



Efecto del pasto INIAP 811 y *Tithonia diversifolia* en el valor nutricional *in vitro*

Effect of INIAP 811 and *Tithonia diversifolia* on *in vitro* nutritional value

Diego Javier Conrado-Palma⁴, Gary Alex Meza-Bone^{1,2}, Carlos Javier Meza Bone¹, Walter Vivas-Aturo³

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Campus Experimental "La María". CP. 121250 Km. 7 ½ vía al El Empalme. Cantón Mocache. Los Ríos. Ecuador.

² Instituto Tecnológico Superior Ciudad de Valencia. Campus Extensión de la Universidad de Babahoyo El Pital 1. Km. 3 ½ vía a Valencia. Cantón Quevedo. Los Ríos. Ecuador.

³ Facultad de Ciencias Zootécnica. Universidad Técnica de Manabí. Chone, Manabí, Ecuador.

⁴ Programa de Posgraduación en Zootecnia, Maestría en Producción Ganadería Sostenible, Universidad Técnica de Manabí. Chone, Manabí, Ecuador.

Correspondencia: gmeza@uteq.edu.ec

Rec.: 27.01.2022 Acept.: 22.05.2022

Publicado el 30 de junio de 2022

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión del pasto INIAP 811 y *Tithonia diversifolia* en cinco proporciones (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 respectivamente en base seca), sobre la composición bromatológica, la digestibilidad *in vitro* y la producción de gas *in vitro* en la época seca. Los tratamientos fueron T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INAP 811 y 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INAP 811 y 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INAP 811 y 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*. Las variables para la composición bromatológica: materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra en detergente neutra (FDN) y fibra en detergente ácida (FDA). Para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), fibra en detergente neutra (DIVFDN) y fibra en detergente neutra (DIVFDA). La producción de gas *in vitro* de la materia seca (B) y la tasa de producción de gas (c). La mejor (p<0.05) MS la reportó el T1 (90.18%), la MO, PC, FDN y FDA la registro el T5 (90.18; 22.19; 48.11 y 32.24% respectivamente). La mayor (p<0.05) DIVMS, DIVFDN y DIFDA la reportó el T5 (70.00; 65,77 y 44.69% respectivamente). La menor (B) (p<0.05) la reportó el T5 (204.05 mL gas) y la mayor (c) (0.050% h). La inclusión de *Tithonia diversifolia* influyó en la composición bromatológica, la digestibilidad y la producción de gas *in vitro*, notándose una mayor eficiencia de este forraje a medida que se incrementaban las proporciones evaluadas.

Palabras clave: forraje, nutrición animal, composición bromatológica, digestibilidad *in vitro*, producción de gas.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the inclusion of INIAP 811 grass and *Tithonia diversifolia* in five proportions (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 respectively on dry basis), on the bromatological composition, *in vitro* digestibility and *in vitro* gas production in the dry season. The treatments were T1= 100% grass INIAP 811; T2= 75% INAP 811 grass and 25% *T. diversifolia*; T3= 50% INAP 811 grass and 50% *T. diversifolia*; T4= 25% INAP 811 grass and 75% *T. diversifolia* and T5= 100% *T. diversifolia*. The variables for the bromatological composition: dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). For *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). *In vitro* gas production from dry matter (B) and gas production rate (C). The best (p<0.05) DM was reported by T1 (90.18%), OM, CP, NDF and ADF were recorded by T5 (90.18; 22.19; 48.11 and 32.24%), respectively). The highest (p<0.05) IVDMD, NDF and ADF was reported by T5 (70.00, 65.77 and 44.69%, respectively). The lowest (B) (p<0.05) was reported by T5 (204.05 mL gas) and the highest (c) (0.050% h). The inclusion of *Tithonia diversifolia* influenced the bromatological composition, digestibility and *in vitro* gas production, noting a greater efficiency of this forage as the evaluated proportions increased.

Keywords: forage, animal nutrition, bromatological composition, *in vitro* digestibility, gas production.

INTRODUCCIÓN

La producción de rumiantes en el Ecuador se caracteriza por el predominio de monocultivos de gramíneas que afectan el rendimiento productivo de los animales (Barros-Rodríguez *et al.*, 2017), debido a los altos contenidos de fibra y lignina que estas plantas aportan a la dieta que generan pérdidas de energía en forma de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄) del 8-12% (Kurihara *et al.*, 1999). El CH₄ se constituye de vital importancia debido a que aporta alrededor del 18% del calentamiento global generado por las explotaciones pecuarias (Carmona *et al.*, 2005).

Los rumiantes en América Latina y el Caribe son manejadas en pastoreo, donde predomina los monocultivos de gramíneas la cual se ve afectada por la producción de biomasa principalmente en la época debido a las bajas precipitaciones afectando la disponibilidad y calidad de los forrajes (Gutiérrez *et al.*, 2018), sumado a esto el clima, época y las condiciones ambientales (Meza *et al.*, 2022).

En las zonas tropicales existen diversas especies de arbóreas que poseen excelentes valores nutricionales, en relación a las gramíneas y permiten producir grandes cantidades de biomasa comestible (Medina *et al.*, 2009 y Verdecia *et al.*, 2011). *Tithonia diversifolia* es una planta herbácea, no leguminosa promisoriosa para la alimentación de monogástricos y poligástricos (Nieves *et al.*, 2011), es un forraje de alto valor nutritivo, con altos contenidos de proteína, minerales, alta digestibilidad de la materia seca, ayuda a reducir los gases de efectos invernadero (CH₄ y el CO₂), tiene un alto porcentaje de azúcares totales del 39,80% (Mahecha y Rosales, 2005), y con una producción de biomasa aérea mayor de 77 t ha⁻¹ año⁻¹ (Zavala *et al.*, 2007)

T. diversifolia es una planta que puede acumular tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas (hasta 33%); tiene altos niveles de fósforo, un gran volumen radicular, una habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del suelo, un amplio rango de adaptación, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, es muy rústica y puede soportar la poda a nivel del suelo y la quema (CIPAV, 2004). Además, tiene un rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Ríos, 2002).

Las técnicas *in vitro* es una metodología rápida y de gran importancia para evaluar aspectos de la cinética de degradación y fermentación ruminal, para comparar así las diferencias nutritivas entre diferentes materias primas o dietas destinadas para la alimentación animal (La O *et al.*, 2012). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de diferentes proporciones del Pasto INIAP 811 y *Tithonia diversifolia* sobre

la composición bromatológica, la digestibilidad y producción de gas *in vitro* en la época seca.

Materiales y métodos

Localización del trabajo experimental

La investigación se realizó en el Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional "RUMEN" propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ambas instalaciones se encuentran en la Provincia de Los Ríos, del Cantón Mocache, ubicado en el km 7 de la vía Quevedo-El Empalme, Ecuador. El experimento se desarrolló durante los meses de octubre-diciembre (2021), a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 24.20 °C, precipitación 1890 mm año⁻¹, una humedad relativa del 88.34 % y una topografía plana (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

Muestras y tratamientos

Se trabajó en una plantación de Pasto INIAP 811 y *T. diversifolia* establecido como banco de proteína durante la época seca, dicho cultivo tuvo 3 años de edad previo al corte de igualación de las plantas y fueron cosechados manualmente a los 50 días (planta completa hojas y tallos). Los tratamientos fueron cinco proporciones pasto INIAP 811 : *T. diversifolia* con cuatro repeticiones: T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INIAP 811 y 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INIAP 811 y 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INIAP 811 y 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*.

El forraje cosechado fue deshidratado exponiéndola al sol por un tiempo de 8 días haciendo el volteo del mismo cada 3 horas. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas y se molió a 1 mm en un molino a martillo (THOMAS-Wiley, USA, Model 4.) para realizar los respectivos análisis bromatológicos.

Animales

Se utilizaron cuatro toros Brahman de 450.0 ± 20.0 kg de peso vivo, provistos de una cánula ruminal (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU). Los animales fueron pastoreados y alimentados con pasto *Panicum maximum* y provisto de agua *ad libitum*.

VARIABLES A EVALUAR

Composición bromatológica: La materia seca (MS) y ceniza, determinaron según la (Asociación of Official Analytical Chemists), referida por la (AOAC, 2007). La proteína cruda (PC) se determinó como % N x 6.25, según Kjeldahl, descrita por la (AOAC, 2007).

La fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácida (FDN y FDA) se analizaron con base en la metodología descrita por (Van Soest *et al.*, 1991), y de acuerdo a las modificaciones para el uso de bolsas filtrantes (F-57 ANKOM® Technology) y a los procedimientos para el uso del analizador semiautomático de fibras (ANKOM® Fiber Analyzer A200, ANKOM Technology), señaladas en los métodos 6 y 5 para FDN y FDA, respectivamente, descritos por ANKOM® (2010).

Digestibilidad *in vitro*: La digestibilidad *in vitro* aparente de la materia seca (DIVAMS), digestibilidad *in vitro* aparente de la fibra detergente neutra (DIVAFDN) y digestibilidad *in vitro* aparente de la fibra detergente ácida (DIVAFDA), se determinó utilizando la técnica de Tilley y Terry (1963), mezclando la saliva de Menke y Steingass (1988) que involucro un periodo de incubación de 48 h con microorganismos del rumen en un medio buffer. Se siguió el protocolo recomendado por el fabricante para el incubador DaisyII® (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA 2010), con, bolsas FN° 57, tamaño de poro de 25 µm.

Producción de gas *in vitro*: Las proporciones de los forrajes fueron evaluadas por la técnica de producción de gas *in vitro* (Menke y Steingass, 1988). La producción de gas se determinó según la metodología descrita por (Theodorou *et al.*, 1994). De cada tratamiento se recolectó en botellas de vidrio de 100 ml de capacidad nominal 0.3 g de materia seca (MS). Posteriormente se añadió 60 ml de inóculo ruminal (70:30 medio/inóculo ruminal) bajo un flujo de CO₂ constante. Las botellas se sellaron y se incubaron a 39 °C en un baño maría para alcanzar la etapa mesofílica. La presión de gas y el volumen se midieron manualmente a las 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 horas después de la incubación con un transductor de presión DELTA OHM modelo DO 9704 (Delta OHM, Padova, Italia), con jeringas plásticas. Para cada tratamiento se utilizaron cuatro botellas (repeticiones) por cada tiempo de incubación y cuatro botellas adicionales como blanco. La determinación de producción de gas, (mL/g MS) se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU). Los datos se ajustaron a la ecuación. $Y = D (1 - e^{-k \cdot t})$ (krishnamoorthy *et al.*, 1991).

Donde:

Y = Producción acumulada de gas en un momento dado (ml)

D = Producción potencial acumulativa de gas (ml)

K = Tasa de producción de gas (h)

T = Tiempo de fermentación (h)

l = Retraso inicial para el inicio de la fermentación (h)

Diseño experimental

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones (T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INAP 811 y 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INAP 811 y 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INAP 811 y 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*) en época seca. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza mediante PROC GLM del SAS (2011). Las medias se evaluaron usando la prueba de Tukey (p<0.05), exceptuándose la producción de gas *in vitro* de la MS la cual se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU)

Resultados

La mayor (p=0.0001) MS, FDN y FDA la reporto el tratamiento T1 (17.35; 67.15 y 38.44%, respectivamente) (Cuadro 1). Así mismo, la mayor (p=0.0001) MO y PC la registró el tratamiento T5 (90,98 y 22,19%, respectivamente) (Cuadro 1).

La mayor (p=0.0001) DIVMS, DIVFDN y DIVFDA la reporto el tratamiento T5 (70.00; 65.77 y 44.69%, respectivamente), observándose un incremento a medida que se aumentaba las proporciones de *T. diversifolia* (Cuadro 2).

La menor (p=0.0001) producción de gas (B) la presento el tratamiento T5 (204.05 mL gas) y mayor la tasa de producción de gas (c) el T5 (0.050% h), observándose una disminución de la producción de gas a medida que se incrementó las proporciones de *T. diversifolia* (Cuadro 3).

Cuadro 1. Composición química de las proporciones del pasto INIAP 811: *Tithonia diversifolia*.

Tratamientos	Composición química (% MS)				
	MS	MO	PC	FDN	FDA
T1	17,35 a	85,31 d	14,44 e	67,15 a	38,44 a
T2	16,36 b	86,46 cd	15,94 d	61,34 b	37,07 b
T3	15,80 c	87,79 bc	17,69 c	57,31 c	35,71 c
T4	15,55 d	89,30 ab	19,69 b	51,64 d	33,28 d
T5	15,44 d	90,18 a	22,19 a	48,11 e	32,24 d
EEM	0.03	0.35	0.22	0.54	0.26
Valor P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

^{a, b, c, d}Medias con letras distintas entre columnas difieren significativamente ($p < 0,005$); EEM= error estándar de la media MS: materia seca; MO: materia orgánica; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida. T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INAP 811 + 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INAP 811 + 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INAP 811 + 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*.

Cuadro 2. Digestibilidad *in vitro* de las proporciones del pasto INIAP 811: *Tithonia diversifolia*.

Tratamientos	Digestibilidad <i>in vitro</i> (% MS)		
	DIVMS	DIVFDN	DIVFDA
T1	58,29 d	49,80 d	29,92 d
T2	59,41 d	56,50 c	35,09 c
T3	62,27 c	60,47 bc	39,32 b
T4	67,29 b	63,45 ab	43,32 ab
T5	70,00 a	65,77 a	44,69 a
EEM	0.28	1.06	0.0001
Valor P	0.0001	0.0001	0.95

^{a, b, c, d}Medias con letras distintas entre columnas difieren significativamente ($p < 0,005$); EEM= error estándar de la media DIVMS: digestibilidad *in vitro* materia seca; DIVFDN: digestibilidad *in vitro* fibra detergente neutra; DIVFDA: digestibilidad *in vitro* fibra detergente ácida. T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INAP 811 + 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INAP 811 + 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INAP 811 + 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*.

Cuadro 3. Parámetros de producción de gas *in vitro* (mL gas/0,400 g de fermentación de MS) de las proporciones del pasto INIAP 811: *Tithonia diversifolia*.

Tratamientos	B	c
T1	308,30 a	0,038 c
T2	269,80 ab	0,043 bc
T3	248,23 bc	0,045 abc
T4	225,15 cd	0,047 ab
T5	204,05 d	0,050 a
EEM	9.60	0.001
Valor P	0.0001	0.0005

^{a, b, c, d}Medias con letras distintas entre columnas difieren significativamente ($p < 0,005$); EEM= error estándar de la media; Producción de gas [PG (mL gas)] (B) y la tasa de producción de gas %/h (c): los parámetros se ajustaron a la ecuación $y = D(1 - e^{-k \cdot t})$ (krishnamoorthy et al., 1991). T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INAP 811 + 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INAP 811 + 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INAP 811 + 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*.

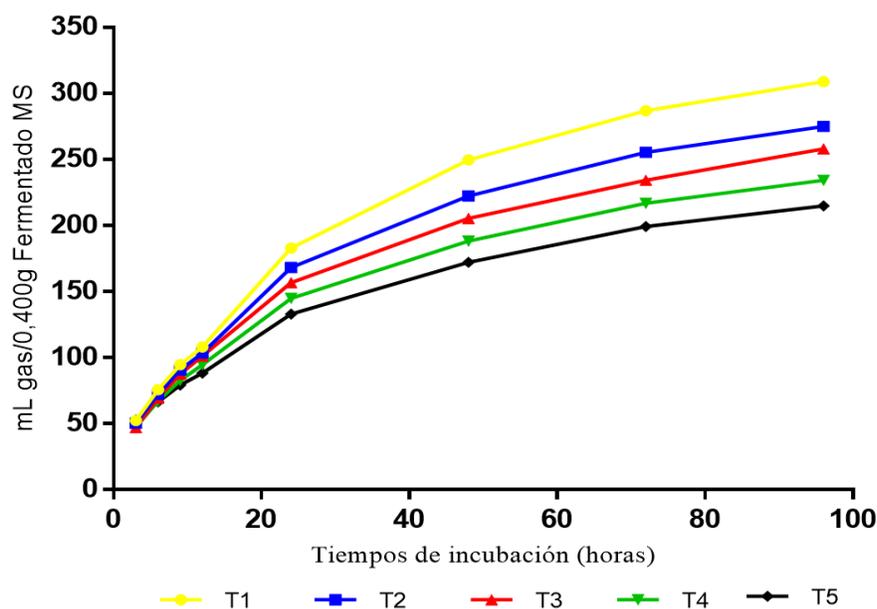


Figura 1. Fermentación de producción de gas *in vitro* [PG (mL gas)] de las proporciones de pasto INIAP 811 : *T. diversifolia*. T1= 100% pasto INIAP 811; T2= 75% pasto INIAP 811 + 25% *T. diversifolia*; T3= 50% pasto INIAP 811 + 50% *T. diversifolia*; T4= 25% pasto INIAP 811 + 75% *T. diversifolia* y T5= 100% *T. diversifolia*.

Discusión

El pasto INIAP 811 reportó la menor composición química en términos de MO, PC, FDN y FDA, sin embargo, los resultados de las proporciones con *T. diversifolia* sugiere que el asocio mejoró los nutrientes (MO, PC, FDN y FDA) Cuadro 1. Mahecha-Ledesma *et al.*, (2017) mencionan que la inclusión de los forraje arbustivo o arbóreo mejora la calidad nutricional en términos de la composición bromatológica, la degradación, la digestibilidad y la fermentación ruminal. Según Meza *et al.*, (2022), la calidad de los recursos forrajeros depende del género, especie y cultivar, edad y estado fisiológico de la planta, de las propiedades químicas y físicas del suelo, de las condiciones climáticas y el manejo al cual está siendo sometida una determinada especie.

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* de los nutrientes (MS, FDN y FDA) están asociado a las proporciones de la *T. diversifolia* debido a su alto contenido de PC y a la baja fracciones fibrosas (FDN y FDA) Cuadro 1. Concordando con Gutiérrez *et al.*, (2015) quienes mencionan que la proporciones entre gramíneas y leguminosas está asociado a la composición bromatológica específicamente en la pared celular y la proteína cruda, la cual favorece al ataque por parte de los microorganismos ruminales. Peng *et al.*, (2014) indica que un menor contenido de carbohidratos estructurales propicia mayor acceso a los

microorganismos ruminales y facilita su degradación.

Molina-Botero *et al.*, (2013) mencionan que la inclusión de leguminosas favorece la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, debido al buen aporte de la PC y su bajo porcentaje de carbohidratos estructurales. Similar situación fue reportada por García *et al.*, (2006) trabajando con moringa, morera y leucaena, al obtener mayor degradación de la MS y la MO para moringa. Generalmente, las diferencias en la degradabilidad y la digestibilidad se relacionaron con sus contenidos de fibra y proteína bruta, debido a que estas especies tienen poca presencia de metabolitos tóxicos y bajas concentraciones de posibles factores anti-nutricionales (Rodríguez *et al.*, 2014). Las leguminosas forrajeras contienen metabolitos secundarios que pueden ayudar a reducir la producción de gas ruminal y mejora su digestibilidad (Monforte-Briceño *et al.*, 2005 y Hess *et al.*, 2003).

Álvarez (2000) afirma, que árboles forrajeros con bajos contenidos de FDN (20% - 35%) presentan usualmente alta digestibilidad y una reducción de emisiones de gas significativo. A su vez (Salem *et al.*, 2011 y Peng *et al.*, 2014) indica que también se le atribuyen al menor contenido de carbohidratos estructurales que tiene las plantas arbustivas, ya que el menor contenido de carbohidratos propicia mayor acceso a los microorganismos ruminales y facilita su degradación y digestibilidad. Lo que concuerda con Olafadehan y Okunade (2018) quienes manifiestan que

por su excelente valor biológico la *T. diversifolia* es un forraje considerado de rápida degradación ruminal, rápida velocidad de degradación, digestión de los elementos de la pared celular y de los compuestos nitrogenados.

La *T. diversifolia* tuvo una menor producción de gas *in vitro* respecto al pasto INIAP 811 (Cuadro 3). Sin embargo, al hacer la comparación entre todas las proporciones que incluyeron *T. diversifolia* se encontró una menor producción de gas a medida que se incrementaban las dosis. Por consiguiente, la baja producción de gas está asociado a los altos valores de la PC y a la baja FDN y FDA de la composición química (Cuadro 1). Cárdenas *et al.*, (2003) y Pinto *et al.*, (2010), mencionan que la incorporación de plantas arbustivas y arbóreas mejora la calidad, incrementa los niveles de proteína cruda y carbohidratos de rápida fermentación. Quintanilla *et al.*, (2020) y Rodríguez *et al.*, (2017) menciona que la producción de gas disminuye cuando se incrementan la inclusión de *M. oleifera*. Así mismo, Molina-Botero *et al.*, (2013) menciona que la producción de gas es una medida directa en el proceso fermentativo de un forraje, el material es hidratado y colonizado por los microorganismos ruminales lo que origina diferentes tasas de degradación y esta va a depender de la concentración de carbohidratos estructurales.

Varios autores han afirmado que la inclusión de especies arbustivas en la dieta de rumiantes puede constituirse en una oportunidad para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Mirzaei-Aghsaghali y Maheri-Sis, 2011). Así mismo, Hess *et al.*, (2006) y Mayorga *et al.*, (2014) demostraron que la inclusión de leguminosas arbustivas o arbóreas baja en taninos, logra disminuir la emisión de gases de efecto invernadero hasta en un 13%, comparado con dietas con base en gramíneas 100%. La variación de producción de gas va a depender de la disponibilidad de carbohidratos estructurales y no estructurales para la acción de los microorganismos durante la fermentación (Elghandour *et al.*, 2016; Ferro *et al.*, 2017). Así mismo la producción de gas se relacionan directamente con la composición de la pared celular de los forrajes (Tiemman *et al.*, 2008). La producción de gas está relacionada con el tipo de sustratos, la composición química y a la eficiencia por los microorganismos ruminales (Gaviria *et al.*, 2015).

Conclusiones

La proporción del tratamiento T4 (25% pasto INAP 811 + 75% *T. diversifolia*) mejoró la composición química, la digestibilidad y la producción de gas *in vitro*; lo que es viable la inclusión de plantas arbustivas

y arbóreas combinado con gramíneas tropicales.

Literatura citada

- Álvarez. DM. 2000. Evaluación *In vitro* de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes. Trabajo de grado para optar al título de Zootecnista. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira Valle del Cauca. 120 p.
- ANKOM Technology. 2010. Operator's manual "Daisy" incubator. ANKOM Technology.
- Association of Official Analytical Chemists. 2007. Official methods of analysis (18th Ed). Association of Official Analytical Chemists.
- Barros-Rodríguez M, Rovalino-Núñez V, Núñez-Torres O, Mera-Andrade R, Artieda-Rojas J, Vaca-Freire L, 2017. Composición química, cinética de degradación ruminal y producción de gas *in vitro* de arvenses con potencial forrajero. *Livest Res Rural Dev* 29(4). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/barr29071.html>
- Cárdenas, M. J.; Sandoval, C. J. y Solorio, F. J. 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 41(3): 283-294.
- Carmona JC, Bolívar DM, Giraldo LA. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev Colomb Cienc Pec*. 18: 49-63.
- CIPAV. 2004. Sistemas agroforestales, banco de forraje de leñosas, árboles y arbustos. En: *Sistemas silvopastoriles*. (Ed. Enrique Murgueitio). Cali, Colombia. 102 pp.
- 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. *Journal of Equine Veterinary Science*. . 38: 64-71.
- Ferro, MM, Zanine AM, Castro WJR & Souza AL. 2017. Cinética de fermentação ruminal *in vitro* de silagem de cana de açúcar com resíduo de cervejaria desidratado. *Archivos de Zootecnia*. 66 (254): 237-242.
- García DE, Medina MG, Humbría J, Domínguez C, Baldizán A, Cova L, Soca M. 2006. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch Zootec* 55: 373-384.
- Gaviria, X, Naranjo, JF & Barahona, R. 2015. Cinética de fermentación *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin

- suplementación energética. Pastos y forrajes, 38 (1): 55-63.
- Gutiérrez, D; Borjas, E; Rodríguez, R; Rodríguez, Z; Stuart, R y Sarduy, L. 2015. Evaluation of the chemical composition and *in situ* ruminal degradability of mixed silage with *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169: *Moringa oleifera*. Avances en Investigación Agropecuaria. 19(3): 7-16.
- Gutiérrez-González, Delfín, González-González, Nelson N., Elías-Iglesias, Arabel, García-López, Roberto, & Tuero-Martínez, Osvaldo R. 2018. Efecto de diferentes proporciones de *Moringa oleifera*: *Cenchrus purpureus* sobre el consumo voluntario y el balance de nitrógeno. Pastos y Forrajes, 41(3): 227-232. Recuperado en 09 de mayo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000300010&lng=es&tlng=es.
- Hess, H.D., M. Kreuzer, T.E. Díaz, C.E. Lascano, J.E. Carulla, C.R. Soliva, and A. Machmüller. 2003. Saponin rich tropical fruits affect fermentation and methanogenesis in faunated and defaunated rumen fluid. Anim. Feed Sci. Technol. 109:79-94.
- Hess, H.D., T.T. Tiemann, F. Noto, J.E. Carulla, and M. Kreuzer. 2006. Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock. Int. Cong. Series 1293:164-167.
- Krishnamoorthy, By U., Soller, H., Steingass, H., Menke, and K. H. 1991. A comparative study on rumen fermentation of energy supplements *in vitro*. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 65: 28-35.
- Kurihara M, Magner T, Hunter RA, McCrabb GJ. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. Brit J Nutr. 81: 227-234. doi: 10.1017/S0007114599000422
- La O, O., H. González, A. Orozco, Y. Castillo, O. Ruíz, A. Estrada, F. Ríos, E. Gutiérrez, H. Bernal, D. Valenciaga, B. Castro, y Y. Hernández. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 46:47-56.
- Mahecha, L. y Rosales, M. 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Helmsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. Livestock Research for Rural Development. 17(9).
- Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Barragán-Hernández, W. 2017. Calidad nutricional, degradabilidad y producción de metano en arreglos silvopastoriles. Agronomía Mesoamericana. 28 (2): 371-387. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.22750>
- Mayorga, O., E. Angarita, R. Zambrano, J. Cardozo, y S. Ospina. 2014. Emisión de metano entérico en novillos cebú con y sin la inclusión de dietas de *Guazuma ulmifolia* sobre dietas de *Panicum máximum* en el Caribe Seco Colombiano. En: M. Alfaro et al., editores, Primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica (GALA). Serie de Actas N° 54. INIA, Osorno, CHI. p. 25-31.
- Medina, M., García, D., González, M., Cova, L. & Moratinos, P. 2009. Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zoot. Trop. 27:121.
- 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 Develop 28: 7-55.
- Menke, K. H., & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development. 28: 5-7.
- Meza-Bone, G. A., Meza-Bone, C. J., Avellaneda-Cevallo, J. H., Godoy-Montiel, L. A., Barros-Rodríguez, M. A., & Jines-Fernández, F. 2022. Degradación ruminal *in vitro* en *Tithonia diversifolia*. Agronomía Mesoamericana. 43206-43206.
- Mirzaei-Aghsaghali, A., and N. Maheri-Sis. 2011. Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants I: Feeding strategies. AJAVA 6:888-908. doi:10.14269/2318-1265/jabb.v4n1p22-31
- Molina-Botero IC, Cantet JM, Montoya S, Correa-Londoño GA, Barahona-Rosales R. 2013. Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. Rev CES Med Vet Zootec 8: 15-31.
- Monforte-Briceño, G., C. Sandoval-Castro, L. Ramírez-Avilés, and M. Capetillo-Leal. 2005. Defaunating capacity of tropical fodder trees: effects of polyethyleneglycol and its relationship to *in vitro* gas production. Anim. Feed Sci. Technol. 123 (124): 313-327.
- Nieves, D., Terán, O., Cruz, L., Mena, M., Gutiérrez, F. & Ly, J. 2011. Nutrientes digestibilidad *in vitro* de *Tithonia diversifolia* foliaje in fattening rabbits. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14: 309.
- Olafadehan, O. A.; Okunade, S. A., 2018. Fodder value of three browse forage species for growing goats. J. Saudi Soc. Agric. Sci., 17 (1): 43-50.
- Pinto, R.; Hernández, D.; Guevara, F.; Gómez, H.; Medina, F.; Hernández, A.; Jiménez, J.; Alfonso,

- E.; Mendoza, P. y Ruiz, B. 2010. Preferencia deovinosa por el ensilaje de *Pennisetum purpureum* mezclado con arbóreas forrajeras tropicales. *Livestock Research for Rural Development*. 22(6).
- Quintanilla-Medina, Jairo Jeú, López-Aguirre, Daniel, Martínez-González, Juan Carlos, Limas-Martínez, Andrés Gilberto, Lucero-Magaña, Froylán Andrés, Ruíz-García, Salomón, & Hernández-Meléndez, Javier. 2020. Digestibilidad *in vitro* de dietas con diferentes niveles de inclusión de moringa (*Moringa oleifera*) para corderos en crecimiento. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 31(3). <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.16840>
- Ríos, C.I. 2002. Usos, manejo y producción de botón de oro, *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. En: Tres especies vegetales promisorias: Nacedero (*Trichanthera gigantea*) (H. & B) Nees.), Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) y Bore (*Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott). Ed. Sonia Ospina y Enrique Murgueitio, CIPAV. Cali, Colombia. 211 pp.
- Rodríguez R, González N, Alonso J, Domínguez M, Sarduy L. 2014. Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Rev Cubana Cienc Agr* 48: 371-377.
- Rodríguez, R., Borges, E., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S., & Moreira, O. 2017. Evaluación de la inclusión de *Moringa oleifera* en el valor nutritivo de ensilajes de *Cenchrus purpureum* vc. Cuba CT-169. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(4): 447-458. Recuperado en 13 de mayo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-4802017000400447&lng=es&tlng=es.
- Salem, AFZ., El Adawy, M., Gado, H., Camacho, LM., Ronquillo, M., Alsersy, H., Borhami, BE. 2011. Effects of exogenous enzymes on nutrients digestibility and growth performance in sheep and goats. *Trop Subtrop Agroecosyst* 14: 867-874.
- Statistical Analysis System. 2011. SAS Version 9.3. Procedure guide. SAS Inc.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., Mcallan, A.B., France, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*. 48: 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Tiemann, TT, CE Lascano, M Kreuzer & Hess, HD. 2008. The ruminal degradability of fibre explains part of the low nutritional value and reduced methanogenesis in highly tanniferous tropical legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 1794-1803
- Tilley. J.M.A.; Terry. R.A. 1963. A two-stage techniques for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*. 18: 104-111
- Verdecia, D., Ramírez, J.L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F. & López, S. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del valle del Cauto. *Rev. Electrónica Vet*. 12:5.
- Zavala, Y.; Rodríguez, J.C. y Cerrato, M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a seis frecuencias de poda en *Tithonia diversifolia* y *Morus alba*. *Tierra Tropical*. 3: 221.