T1, T3, T2, T4, T14, T15, T13 y T16, mostraron una degradación de mayor componente de almidón y la concentración de celulosa (FM y FL; Cuadros 2 y 3), que podría estar influenciado por la combinación entre el sorgo y guandú y el tiempo de FA (30 y 90 días), (Cuadro 3), que influye directamente sobre el tiempo en que los microorganismos comienzan la degradación de los sustratos (Rodríguez *et al.*, 2013).

La identificación de los tratamientos que presentan una lenta fermentación, como lo fue T6, T7, T8, T9, T10, T11 y T12 puede ser útil para incorporarlas en dietas balanceadas como una fuente de energía, y sincronizarlas en mezclas con otros sustratos que tengan una rápida fermentación para aprovechar el exceso de NH<sub>3</sub> que aportan, ya que fueron influenciadas por el tipo de sustrato y el tiempo de FA (Cuadro 3) (Cajarville *et al.*, 2012). La mayor DIVMS que se encontró en T2, T1, T3, T5, T6, T4 y T6 (Cuadro 4) se relaciona con la menor concentración de celulosa en la planta (Cuadro 2 y 3), (Girma *et al.*, 2015); probablemente una mayor concentración energética en la fermentación anaeróbica favoreció un rápido inicio de la fermentación sosteniendo altas tasas de esta que dieron como resultado un mayor volumen de gas total (Cuadro 3). Mientras que la menor DIVMS de T12, T16, T10 y T11 (Cuadro 4) se asocia a su mayor proporción de FDN y FDA (Cuadro 2) que limitan la actividad fermentativa (Cuadro 3); debido a que liga químicamente a los carbohidratos estructurales, limitando su digestión (Moore & Jung, 2001), o probablemente el tiempo de FA y la combinación de los sustratos no permitieron un nivel de sincronización para mejorar la digestión (Cuadro 3) (Rendón *et al.*, 2014). Al respecto, al observar el comportamiento de los datos obtenidos para la variable PC y DIVMS, se procedió a correlacionar los tratamientos que contenían el guandú, en la que se encontró una correlación de -0.85, entre PC y DIVMS, lo que indica que el contenido de PC de esta planta afecta negativamente la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, este comportamiento puede deberse a la presencia de metabolitos secundarios presentes en esta planta, la cual probablemente afectó a la población microbiana o su actividad fermentativa.

La eficiencia de la degradabilidad de la MS muestra el potencial de la producción de gas (IPEGF) como indicativo del grado con que ocurre (Miranda *et al.*, 2015; Bayssa *et al.*, 2016). En este estudio T6, T5 y T9 tienen un elevado potencial para utilizarse como estrategia de mitigación en la producción de gas, ya que por cada unidad de MS fermentada se produjo la menor cantidad de gas (Vélez *et al.*, 2015). Este fenómeno puede explicarse por las altas concentraciones de constituyentes celulares (Cuadro 2) que afectan la fermentación mediante la posiblemente inhibición de los microorganismos, sin afectar la actividad de la degradación enzimática sobre la MS (Carballa *et al.*, 2015). Considerando lo antes expuesto, se concluye que el ensilado de la planta de sorgo tiene un potencial en la alimentación de los rumiantes, ya que mejora la fermentación *in vitro* de la MS, especialmente las fracciones de rápida fermentación (30 días).

La planta de guandú sola o combinada presenta un efecto negativo en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.



## LITERATURA CITADA

ALBORES-MORENO S, Alayón-Gamboa JA, Miranda-Romero LA, Jiménez-Ferrer G, Ku-Vera JC, Vargas-Villamil L. 2018. Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (acahual) of deciduous forest. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*. 28(5). ISSN: 1018-7081. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-28-05/06.pdf>

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 17th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical. ISBN: 0-935584-42-0. ISSN: 0066-961X.  
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>

BALBINO LC, Cordeiro LAM, Porfírio-da-Silva V, Moraes AD, Martínez GB, Alvarenga RC, Kichel AN, Fontaneli RS, Pereira dos Santos H, Franchini JC, Galerani PR. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46(10), 0-0. ISSN: 0100-204X.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

BAYSSA M, Negesse T, Tolera A. 2016. Leaf biomass yield, chemical composition, *in vitro* gas and methane production and rumen degradation characteristics of some woody plant species in afar rangeland of north eastern Ethiopia. *Middle-East J. Scientific Res*. 24(4): 1252-1265. ISSN: 1990-9233.  
<https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.23362>

BLÜMMEL M, Lebzien P. 2001. Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by *in vitro* techniques. *Livest. Prod. Sci*. 68:107-117. ISSN: 0301-6226.  
[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00241-4)

BODDEY RM, Jantalia CP, Conceição PC. 2009. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*. 16(2):784-795. ISSN: 1365-2486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x>

CAJARVILLE C, Britos A, Garciarena D, Repetto JL. 2012. Temperate forages ensiled with molasses or fresh cheese whey: Effects on conservation quality, effluent losses and ruminal degradation. *Animal Feed Science and Technology*. 171(1):14–19. ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.016>

CARBALLA M, Regueiro L, Lema JM. 2015. Microbial management of anaerobic digestion: exploiting the microbiome-functionality nexus. *Current Opinion in Biotechnol*. 33: 103-111. ISSN: 0958-1669. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.01.008>



CONTRERA-GOVEA F, Muck R, Armstrong K, Albrecht K. 2008. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science And Technology*. ISSN: 3778401. <https://doi.org/10.1016/J.Anifeedsci.2008.07.001>

ELMASRY AMA, Mendoza GM, Miranda LA, Vázquez G, Salem AZM, Hernández PA. 2016. Effects of types and doses of yeast on gas production and in vitro digestibility of diets containing maize (*Zea mays*) and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. *South African J Anim Scien*. 46 (4). ISSN: 2221-4062. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i4.7>.

ESTRADA-LÓPEZ I, Esparza-Jiménez S, Albarrán-Portillo B, Yong-Ángel G, Rayas-Amor AA, García-Martínez A. 2018. Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum*. 25(3). ISSN: 2395-8782. <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a7>

GARCÍA-GÓMEZ CA. 2018. Análisis económico de prácticas silvopastoriles y buenas prácticas ganaderas para mejorar la resiliencia climática en fincas productoras de leche en el municipio de Olanchito, Departamento de Yoro, Honduras. Tesis de Maestría. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8848>

CATIE, Turrialba (Costa Rica). Pp. 87. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8848>

GARCÍA M, Henry D, Schulmeister T, Benítez J, Moreno MR, Cuenca J, Ponce C, DiLorenzo N. 2015. Nutrición animal en sistemas tropicales: Uso de residuos agrícolas en la producción animal. *Maskana*, 6:75-81. ISSN: 2477-8893. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/651/567>

GIRMA M, Animut G, Assefa G. 2015. Chemical composition and in vitro organic matter digestibility of major indigenous fodder trees and shrubs in Northeastern drylands of Ethiopia. *Livest. Res. Rural Dev*. 27(2). ISSN: 1213784. <http://www.lrrd.org/lrrd27/2/girm27026.htm>

GÓMEZ-GURROLA A, Sanginés-García L, Hernández-Ballesteros JA, Benítez-Meza JA. 2015. Proximate chemical analysis of corn silage of DK2034 Variety at different fermentation times. *Educateconciencia*. 7(8):62-68. ISSN: 2007-6347. <https://tecnocientifica.com.mx/volumenes/V7N8A6.pdf>

GONZÁLEZ RM, Fondevila M, Urdaneta AB, Newman Y. 1998. In vitro gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, level of nitrogen fertilization and season of growth. *Anim. Feed Sci. Technol*. 72: 19-32. ISSN: 0377-8401 [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00181-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00181-8)



GONZÁLEZ RIC, Gómez FGT, Galindo MFA. 2015. Recursos naturales y uso de las tierras ganaderas en el trópico. En: González PE, Dávalos FJL, Rodríguez RO. (coordinadores). Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. REDGATRO-CONACYT, México. Pp. 38-47- ISBN 978-607-37-0556-1. <https://redgatro.fmvz.unam.mx/assets/rn9.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA. 2017. Cuaderno estadístico municipal, Villaflores, Chiapas, México, Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática. Edit. INEGI. DR © 2017, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Pp. 24 - 30.  
[https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825094836.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094836.pdf)

KIBON A, Orskov ER. 1993. The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. *Animal Science*. 57:247-251. ISSN: 1748-748X. <https://doi.org/10.1017/S0003356100006851>

KRISHNAMOORTHY U, Rymer C, Robinson PH. 2005. The in vitro gas production technique: limitations and opportunities. *Anim Feed Sci Technol*. 123-124:1-7. ISSN: 3778401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.015>

KÚ-VERA JC, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ, Briceño-Poot EG, Ruiz-González A, Piñeiro-Vázquez AT, Chay-Canul AJ. 2013. Tropical tree foliages and shrubs as feed additives in ruminant rations. *Nutritional Strategies of Animal Feed Additives*. Nova Sci. Publishers. New York. USA, 59-76. ISBN: 978-1-62417-002-7.  
[https://www.researchgate.net/publication/267626768\\_Tropical\\_tree\\_foliage\\_and\\_shrubs\\_as\\_feed\\_additives\\_in\\_ruminant\\_rations](https://www.researchgate.net/publication/267626768_Tropical_tree_foliage_and_shrubs_as_feed_additives_in_ruminant_rations)

MANNETJE LT. 1982. Problems of animal production from tropical pastures. In *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures: proceedings of an international symposium held at St. Lucia, Queensland, Australia, August 24-28, 1981*/edited by JB Hacker. Farnham Royal, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux. ISBN: 0851984924, 9780851984926. <http://hdl.handle.net/102.100.100/287130?index=1>

MÉNDEZ-MARTÍNEZ Y, Reyes-Pérez J, Luna-Murillo R, Ledea-Rodríguez J, Sornoza-Zambrano W, Herrera-Mena F, Álvarez-Perdomo G, Ramírez J. 2020. Efecto de la edad del rebrote y el clima en la composición química de *Cenchrus purpureus* en ecosistemas degradados de Cuba. *Scientia Agropecuaria*. 11(3):301-308. ISSN 2077-9917. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.02>



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. ISSN: 0340-3165. <https://www.scienceopen.com/document?vid=e1859372-e696-424a-85fb-d305b0b594bc>

MIRANDA RLA, Vázquez MP, Amendola MR, Sandoval GL, González OR. 2015. Cuantificación de las fracciones fermentables de alfalfa y tuna por la técnica de producción de gas. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile. Pp 146. [https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs\\_files/article/view/2651/1066](https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2651/1066)

MONFORTE BGE, Sandoval CCA, Ramírez AL, Capetillo LCM. 2005. Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylene glycol and its relationship to in vitro gas production. *Anim Feed Sci and Technol*. 123:313–327. ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016>

MONTGOMERY DC. 2013. Design and Analysis of Experiments. Eighth Edition, Wiley & Sons, New Jersey, USA. Pp. 724. SBN 978-1118-14692-7. <https://mip.faperta.unri.ac.id/file/bahanajar/58219-2013-8ed-Montgomery-Design-and-Analysis-of-Experiments.pdf>

MOORE KJ, Jung HJG. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Management*. 54: 420-430. ISSN: 0022-409X. <https://doi.org/10.2307/4003113>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. Posted 2016-10-28. ISBN: 978-0-309-31705-4. <https://doi.org/10.17226/19014>

NSAHLAI IV, Siaw DEKA, Uminna NN. 1995. Inter- relationships between chemical constituents, rumen dry matter and nitrogen degradability in fresh leaves of multipurpose trees. *Journal of Science Food and Agriculture*. 69:235-246. ISSN: 10970010, 00225142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740690214>

ORSKOV ER. 1992. Protein Nutrition in Ruminants. Academic Press, London, UK. Pp. 175. ISBN: 978-0125284813. <https://www.amazon.com/-/es/R-Orskov/dp/0125284810>



PÉREZ-LUNA EJ, Gil-Molina R, Córdova-Murillo LF, Espinosa-Villafuerte SG, León-Velasco H, Ley-de Cos A. 2019. Valor nutricional de ensilaje de *Sorghum bicolor* L. moench cv rb cañero y *Cajanus cajan* CV CAQUI en un sistema integrado de producción agropecuaria en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 6(2):1247-1251. ISSN: 2007-9559.

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105911/Aviles%20et%20al.%2C%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PIÑEIRO-VÁZQUEZ AT, Canul-Solís JR, Casanova-Lugo F, Chay-Canul AJ, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC. 2017. Emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 8(2):111-119. ISSN: 2448-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4401>

RENDÓN ME, Noguera RR, Posada SL. 2014. Vinaza de caña como aditivo acidificante en la elaboración de ensilaje de maíz (*Zea mays*). *Livestock Research for Rural Development*. ISSN: 01213784. <http://www.lrrd.org/lrrd26/1/rend26007.html>

RODRÍGUEZ R, Lores J, Gutiérrez D, Ramírez A, Gómez S, Elías A. 2013. Inclusión del aditivo microbiano Vitafert en la fermentación ruminal in vitro de una dieta para cabras. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 47(2):171-178. ISSN: 0034-7485. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028751011>

ROSALES M, Gill M. 1997: Tree mixtures within integrated farming systems. *Livestock Research for Rural Development*. 9, #36. ISSN 0121-3784. <http://www.lrrd.org/lrrd9/4/mauro941.htm>

SAS. 2006. Institute Inc., SAS/STAT. Software, Ver. 9.00. SAS, Cary, NC, USA. Pp. 442. ISBN: 978-3-540-37756-6. ISSN: 0302-9743. [https://www.sas.com/es\\_mx/software/stat.html](https://www.sas.com/es_mx/software/stat.html)

SCHOFIELD P, Pell AN. (1995) Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science*. 73(11):3455-3463. ISSN 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>

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. ISSN: 3778401. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)



TORRES A, Frías J, Granito M, Vidal C. 2007. Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food chemistry*. 101:202-211. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.018>

VAN SOEST PJ. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *Journal of Animal Science*. 24(3):834-843. ISSN: 1740-0929.

<https://doi.org/10.2527/jas1965.243834x>

VAN SOEST PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583–3597. ISSN: 0022-0302. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

VÉLEZ OM, Noguera RR, Posada SL, Gaona RC, Guerrero HS. 2015. Identificación del potencial antimetanogénico *in vitro* de plantas nativas de la sabana inundable adaptadas a condiciones de sequía en la Orinoquía Colombiana. *Livestock Research for Rural Development*. 27, #103. ISSN: 01213784.

<http://www.lrrd.org/lrrd27/5/vele27103.html>

VILLANUEVA-ÁVALOS JF. 2015. Producción de pastizales y manejo de praderas en el Estado de Nayarit. INIFAP – CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Libro Técnico Núm. 5. Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. Pp. 151. ISBN: 78-607-37-0433-5. <https://docplayer.es/29210326-Produccion-de-pastizales-y-manejo-praderas-en-el-estado-de-nayarit.html>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>