

## Degradación Ruminal de Dietas a Base de Biomasa Pos-cosecha de *Amaranthus cruentus*: Efecto sobre los Protozoos del Rumen y Producción de Gas *in vitro*

RUMEN DEGRADATION OF DIETS BASED ON POST-HARVEST BIOMASS OF *Amaranthus cruentus*: EFFECT ON RUMEN PROTOZOA AND *in vitro* GAS PRODUCTION

M. Barros-Rodríguez<sup>1,3</sup>, J. Oña-Rodríguez<sup>1</sup>, R. Mera-Andrade<sup>1</sup>, J. Artieda-Rojas<sup>1</sup>, S. Curay-Quispe<sup>1</sup>, D. Avilés-Esquivel<sup>1</sup>, J. Solorio-Sánchez<sup>2</sup>, C. Guishca-Cunuhay<sup>1</sup>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la cinética de degradación ruminal de los nutrientes *in situ*, así como la digestibilidad aparente de los nutrientes, población de protozoarios del rumen y producción de gas *in vitro* de dietas a base de biomasa pos-cosecha de *Amaranthus cruentus*. La biomasa pos-cosecha del *A. cruentus* con el forraje de *Pennisetum clandestinum* se mezcló en base seca de acuerdo a los siguientes tratamientos: T1: 100% *A. cruentus*, T2: 100% *P. clandestinum*, T3: 75% *P. clandestinum* + 25% *A. cruentus*, T4: 50% *P. clandestinum* + 50% *A. cruentus*, bajo un diseño completamente aleatorizado. Los parámetros de degradación ruminal muestran diferencias entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), obteniendo la mayor degradación efectiva de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) en T1 (423.4, 404.1 y 354.5 g/kg MS, respectivamente). La digestibilidad *in vitro* de la MS, materia orgánica (MO) y PC fue mayor ( $p < 0.05$ ) en T1 (60, 68 y 59%, respectivamente) y T4 (53, 61 y 51%, respectivamente). La menor producción de gas *in vitro* fue para T1, con una diferencia aproximada de 91 ml/0.5 g MS fermentable con respecto a los demás tratamientos ( $p = 0.0001$ ). La menor ( $p = 0.0026$ ) población de protozoarios Holotricos y Entodiniomorfos se observó en T1 (0 y 1.80  $\log_{10}$ , respectivamente). Se concluye que la biomasa pos-cosecha de *A. cruentus* al incorporarlo a la dieta de los rumiantes puede incrementar la degradación y digestibilidad de los nutrientes y reducir la producción de gases de efecto invernadero y las poblaciones de protozoarios del rumen.

**Palabras clave:** *Amaranthus cruentus*; protozoarios; degradación ruminal; producción de gas *in vitro*

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Tungurahua, Ecuador

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

<sup>3</sup> E-mail: ma\_barrosr@yahoo

Proyecto financiado por la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE). Resolución CU-0135-P-2014

Recibido: 24 de enero de 2017

Aceptado para publicación: 29 de mayo de 2017

## ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the *in situ* rumen degradation kinetics of nutrients, as well as the apparent digestibility of nutrients, population of rumen protozoa, and *in vitro* gas production of based diets from post-harvest biomass of *Amaranthus cruentus*. Post-harvest biomass of *A. cruentus* with *Pennisetum clandestinum* forage was mixed in dry basis according to four treatments: T1: 100% *A. cruentus*, T2: 100% *P. clandestinum*, T3: 75% *P. clandestinum* + 25% *A. cruentus*, T4: 50% *P. clandestinum* + 50% *A. cruentus*, under a completely randomized design. The ruminal degradation parameters showed differences between treatments ( $p < 0.05$ ) obtaining the highest effective degradation of dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fibre (NDF) in T1 (423.4, 404.1 and 354.5 g/kg, respectively). The *in vitro* digestibility of DM, organic matter (OM) and CP was higher ( $p < 0.05$ ) in T1 (60, 68 and 59% respectively) and T4 (53, 61 and 51% respectively). The lowest *in vitro* gas production was for T1, with a difference of approximately 91 ml/0.5 mg fermented DM with respect to the other treatments ( $p = 0.0001$ ). The lowest ( $p = 0.0026$ ) population of protozoa Holotrichs and Entodinoforms was observed in T1 (0 and 1.80  $\log_{10}$  respectively). It is concluded that the post-harvest biomass of *A. cruentus* when incorporated into the diet of ruminants, can increase the degradation and digestibility of nutrients, and reduce the production of greenhouse gases and populations of protozoa of the rumen.

**Key words:** *Amaranthus cruentus*; protozoa; rumen degradation; *in vitro* gas production

## INTRODUCCIÓN

El desempeño productivo de los rumiantes está en función del valor nutricional de la dieta que consumen. Asimismo, la dieta es el factor más determinante sobre el tipo y las proporciones de poblaciones microbianas del rumen, así como su capacidad para degradar carbohidratos estructurales como la celulosa, hemicelulosa y compuestos tóxicos, por lo que determina el perfil de fermentación ruminal (Tan *et al.*, 2011). En sistemas de producción en condiciones de los páramos del Ecuador, la principal fuente de alimentación la constituyen pastos y forrajes de calidad nutritiva deficiente (Manotoa, 2016), lo que puede ocasionar pérdidas de energía en forma de gases efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) del 8 al 12%, debido a los altos niveles relativos de fibra y lignina presentes en la dieta (Kurihara *et al.*, 1999).

Una alternativa para mejorar el rendimiento productivo en los rumiantes a través de la alimentación es el aprovechamiento de la biomasa pos-cosecha de los cultivos agrícolas del altiplano andino del Ecuador, ya que se producen altas cantidades de chocho chocho (*Lupinus mutabilis*), avena (*Avena sativa*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranto (*Amaranthus cruentus*), etc. La incorporación de estas especies, ricas en nutrientes y compuestos secundarios, en la dieta de los rumiantes, se presenta como una alternativa en los páramos del país, con el fin de formular estrategias de manipulación de la fermentación ruminal, orientadas a mejorar la eficiencia en el rendimiento de los animales y reducir los gases de efecto invernadero (Abdulrazak *et al.*, 2000). Del cultivo de amaranto se aprovecha la inflorescencia (panoja) para el consumo humano, quedando como residuo la planta con hojas, tallos y pequeñas panojas, donde los tallos y hojas po-

seen niveles de proteína cruda (PC) de 9.5 y 24.8%, respectivamente (García-Pereyra *et al.*, 2009).

El amaranto es un forraje rico en proteína, lo que propicia mayor disponibilidad de compuestos como amoníaco, aminoácidos y péptidos, así como ácidos grasos de cadena corta ramificados, que se producen como resultado de la degradación de las proteínas (Tan *et al.*, 2011). Estas sustancias favorecen la degradación de la fibra, actuando como activadores del crecimiento de bacterias ruminales, especialmente las celulolíticas y proteolíticas (Hoover y Stokes, 1991). El amaranto tiene, además, compuestos secundarios como los taninos (hidrolizables y condensados), que forman complejos con las proteínas proporcionando mayor proteína de sobrepaso hacia las partes bajas del tracto gastrointestinal, así como una posible acción directa de los compuestos secundarios (taninos, saponinas, ácidos orgánicos) que pueden reducir la actividad o población de metanógenos y protozoarios en el rumen (Tavendale *et al.*, 2005), lo cual reduciría las emisiones de metano (Waghorn y Woodward, 2006).

Con base en estos antecedentes, el objetivo de esta investigación fue evaluar la cinética de la degradación ruminal de los nutrientes, digestibilidad aparente de los nutrientes, población de protozoarios del rumen, y producción de gas *in vitro* de dietas a base de biomasa pos-cosecha de *Amaranthus cruentus*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, Ecuador, a una altitud de 2890 m.

### Muestras Vegetales y Tratamientos

Se trabajó con un cultivo de amaranto (*A. cruentus*) sembrada como fuente de grano para el consumo humano y una pastura de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

La biomasa (planta) pos-cosecha de *A. cruentus* se cortó a 5 cm del suelo, inmediatamente después a la cosecha de la panoja (5 meses). Se colectó 30 kg de materia fresca que fue deshidratada exponiéndola al sol y procesada en un molino de martillo (CREMASCO DP2, Brasil) a un tamaño de partícula de 2 mm. En forma similar, 30 kg de materia fresca de pasto fue cortado a una edad de 35 días y el proceso de secamiento fue similar al de *A. cruentus*.

Los forrajes molidos se incorporaron en una ración integral, de acuerdo a cuatro combinaciones (Cuadro 1).

La materia seca (MS) (# 7.007) y ceniza (# 7.009) se determinaron según la AOAC (1990). La fibra detergente neutro (FDA) y fibra detergente ácida (FDN) se determinaron mediante el método 12 y 13 respectivamente, ANKOM<sup>2000</sup> analizador de fibra (ANKOM Technology, Macedon, NY, EEUU). La PC se determinó por análisis elemental (N) utilizando un LECO CHN 628 (LECO Corporation).

### Animales

Se utilizaron seis toros con peso de 412.3 ± 35.2 kg, provistos de una cánula ruminal (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU). Los animales se alojaron en corrales individuales y fueron alimentados con una dieta a base de *Medicago sativa* y *P. clandestinum* y se les proporcionó agua *ad libitum*.

### Degradación Ruminal *in situ*

Se evaluó mediante la técnica de la bolsa de nylon en el rumen descrita por Ørskov

Cuadro 1. Inclusión de niveles de rastrojo de *Amaranthus cruentus* y composición química de las dietas experimentales (g/kg MS)

Forrajes	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
<i>P. clandestinum</i>		1000	750	500
<i>A. cruentus</i>	1000		250	500
Total	1000	1000	1000	1000
Composición química (%)				
Materia seca	85.23	84.86	86.02	85.89
Materia orgánica	90.78	89.44	90.12	90.55
Proteína cruda	14.41	6.96	8.86	11.32
Fibra detergente neutro	58.30	66.52	66.04	61.84
Fibra detergente ácida	20.87	29.64	29.35	27.35
Cenizas	9.22	10.56	9.88	9.45

*et al.* (1980). En cada animal se colocaron dos bolsas conteniendo 5 g MS de cada tratamiento y se incubaron por 0, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 h. Al término de los periodos de incubación, las bolsas fueron removidas, lavadas con agua corriente y secadas a 60 °C. Las bolsas empleadas para medir la pérdida por lavado (0 h) no se incubaron en el rumen y solo se lavaron con agua corriente. Los residuos se almacenaron en bolsas de polietileno a -4 °C.

La desaparición de los nutrientes fue calculada como una proporción del material incubado y residual. Los datos se ajustaron a la ecuación:  $Y = a + b(1 - e^{-ct})$  y la degradación efectiva se ajustó mediante la ecuación  $DE = a + [(b*c)/(c + k)]$  considerando una tasa de pasaje de 5% (Ørskov y McDonald, 1979).

#### Digestibilidad Aparente, Población de Protozoarios Ruminales y Producción de Gas

Estas pruebas se realizaron *in vitro*. Para esto, se obtuvo el contenido del rumen-

(líquido y fracciones sólidas) por separado de cada toro canulado. El contenido ruminal (1000 ml) se recolectó antes de proporcionar el alimento y se mantuvo a 39 °C en un recipiente de plástico sellado durante el transporte al laboratorio.

El análisis en el laboratorio se hizo dentro de la hora de la recolección en un medio rico en nitrógeno según Menke y Steingass (1988). La producción de gas se determinó según la metodología descrita por Theodorou *et al.* (1994). En breve, 0.5 g de MS de cada tratamiento se colocó en botellas de vidrio de 100 ml de capacidad nominal, se añadió 60 ml de inóculo ruminal (70:30 medio/inóculo ruminal) bajo un flujo de CO<sub>2</sub> constante. Las botellas se sellaron y se incubaron a 39-40 °C. La presión de gas y el volumen se midieron manualmente a las 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 y 48 h después de la incubación con un transductor de presión DELTA OHM modelo DO 9704 (Delta OHM, Padova, Italia) y jeringas plásticas. Para cada tratamiento se utilizaron seis botellas (repeticiones) por cada tiempo de incubación y cuatro botellas adicionales como blanco.

Al final de la incubación, la digestibilidad *in vitro* (MS fermentable, materia orgánica [MO] y PC) se estimó mediante el filtrado de los residuos y se corrigió con la MS y la PC residual de los frascos utilizados como blancos. Se estimó la producción total de gas por 0.5 g MS fermentable, así como la digestibilidad aparente de MS, MO y PC.

Se utilizaron seis botellas adicionales por tiempo de incubación (0, 24, 36 y 48 h) para determinar la población de protozoarios del rumen antes y después de exponerlos a las dietas integrales. Al término de cada periodo de incubación se retiró de cada botella 1 ml. Los protozoarios se conservaron con una gota de formol y se mantuvo a 4 °C hasta cuantificarlos utilizando un microscopio óptico (x40) y una cámara Fuchsh-Rosenthal. Los protozoarios se tiñeron con una solución de verde de metilo formamida según la metodología descrita por Ogimoto y Imai (1981).

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza mediante el PROC GLM del SAS (SAS, 2002). Las medias se evaluaron usando la prueba de Tukey, a excepción de la cinética de degradación ruminal *in situ* de los nutrientes, la cual se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU).

## RESULTADOS

Los parámetros de la cinética de degradación ruminal de los nutrientes muestran diferencias ( $p=0.0001$ ) entre tratamientos, siendo T1 el tratamiento que obtuvo la mayor degradación de MS, PC y FDN (solo *A. cruentus*), tanto para la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación en porcentaje por hora (c) y la degradación efectiva (DE) (Cuadro 2).

La digestibilidad *in vitro* de la MS, MO y PC mostró diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre tratamientos. La mayor digestibilidad fue para los tratamientos T1: solo *A. cruentus* (60, 68 y 59%, respectivamente) y T4: 50:50 *A. cruentus* y *P. clandestinum* (53, 61 y 51%, respectivamente) (Cuadro 3). La menor producción de gas *in vitro* fue para T1, con una diferencia de 91 ml/0.5 g MSF con respecto a los tratamientos de mayor producción de gas (T2 y T3) (Cuadro 3;  $p=0.0001$ ).

La población de protozoarios Holotricos en T1 a las 24 de incubación *in vitro* fue menor que en los demás tratamientos ( $p=0.0081$ ). En el caso de los protozoarios Entodiniomorfos no se observaron diferencias numéricas entre tratamientos (Cuadro 4;  $p=0.0596$ ). Sin embargo, a partir de las 36 h se redujo a cero el número de Holotricos en los tratamientos T1, T3 y T4, y menor número de Entodiniomorfos en T1 con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 4;  $p<0.05$ ).

## DISCUSIÓN

La mayor degradación ruminal y tasa de degradación en porcentaje por hora (c) de los nutrientes en el T1 y T4 (Cuadro 2), fue debido al menor contenido de carbohidratos estructurales que tiene la biomasa pos cosecha de *A. cruentus* (Cuadro 1). El menor contenido de carbohidratos propicia mayor acceso a los microorganismos ruminales y facilita su degradación (Salem *et al.*, 2011; Peng *et al.*, 2014). Por otro lado, la pared celular en T2 y T3 presenta mayor lignificación y, por ende, dificulta la acción de los microorganismos. Esto se observa claramente en este estudio, donde al incorporar *A. cruentus* en la ración aumenta la degradación efectiva de la fibra y proteína (Cuadro 2); resultados que coinciden con los reportados por Torres *et al.* (2013) y por Barros-Rodríguez *et al.* (2015).

Cuadro 2. Cinética de degradación ruminal *in situ* de los nutrientes de dietas a base de rastrojo de *Amaranthus cruentus* (g/kgMS)

	Tratamientos				EEM	Valor P
	T1	T2	T3	T4		
Degradación de la MS						
$T_0$	224.9	228.4	219.9	221.6		
a	200.9 <sup>a</sup>	189.2 <sup>b</sup>	190.1 <sup>b</sup>	193.8 <sup>b</sup>	8.34	0.0001
b	428.8 <sup>a</sup>	360.6 <sup>b</sup>	372.9 <sup>b</sup>	376.1 <sup>b</sup>	10.32	0.0001
c	0.054 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.018 <sup>b</sup>	0.028 <sup>b</sup>	0.0045	0.0001
DE	423.5 <sup>a</sup>	292.2 <sup>b</sup>	288.8 <sup>b</sup>	328.8 <sup>b</sup>	11.06	0.0001
Degradación de la PC						
$T_0$	182.3	180.1	172.7	179.5		
a	197.4 <sup>a</sup>	177.5 <sup>c</sup>	179.2 <sup>bc</sup>	182.9 <sup>b</sup>	5.23	0.0021
b	376.2 <sup>a</sup>	300.3 <sup>b</sup>	312.6 <sup>b</sup>	319.8 <sup>b</sup>	8.54	0.0001
c	0.061 <sup>a</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.0078	0.0001
DE	404.1 <sup>a</sup>	272.1 <sup>b</sup>	268.5 <sup>b</sup>	283.7 <sup>b</sup>	7.43	0.0001
Degradación de la FDN						
$T_0$	162.3	159.0	161.7	170.2		
a	202.4 <sup>a</sup>	168.4 <sup>b</sup>	169.3 <sup>b</sup>	171.7 <sup>b</sup>	10.54	0.0001
b	310.6 <sup>a</sup>	279.8 <sup>b</sup>	287.2 <sup>b</sup>	289.0 <sup>b</sup>	7.65	0.0001
c	0.048 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.021 <sup>b</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.0081	0.0023
DE	354.5 <sup>a</sup>	248.3 <sup>c</sup>	254.2 <sup>bc</sup>	262.8 <sup>b</sup>	9.76	0.0001

<sup>abc</sup> Medias con letras distintas entre filas difieren significativamente ( $p < 0.05$ )

$T_0$ : tiempo cero (muestras lavadas en laboratorio); a: fracción soluble; b: fracción insoluble pero potencialmente degradable; c: tasa de degradación en % por hora; DE: degradación efectiva; EEM: error estándar de la media

T1: rastrojo de amaranto; T2: forraje de *P. clandestinum*; T3: *P. clandestinum* 75% + rastrojo de *A. cruentus* 25%; T4: *P. clandestinum* 50% + rastrojo de *A. cruentus* 50%

La mayor digestibilidad *in vitro* de los nutrientes en T1 y T4 fue debido al menor contenido de FDN y mayor PC que aporta *A. cruentus* a la ración (Cuadro 1), ya que la degradación de las proteínas da como resultado péptidos,  $\text{NH}_3$ , aminoácidos y ácidos grasos de cadena corta ramificados; compuestos que pueden mejorar las funciones del rumen. Esto estimula el crecimiento microbiano del rumen en general y, específicamente, de las bacterias celulolíticas y proteolíticas, trayendo como consecuencia una mayor digestión de los nutrientes (Hoover y Stokes, 1991); aspecto parcialmente obser-

vado en esta investigación (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con los reportados por Barros-Rodríguez *et al.* (2014).

La menor producción de gas *in vitro* en T1 y T4 (Cuadro 2), consistente con los resultados de Chai *et al.* (2004) fue debido posiblemente a: a) el bajo contenido de FDN en las raciones con biomasa poscosecha de *A. cruentus*; b) una mejor utilización del nitrógeno y mayor síntesis de proteína microbiana (Blummel *et al.*, 1997; Elghandour *et al.*, 2017); y c) una reducción de las poblaciones de protozoarios (Cuadro 4) y posible dismi-

Cuadro 3. Digestibilidad *in vitro* (DIV) de los nutrientes (Materia seca [MS], materia orgánica [MO] y proteína cruda [PC]) y producción de gas *in vitro* de dietas a base de rastrojo de amaranto

	Tratamientos				EEM	Valor P
	T1	T2	T3	T4		
DIVMS g/kg	600.4 <sup>a</sup>	500.9 <sup>b</sup>	442.8 <sup>c</sup>	531.3 <sup>ab</sup>	27.78	0.0060
DIVMO g/kg	682.7 <sup>a</sup>	576.2 <sup>b</sup>	552.1 <sup>b</sup>	618.8 <sup>ab</sup>	21.01	0.0002
DIVPC g/kg	592.7 <sup>a</sup>	480.5 <sup>b</sup>	494.6 <sup>b</sup>	518.3 <sup>ab</sup>	25.76	0.0001
PGIV ml/0.5 g MSF	234.6 <sup>c</sup>	334.7 <sup>a</sup>	325.9 <sup>a</sup>	280.5 <sup>b</sup>	7.34	0.0001

<sup>abc</sup> Medias con letras distintas entre filas difieren significativamente ( $p < 0.05$ )

EEM: error estándar de la media; PGIV: producción de gas *in vitro*; MSF: materia seca fermentable

T1: rastrojo de *Amaranthus cruentus*; T2: forraje de *P. clandestinum*; T3: *P. clandestinum* 75% + rastrojo de *A. cruentus* 25%; T4: *P. clandestinum* 50% + rastrojo de *A. cruentus* 50%

Cuadro 4. Poblaciones de protozoarios ruminales *in vitro* ( $\log_{10}$ ) antes y después de exponerlos a dietas a base de rastrojo de *A. cruentus*

Protozoos	Tratamientos				EEM	Valor P
	T1	T2	T3	T4		
Hora 0						
H	4.02 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>	4.04 <sup>a</sup>	3.63 <sup>a</sup>	0.111	0.0588
E	4.75 <sup>a</sup>	4.62 <sup>a</sup>	4.84 <sup>a</sup>	4.74 <sup>a</sup>	0.058	0.1142
Hora 24						
H	0.56 <sup>c</sup>	2.98 <sup>a</sup>	2.46 <sup>a</sup>	1.26 <sup>b</sup>	0.696	0.0081
E	4.64 <sup>a</sup>	4.29 <sup>a</sup>	4.51 <sup>a</sup>	4.37 <sup>a</sup>	0.074	0.0596
Hora 36						
H	0 <sup>b</sup>	0.56 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0.283	0.0413
E	1.70 <sup>b</sup>	3.81 <sup>a</sup>	3.71 <sup>a</sup>	3.26 <sup>a</sup>	0.510	0.0295
Hora 48						
H	0 <sup>b</sup>	0.78 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0.132	0.0098
E	1.80 <sup>b</sup>	4.14 <sup>a</sup>	3.89 <sup>a</sup>	3.86 <sup>a</sup>	0.420	0.0026

<sup>abc</sup> Medias con letras distintas entre filas difieren significativamente ( $p < 0.05$ )

H: Holotricos; E: Entodiniomorfos; EEM: error estándar de la media

T1: rastrojo de *A. cruentus*; T2: forraje de *P. clandestinum*; T3: *P. clandestinum* 75% + rastrojo de *A. cruentus* 25%; T4: *P. clandestinum* 50% + rastrojo de *A. cruentus* 50%

nución de los microorganismos metanogénicos (Jayanegara *et al.*, 2012), ante la acción de los compuestos secundarios presentes en la ración (Nana *et al.*, 2012).

La disminución *in vitro* de las poblaciones de protozoarios Holotricos y Entodiniomorfos observado en los tratamientos con *A. cruentus* (Cuadro 4), fue debido posiblemente a la acción directa de los compuestos secundarios (taninos y saponinas) presentes en la biomasa pos-cosecha de *A. cruentus* (Nana *et al.*, 2012). Estos compuestos tienen un efecto defaunante en el rumen; por ejemplo, el efecto selectivo de las saponinas hacia el colesterol de la membrana celular de los protozoarios que causa su lisis (Jayanegara *et al.*, 2012). Estos resultados son similares a los reportados por Monforte-Briceño *et al.* (2005), González *et al.* (2011) y Barros-Rodríguez *et al.* (2015), quienes reportan un efecto defaunante atribuidos a los taninos y saponinas presentes en forrajes de plantas arbóreas y arbustivas.

## CONCLUSIÓN

La mezcla de la biomasa pos-cosecha de *Amaranthus cruentus* con forrajes de baja calidad nutricional puede incrementar la degradación y digestibilidad de los nutrientes, reducir la producción de gases de efecto invernadero y las poblaciones de protozoarios del rumen, lo cual podría maximizar la productividad de los rumiantes en condiciones *in vivo*.

## LITERATURA CITADA

1. **Abdulrazak SA, Fujihara T, Ondiek JK, Ørskov ER. 2000.** Nutritive evaluation of some *Acacia* tree leaves from Kenya. *Anim Feed Sci Technol* 85: 89-98. doi: 10.1016/S0377-8401(00)-00133-4
2. **[AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1990.** Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> ed. Arlington, VA, USA: AOAC. 684 p.
3. **Barros-Rodríguez MA, Solorio-Sánchez FJ, Sandoval-Castro CA, Ahmed AMM, Rojas-Herrera R, Briceño-Poot EG, Ku-Vera JC. 2014.** Effect of intake of diets containing tannins and saponins on *in vitro* gas production and sheep performance. *Anim Prod Sci* 54: 1486-1489. doi: 10.1071/AN14294
4. **Barros-Rodríguez MA, Solorio-Sánchez FJ, Sandoval-Castro CA, Klieve A, Rojas-Herrera RA, Briceño-Poot EG, Ku-Vera JC. 2015.** Rumen function *in vivo* and *in vitro* in sheep fed *Leucaena leucocephala*. *Trop Anim Health Prod* 47: 757-764. doi: 10.1007/s11250-015-0790-y
5. **Blummel M, Makkar HPS, Becker K. 1997.** *In vitro* gas production: a technique revisited. *J Anim Physiol Anim Nutr* 77: 24-34. doi: 10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x
6. **Chai WZ, van Gelder AH, Cone JW. 2004.** Relationship between gas production and starch degradation in feed samples. *Anim Feed Sci Technol* 114: 195-204. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2003.11.014
7. **Elghandour MMY, Vázquez JC, Salem AZM, Kholif AE, Cipriano MM, Camacho LM, Márquez O. 2017.** *In vitro* gas and methane production of two mixed rations influenced by three different cultures of *Saccharomyces cerevisiae*. *J Appl Anim Res* 45: 389-395. doi: 10.1080/09712119.2016.-1204304
8. **González N, Galindo J, Aldana AI, Moreira O, Sarduy L. 2011.** Effect of four mulberry (*Morus alba* Linn) varieties on microbial population and fermentative products with rumen liquid from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) under *in vitro* conditions. *Cuban J Agr Sci* 45: 399-404.

9. **García-Pereyra J, Valdés-Lozano CGS, Olivares-Saenz E, Alvarado-Gómez O, Alejandro Iturbide G, Salazar-Sosa E, Medrano-Roldán H. 2009.** Rendimiento de grano y calidad del forraje de amaranto (*Amaranthus* spp) cultivado a diferentes densidades en el noreste de México. *Phyton* (Buenos Aires) 78: 53-60.
10. **Hoover WH, Stokes SR. 1991.** Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J Dairy Sci* 74: 3630-3644. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78553-6
11. **Jayanegara A, Leiber F, Kreuzer M. 2012.** Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. *J Anim Physiol Anim Nutr* 96: 365-375. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x
12. **Kurihara M, Magner T, Hunter RA, McCrabb GJ. 1999.** Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Br J Nutr* 81: 227-234. doi: 10.1017/S0007114599000422
13. **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.
14. **Monforte-Briceño GE, Sandoval-Castro CA, Ramírez-Avilés L, Capetillo-Leal CM. 2005.** Defaunating capacity of tropical fodder trees: effects of polyethylene glycol and its relationship to *in vitro* gas production. *Anim Feed Sci Technol* 123: 313-327. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016
15. **Manotoa S. 2016.** Capacidad de defaunación ruminal y mitigación de gases de efecto invernadero: efecto de leguminosas forrajeras arbóreas y arbustivas. Tesis de Magíster. Ambato: Univ Técnica de Ambato. 48 p.
16. **Nana FW, Hilou A, Millogo JF, Nacoulma OG. 2012.** Phytochemical composition, antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of *Amaranthus cruentus* L and *Amaranthus hybridus* L extracts. *Pharmaceuticals* 5: 613-628. doi: 10.3390/ph5060613
17. **Ogimoto K, Imai S. 1981.** Atlas of rumen microbiology. Japan: Scientific Societies Press. 231 p.
18. **Ørskov ER, Hovell FDB, Mould F. 1980.** The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop Anim Prod* 5: 195-213.
19. **Ørskov E, McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci* 92: 499-503. doi: 10.1017/S0021859600063048
20. **Peng Q, Khan NA, Wang Z, Yu P. 2014.** Relationship of feeds protein structural makeup in common prairie feeds with protein solubility, *in situ* ruminal degradation and intestinal digestibility. *Anim Feed Sci Technol* 194: 58-70. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2014.05.004
21. **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.
22. **SAS. 2002. Institute Inc., SAS/STAT. Software v. 9.00.** Cary, NC, USA.
23. **Tan HY, Sieo CC, Abdullah N, Liang JB, Huang XD, Ho YW. 2011.** Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa *in vitro*. *Anim Feed Sci Technol* 169: 185-193. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2011.07.004
24. **Tavendale MH, Lane GA, Schreurs NM, Fraser K, Meagher LP. 2005.** The effects of condensed tannins from *Dorycnium rectum* on skatole and indole ruminal biogenesis for grazing sheep. *Aust J Agric Res* 56: 1331-1337. doi: 10.1071/AR04232

25. **Theodorou M, Williams B, Dhanoa M, Mcallan A, France J. 1994.** A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol* 48: 185-197. doi: 10.1016/0377-8401(94)90171-6
26. **Torres N, Mendoza GD, Bárcena JR, González SS, Loera O, Salem AZM, Lara A. 2013.** Effect of a fibrolytic enzymatic extract from *Cellulomonas flavigena* on *in vitro* degradation and *in vivo* digestibility and productive performance of lambs. *Anim Feed Sci Technol* 13: 583-592.
27. **Waghorn GC, Woodward SL. 2006.** Ruminant contributions to methane and global warming – a New Zealand perspective. In: Bhatti JS, Lal R, Apps MJ, Price MA (eds). *Climate change and managed ecosystems*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. p 233-260.