



## EFFECTO DE LA EDAD Y ALTURA DE CORTE DE HÍBRIDOS DE *Urochloa* sp. SOBRE LA PRODUCCIÓN DE GAS *In vitro* †

### [EFFECT OF AGE AND CUTTING HEIGHT OF HYBRIDS OF *Urochloa* sp. ABOUT *In vitro* GAS PRODUCTION]

Paulino Sánchez-Santillán<sup>1</sup>, Adán García-Balbuena<sup>1\*</sup>,  
Guadalupe Núñez-Martínez<sup>1</sup>, Nicolás Torres-Salado<sup>1</sup>,  
and Jerónimo Herrera-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. C.P. 41940. Cuajinicuilapa Guerrero 41940, México. E-mails:

sanchezsantillanp@gmail.com, adanchy15@gmail.com,

drguadalupenunez@gmail.com, nivigas@yahoo.com.mx, mvzjero@hotmail.com

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** The production of ruminants in the tropics is based on the grazing of grasses, which present variations in their nutrient content depending on the intensity and frequency of cutting. **Objective.** To determine the effect of cutting intensity and regrowth age of the morphological composition of three hybrids of the genus *Urochloa* sp on gas production and *in vitro* gas production kinetics. **Methodology.** The samples were formed by the interaction of three morphological-hybrids (Cobra, Cayman and Mulato II-leaf and stem), two cutting intensities (10 and 15 cm) and 5 regrowth ages (7, 21, 35, 49 and 63 d). Partial and accumulated gas production, maximum volume (V), gas production rate (S) and Lag time ( $\lambda$ ) were determined for the samples. The statistical design was a 6 x 2 x 5 factorial arrangement within a completely randomized design. **Results.** The leaves and stems of Cobra and Cayman showed the highest partial and cumulative *in vitro* gas production ( $p < 0.05$ ). The evaluated variables were not affected by the cutting intensity and the behavior in the *in vitro* tests was greater at 21 and 35 days of regrowth of the pastures. **Implications.** The cut intensity variable did not modify the mean values of the variables evaluated in this research work, while age negatively affects it. **Conclusions.** The leaves and stems of Cobra and Cayman grasses showed the highest partial and cumulative *in vitro* gas production.

**Key words:** *Urochloa*; hybrid; gas production; forages.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La producción de rumiantes en el trópico se basa en el pastoreo de gramíneas, mismas que presentan variación en su contenido de nutrientes dependiendo la intensidad y frecuencia de corte. **Objetivo.** Determinar el efecto intensidad de corte y edad de rebrote de la composición morfológica de tres híbridos del género *Urochloa* sp sobre la producción de gas y cinética de producción de gas *in vitro*. **Metodología.** Las muestras se conformaron por la interacción de tres híbridos-morfológicos (Cobra, Cayman y Mulato II-hoja y tallo), dos intensidades de corte (10 y 15 cm) y 5 edades de rebrote (7, 21, 35, 49 y 63 d). A las muestras se determinó producción parcial y acumulada de gas, volumen máximo (V), tasa de producción de gas (S) y tiempo Lag ( $\lambda$ ). El diseño estadístico fue un arreglo factorial 6 x 2 x 5 dentro de un completamente al azar. **Resultados.** Las hojas y tallos de Cobra y Cayman mostraron la mayor producción de gas *in vitro* parcial y acumulada ( $p < 0.05$ ). Las variables evaluadas no fueron afectadas por la intensidad de corte y el comportamiento en las pruebas *in vitro* fue mayor a los 21 y 35 días de rebrote de los pastos. **Implicaciones.** La variable intensidad de corte no modificó los valores medios de las variables evaluadas en el presente trabajo de investigación, mientras que la edad afecta de manera negativa. **Conclusiones.** Las hojas y tallos de los pastos Cobra y Cayman mostraron la mayor producción de gas *in vitro* parcial y acumulada.

**Palabras clave:** *Urochloa*; híbrido; producción gas; forrajes.

#### INTRODUCCIÓN

México tiene una superficie de 240,399 km<sup>2</sup> de trópico seco, lo que equivale a 12% del territorio nacional (Carrizales, 1996); en el cual, la producción de forraje

es estacional por las características y edafoclimáticas que modifican la adaptación, el potencial productivo y la persistencia de las especies forrajeras (Pinto *et al.*, 2005; Rojas-García *et al.*, 2018). El valor nutritivo de las gramíneas forrajeras en las regiones tropicales

† Submitted December 30, 2021 – Accepted June 17, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4157>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>  
ISSN: 1870-0462.

representa una limitación en la productividad de los rumiantes en pastoreo. Los valores nutritivos de los forrajes se basan en su contenido de proteína, fibra, grasa y cenizas (Van Soest *et al.*, 1991; Yan *et al.*, 2004; Juárez 2009). La frecuencia e intensidad de corte son dos componentes de las estrategias de manejo de forrajes que determinan mayormente el rendimiento, calidad y persistencia de la pradera debido a la disminución o aumento en la intensidad y frecuencia de pastoreo (Cruz *et al.*, 2011). El impacto de la cosecha está determinado por la cantidad y tipo de tejido removido, área foliar remanente, frecuencia de cosecha y estado fisiológico de las plantas (Beltrán *et al.*, 2005). Los parámetros de la cinética de fermentación describen la digestión, la caracterización de las propiedades intrínsecas del alimento, la digestibilidad y su contenido de componentes estructurales (Bruni y Chilibróste, 2001). Las características de producción de gas *in vitro* complementan la información nutricional (Juárez *et al.*, 2009) y sirve para describir la cinética de fermentación. Esta técnica se usa para evaluar pajas, granos de cereales, arbustivas y residuos agroindustriales (Ortiz *et al.*, 2007). La hipótesis fue la producción de gas y la cinética de producción de gas *in vitro* de los híbridos del género *Urochloa* se modifican según la edad, componente morfológico y altura de corte. Por lo cual, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la edad, altura de corte y composición morfológica de tres híbridos del género *Urochloa* sobre la producción y cinética de gas *in vitro*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de nutrición animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, ubicada en la cabecera municipal de Cuajinicuilapa, Guerrero, México. El municipio pertenece a la región Costa Chica, al sureste de Chilpancingo, localizado en las coordenadas 16° 28' 28" de latitud norte y 98° 25' 11.27" de longitud oeste a 46 msnm. La Facultad se ubica en el Km 198 de la carretera federal Acapulco-Pinotepa Nacional.

### Pastos

Los pastos del género *Urochloa* evaluados fueron Cobra (*Urochloa* híbrido CV. CIAT BR02/1794), Cayman (*Urochloa* híbrido CV. CIAT BR02/1752) y Mulato II (*Urochloa* híbrido CV. CIAT 36087). La siembra se realizó el 10 de octubre de 2016 con una densidad de 8 kg ha<sup>-1</sup> de semilla pura viable. Los surcos se realizaron con una separación de 50 cm y 5 cm entre plantas; no se aplicó fertilización. Las parcelas fueron de 10×10 m; está se dividió en 2 (5×10 m) para evaluar dos intensidades de corte (10 y 15 cm) y éstas a su vez en 5 (1×10 m) para evaluar a 5 edades de rebrote (7, 21, 35, 49 y 63 d). En la parcela se aplicaron riegos por

gravedad a capacidad de campo cada 8 d. Antes de iniciar la investigación se realizó un corte de homogenización a una intensidad de 10 y 15 cm dependiendo. Los pastos se cosecharon a 7, 21, 35, 49 y 56 d de rebrote a una altura de 10 o 15 cm sobre la superficie del suelo. Las muestras se separaron por componentes morfológicos (hoja y tallo) y se deshidrataron 48 h a 60 °C en una estufa (RIOSSA HCF-41, México). Las muestras se molieron usando una criba de 1 mm en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA).

### Medio de cultivo

El medio de cultivo para los ensayos *in vitro* consistió en dos tercios de una solución buffer-mineral reducida y un tercio de fluido ruminal fresco (Tabla 1) (Hernández-Morales *et al.*, 2018). El fluido ruminal fresco se obtuvo de un bovino provisto de cánula ruminal que pastoreó en praderas con pasto pangola y se filtró a través de 4 capas de manta de cielo para eliminar macropartículas de materia orgánica. El bovino se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento en las normas oficiales (NOM-062-ZOO-1999).

**Tabla 1. Composición del medio de cultivo.**

Medio Cultivo	3 L
Solución buffer-mineral reducida	2 L
Agua destilada (mL)	1,498
Solución mineral I <sup>1</sup> (mL)	150
Solución mineral II <sup>2</sup> (mL)	150
Buffer <sup>3</sup> (mL)	100
Solución reductora <sup>4</sup> (mL)	100
Resazurina 0.1% <sup>5</sup> (mL)	2
Fluido ruminal fresco	1 L

<sup>1</sup>Contiene (1 L) K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (Sigma), 6 g.

<sup>2</sup>Contiene (1 L) KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (Sigma), 6 g; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck), 6 g; NaCl (Sigma-Aldrich), 12 g; MgSO<sub>4</sub> (Sigma), 2.45 g; CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, (Sigma), 1.6 g.

<sup>3</sup>Contiene (1 L) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (J. T. Baker), 80 g.

<sup>4</sup>Contiene (100 mL) L-cisteína (Sigma-Aldrich) 0.1 g; Na<sub>2</sub>S<sub>9</sub>H<sub>2</sub>O (Meyer), 0.1 g; NaOH (1N; Meyer), 4 mL.

<sup>5</sup>Contiene (100 mL) resazurina (Sigma-Aldrich), 0.1 g.

### Biodigestores

En un vial serológico (120 mL) con 0.5 g de un pasto se agregaron 50 mL del medio de cultivo, bajo flujo continuo de CO<sub>2</sub>, para mantener condiciones de anaerobiosis. El vial se cerró con un tapón de neopreno y arillo de aluminio con centro removible. Los biodigestores se incubaron en baño maría a 39 °C por 72 h.

## Medición de gas y cinética de producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se midió mediante el desplazamiento del embolo de una jeringa de vidrio (50 mL; BD Yale, Brasil) a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h. Los mL gas producidos se usaron para obtener los parámetros de la cinética de producción de gas con la ecuación  $V = V_f \times \{1 + \exp(2 + 4(\lambda - t))\}^{-1}$ ; donde: V es el volumen de gas en el tiempo t,  $V_f$  es el volumen máximo en  $t = \infty$ , S es una constante de velocidad llamada tasa específica ( $S = \text{velocidad máxima} / \text{volumen máximo}$ ), y  $\lambda$  es una constante de integración equivalente a un plazo de retraso (Schofield y Pell, 1995), usando el paquete estadístico SAS® (2011).

## Análisis estadístico

Las variables se procesaron mediante un análisis de varianza. El diseño experimental fue un arreglo factorial  $6 \times 2 \times 5$  dentro de un diseño completamente al azar. Los factores fueron componente morfológico-híbrido (Cayman-hoja, Cayman-tallo, Cobra-hoja, Cobra-tallo, Mulato II-hoja, Mulato II-tallo), intensidad de corte (10 y 15 cm) y edad (7, 21, 35, 49 y 63 d). Para simplificar el análisis de los datos se usó un modelo mixto que consideró el híbrido e intensidad de corte como efectos fijos; además, la edad de corte e intensidad de corte como efectos aleatorios. Los datos se analizaron usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS® (2011) y las diferencias de medias se analizaron usando la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los factores componente morfológico-híbrido (Cayman-hoja, Cayman-tallo, Cobra-hoja, Cobra-tallo, Mulato II-hoja, Mulato II-tallo), intensidad de corte (10 y 15 cm) y edad (7, 21, 35, 49 y 63 d) se

analizaron de manera individual y su interacción. Las variables de producción y cinética de producción de gas *in vitro* presentaron interacción entre componentes morfológico-híbrido, intensidad de corte y edad ( $p<0.05$ ; Tabla 2). Además, interacción entre las combinaciones de los 3 factores evaluados ( $p<0.05$ ).

## Producción de gas *In vitro*

La producción parcial de gas *in vitro* permite establecer la fermentación de los carbohidratos según el tipo: no estructurales y estructurales (Carmona *et al.*, 2005). Mulato II en tallo y hoja no presentaron diferencias en la producción parcial de gas a las 24, 48 y 72 h y gas acumulado conforme aumento la edad de rebrote ( $p>0.05$ ). Misma situación fue para Cayman-hoja, Cayman-tallo a las 24 h y Cobra-tallo a las 48 h ( $p>0.05$ ). Sin embargo, los valores medios de estos en las diferentes edades presentan variabilidad que hace dudar si no existen diferencias significativas. Esto se puede asumir a los valores de las repeticiones que dieron como resultado desviaciones estándares altas que generó que no se presentaran diferencias significativas (Tabla 3).

La producción parcial a las 24 y 48 h en Cayman-hoja y Cayman-tallo mostraron mayores valores de producción a los 21 y 35 d. A las 72 h, los valores más altos se presentaron a los 7 d de rebrote en Cayman-hoja y Cobra-hoja. La producción acumulada muestra que Cayman-hoja a los 49 d mostró el valor más alto de gas, mientras que Cayman-tallo fue a los 21 d y a los 35 d para Cobra-tallo (Tabla 3). El comportamiento de la producción de gas se debe a la disponibilidad y tipos de carbohidratos que contiene la muestra según la edad de rebrote; ya que en las primeras horas se fermentan los carbohidratos no estructurales, así como la fracción proteica de los forrajes por su solubilidad (Rodríguez *et al.*, 2010) y posteriormente se fermentan los carbohidratos estructurales (Texta *et al.*, 2019). Esto se

**Tabla 2. Valor de p del efecto de morfológico-híbrido, intensidad de corte, edad de corte y sus interacciones del género *Urochloa*.**

Variable	Hib	Int	Edad	Hib*Int	Hib*Edad	Edad*Int	Hib*Int*Edad
24h	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
48h	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
72h	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
GTotal	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
V	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
S	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
$\lambda$	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0912	<0.0001

Hib, híbrido-morfológico; Int, intensidad de corte; 24h, producción de gas parcial a las 24 h; 48h, producción de gas parcial a las 48 h; 72h, producción de gas parcial a las 72 h; GTotal; producción de gas acumulado a las 72 h; V, volumen máximo de gas; S, tasa de fermentación;  $\lambda$ , tiempo Lag.

**Tabla 3. Efecto de la edad en la producción parcial y acumulada de gas *in vitro* de las hojas y los tallos de tres híbridos del género *Urochloa*.**

Híbrido-morfológico	Edad (días)					EEM
	7	21	35	49	63	
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 24 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
Cayman-Hoja	44.47	41.59	70.4	77.9	21.53	6.85
Cayman-Tallo	.*	18.93	26.81	25.45	27.83	2.39
Cobra-Hoja	39.45 <sup>ab</sup>	58.16 <sup>a</sup>	49.09 <sup>a</sup>	45.63 <sup>ab</sup>	23.35 <sup>b</sup>	3.36
Cobra-Tallo	.*	66.75 <sup>a</sup>	73.97 <sup>a</sup>	34.88 <sup>b</sup>	39.54 <sup>b</sup>	4.54
Mulato II-Hoja	47.64	39.29	25.06	45.83	35.83	3.32
Mulato II-Tallo	.*	30.40	39.35	40.42	46.77	3.12
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 48 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
Cayman-Hoja	40.95 <sup>ab</sup>	65.4 <sup>a</sup>	36.16 <sup>ab</sup>	39.79 <sup>ab</sup>	25.70 <sup>b</sup>	4.25
Cayman-Tallo	.*	68.24 <sup>a</sup>	70.02 <sup>a</sup>	34.01 <sup>b</sup>	40.54 <sup>ab</sup>	5.03
Cobra-Hoja	37.55 <sup>b</sup>	39.2 <sup>ab</sup>	74.97 <sup>a</sup>	64.56 <sup>ab</sup>	47.53 <sup>ab</sup>	4.6
Cobra-Tallo	.*	40.30	47.11	39.78	37.17	3.54
Mulato II-Hoja	37.16	47.14	44.35	72.38	28.18	5.59
Mulato II-Tallo	.*	58.26	54.91	38.54	48.17	6.03
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 72 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
Cayman-Hoja	45.05 <sup>a</sup>	24.61 <sup>bc</sup>	27.73 <sup>b</sup>	25.28 <sup>bc</sup>	20.09 <sup>c</sup>	1.70
Cayman-Tallo	.*	38.40 <sup>a</sup>	22.76 <sup>b</sup>	25.09 <sup>b</sup>	34.25 <sup>ab</sup>	2.01
Cobra-Hoja	52.92 <sup>a</sup>	33.15 <sup>bc</sup>	22.82 <sup>c</sup>	28.83 <sup>bc</sup>	39.97 <sup>ab</sup>	2.37
Cobra-Tallo	.*	41.59	40.74	45.98	42.41	0.96
Mulato II-Hoja	34.32	46.87	43.88	39.44	30.15	3.05
Mulato II-Tallo	.*	40.71 <sup>a</sup>	35.75 <sup>a</sup>	18.55 <sup>b</sup>	36.26 <sup>a</sup>	2.30
Producción acumulada de gas <i>in vitro</i> a las 72 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
Cayman-Hoja	130.46 <sup>ab</sup>	131.6 <sup>ab</sup>	134.29 <sup>ab</sup>	142.97 <sup>a</sup>	67.32 <sup>b</sup>	8.81
Cayman-Tallo	.*	125.57 <sup>a</sup>	119.59 <sup>a</sup>	84.54 <sup>c</sup>	102.61 <sup>b</sup>	3.72
Cobra-Hoja	129.91	130.51	146.88	139.01	110.84	7.67
Cobra-Tallo	.*	148.64 <sup>ab</sup>	161.82 <sup>a</sup>	120.63 <sup>b</sup>	119.13 <sup>b</sup>	5.56
Mulato II-Hoja	119.12	133.29	113.28	157.65	94.16	9.64
Mulato II-Tallo	.*	129.37	130.01	97.50	131.20	8.72

a,b,c Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ( $p < 0.05$ ); EEM, error estándar de la media. \*Los pastos a los 7 d aún no desarrollaban tallo.

asume porque la producción de gas es resultado de su fermentación en acetato, propionato y butirato (Amanzougarene y Fondevila, 2020). Por otra parte, la edad de rebrote influye en la composición y calidad de nutrientes disponibles para la fermentación debido a que conforme la planta madura muestra cambios fisiológicos porque se genera xilema y comienza el proceso de lignificación y acumulación de celulosa (Hoffman *et al.*, 2007); por lo que las mayores producciones de gas se presentaron en la hoja por el tipo de carbohidratos que la componen, y las mayores producciones de gas en tallo es en los primeros 21 d de corte, porque aún no iniciaba la planta el proceso de

lignificación, lo que hacía que a los carbohidratos aunque sea estructurales se adhirieran los microorganismos ruminales (Hoffman *et al.*, 2007) contenidos en el fluido ruminal fresco.

La intensidad de corte no afectó la producción parcial de gas de Cayman-tallo y Cobra-tallo a las 24 h, Cayman-hoja y Cobra-hoja a las 48 h, Cayman-hoja, Mulato II-hoja y Mulato II-tallo a las 72 h ( $p > 0.05$ ). En contraste, la intensidad de corte a 10 cm mostró mayor producción de gas en el resto de los híbridos-morfológicos ( $p < 0.05$ ; Tabla 4). Por otro lado, la intensidad de corte a 15 cm no mostró diferencias en la

**Tabla 4. Efecto de la intensidad de corte en la producción parcial y acumulada de gas *In vitro* (mL g<sup>-1</sup> MS) de las hojas y tallos de tres híbridos del género *Urochloa*.**

Híbrido-morfológico	Intensidad corte (cm)		EEM
	10	15	
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 24 h			
Cayman-Hoja	78.96 <sup>a</sup>	23.39 <sup>b</sup>	6.85
Cayman-Tallo	25.97	23.54	2.39
Cobra-Hoja	53.99 <sup>a</sup>	32.28 <sup>b</sup>	3.36
Cobra-Tallo	61.00	46.57	4.54
Mulato II-Hoja	48.70 <sup>a</sup>	28.76 <sup>b</sup>	3.32
Mulato II-Tallo	45.91 <sup>a</sup>	32.56 <sup>b</sup>	3.12
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 48 h			
Cayman-Hoja	46.55	36.65	4.25
Cayman-Tallo	64.69 <sup>a</sup>	41.72 <sup>b</sup>	5.03
Cobra-Hoja	70.27 <sup>a</sup>	35.24 <sup>b</sup>	4.6
Cobra-Tallo	42.04	40.14	3.54
Mulato II-Hoja	62.25 <sup>a</sup>	29.44 <sup>b</sup>	5.59
Mulato II-Tallo	65.93 <sup>a</sup>	34.00 <sup>b</sup>	6.03
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 72 h			
Cayman-Hoja	30.05	27.05	1.70
Cayman-Tallo	34.89 <sup>a</sup>	25.36 <sup>b</sup>	2.01
Cobra-Hoja	41.42 <sup>a</sup>	29.65 <sup>b</sup>	2.37
Cobra-Tallo	45.97 <sup>a</sup>	39.39 <sup>b</sup>	0.96
Mulato II-Hoja	42.32	35.54	3.05
Mulato II-Tallo	33.56	32.07	2.30
Producción de gas acumulada <i>in vitro</i>			
Cayman-Hoja	155.56 <sup>a</sup>	87.09 <sup>b</sup>	8.81
Cayman-Tallo	113.59	102.57	3.72
Cobra-Hoja	165.69 <sup>a</sup>	97.17 <sup>b</sup>	7.67
Cobra-Tallo	142.42	132.68	5.56
Mulato II-Hoja	153.26 <sup>a</sup>	93.74 <sup>b</sup>	9.64
Mulato II-Tallo	132.05	111.99	8.72

a,b Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ( $p < 0.05$ ); EEM, error estándar de la media.

producción parcial de gas a las 24 y 72 h en los diferentes tiempos de rebrote evaluados ( $p > 0.05$ ). La intensidad a 10 cm en la producción parcial de gas a 24 h mostró diferencias entre los 35 y 63 d ( $p < 0.05$ ). Los días 21 y 63 presentaron diferencias en la producción parcial a 48 h con una intensidad de corte a 15 cm, mientras que a los 63 d con intensidad de 10 cm produjo la menor cantidad parcial de gas ( $p < 0.05$ ). La mayor producción de gas parcial a las 72 h en la

intensidad 10 cm fue a los 7 d ( $p < 0.05$ ). La producción acumulada de gas muestra contraste, ya que la menor producción con la intensidad 10 cm fue a los 63 d; mientras que a la intensidad 15 cm la menor fue a los 7 d ( $p < 0.05$ ; Tabla 5). Valores de producción acumulada de gas menores en los 3 híbridos en hojas y mayores en tallo se reportaron en los pastos mulato y toledo a las 72 h (Ortega *et al.*, 2015). Juárez *et al.* (2009) publicó valores que oscilan entre 50.0 y 76.1 mL g<sup>-1</sup> MS en los pastos guinea, bermuda, pangola y tanzania, promediando 58.1 mL g<sup>-1</sup> MS, los cuales son mayores, similares o menores al presente estudio, según el híbrido-morfológico con el que se compare; dado que dependiendo de la composición química del híbrido-morfológico es el volumen de gas producido (Rivera *et al.*, 2015).

### Cinética de producción de gas *in vitro*

La cinética de fermentación *in vitro* permite establecer la degradación de los componentes insolubles de la pared celular y del contenido celular (Schofield y Pell, 1995). De modo que en Cayman-hoja a los 63 d y Cayman-tallo a 49 d presentaron la menor V; mientras que el Cobra-hoja los días 7 y 63 mostraron diferencias ( $p < 0.05$ ). En el resto de los híbridos-morfológicos no hubo diferencias entre edades de rebrote ( $p > 0.05$ ; Tabla 6). Por intensidad de corte, se mostró mayor V a 10 cm en los 3 híbridos-hoja ( $p < 0.05$ ), mientras que en el tallo de los 3 híbridos no afectó la intensidad de corte ( $p > 0.05$ ; Tabla 7). La intensidad de corte 10 cm a los 63 d y la intensidad de 15 cm a los 21 d mostraron los menores valores de V ( $p < 0.05$ ; Tabla 8). V es sinónimo de la producción acumulada de gas, la diferencia radica en la metodología para su cálculo. Por lo que prácticamente los valores de V con base en híbrido-morfológico, intensidad de corte y días de rebrote ya se discutieron en la producción de gas. Valores superiores de V en cualquiera de las interacciones del presente estudio se reportaron en pasto aruana con 20, 35, 50 y 65 d de rebrote, fertilizados con composta; dado que reportaron valores de 218, 145, 175 y 144 mL g<sup>-1</sup> MS (Sánchez-Santillán *et al.*, 2021).

La S en Cayman-hoja a los 7 y 63 d mostraron diferencias, en Cobra-hoja la menor S fue a los 7 d, mientras que la S en mulato II-tallo presentaron diferencias entre 49 y 63 d ( $p < 0.05$ ). El resto de los híbridos-morfológicos no tuvieron diferencias entre los diferentes días de rebrote evaluados ( $p > 0.05$ ; Tabla 6). En los híbridos Cayman y Cobra en ambos componentes morfológicos, la intensidad de corte a 10 cm propició mayor S ( $p < 0.05$ ; Tabla 7). La menor S fue a los 7 d a una intensidad de 10 cm ( $p < 0.05$ ); mientras que a 15 cm de intensidad no hubo diferencias entre días de rebrote ( $p > 0.05$ ; Tabla 8). De modo que S representa la tasa de fermentación del sustrato, por lo que la composición del híbrido-morfológico, la

**Tabla 5. Efecto de la edad en la producción parcial y acumulada de gas *in vitro* de tres híbridos del género *Urochloa* a diferente intensidad de corte.**

Intensidad corte (cm)	Edad (días)					EEM
	7	21	35	49	63	
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 24 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
10	56.14 <sup>ab</sup>	58.47 <sup>ab</sup>	64.29 <sup>a</sup>	56.00 <sup>ab</sup>	33.14 <sup>b</sup>	2.97
15	31.57	26.58	30.60	34.03	31.81	1.57
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 48 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
10	66.50 <sup>a</sup>	71.88 <sup>a</sup>	57.35 <sup>ab</sup>	43.74 <sup>bc</sup>	21.5 <sup>c</sup>	3.14
15	10.61 <sup>c</sup>	34.29 <sup>b</sup>	51.82 <sup>ab</sup>	52.61 <sup>ab</sup>	54.26 <sup>a</sup>	2.50
Producción parcial de gas <i>in vitro</i> a las 72 h (mL g <sup>-1</sup> MS)						
10	56.34 <sup>a</sup>	40.99 <sup>b</sup>	33.64 <sup>bc</sup>	28.26 <sup>c</sup>	34.66 <sup>bc</sup>	1.40
15	31.85	34.11	30.92	32.79	33.05	1.33
Producción de gas total (mL g <sup>-1</sup> MS)						
10	178.97 <sup>a</sup>	171.34 <sup>a</sup>	155.28 <sup>ab</sup>	128.01 <sup>b</sup>	89.30 <sup>c</sup>	4.96
15	74.02 <sup>b</sup>	94.98 <sup>ab</sup>	113.34 <sup>a</sup>	119.43 <sup>a</sup>	119.12 <sup>a</sup>	3.39

<sup>a,b,c</sup> Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes (p<0.05); EEM, error estándar de la media.

**Tabla 6. Efecto de la edad en la cinética de producción de gas *in vitro* de las hojas y los tallos de tres híbridos del género *Urochloa*.**

Híbrido-morfológico	Edad (días)					EEM
	7	21	35	49	63	
V (mL g <sup>-1</sup> MS)						
Cayman-Hoja	176.13 <sup>a</sup>	142.28 <sup>a</sup>	138.47 <sup>a</sup>	135.02 <sup>a</sup>	61.95 <sup>b</sup>	8.76
Cayman-Tallo	-	145.88 <sup>a</sup>	121.82 <sup>b</sup>	86.93 <sup>c</sup>	100.07 <sup>bc</sup>	5.38
Cobra-Hoja	191.38 <sup>a</sup>	129.92 <sup>ab</sup>	163.23 <sup>ab</sup>	150.32 <sup>ab</sup>	121.52 <sup>b</sup>	7.98
Cobra-Tallo	-	163.65	164.70	167.47	148.97	3.93
Mulato II-Hoja	136.22	126.77	132.53	168.37	103.75	12.28
Mulato II-Tallo	-	134.18	138.25	96.12	136.50	8.56
S (h <sup>-1</sup> )						
Cayman-Hoja	0.013 <sup>b</sup>	0.023 <sup>ab</sup>	0.029 <sup>ab</sup>	0.023 <sup>ab</sup>	0.046 <sup>a</sup>	0.0032
Cayman-Tallo	-	0.027	0.025	0.022	0.018	0.0017
Cobra-Hoja	0.012 <sup>b</sup>	0.023 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>	0.020 <sup>a</sup>	0.0008
Cobra-Tallo	-	0.018	0.019	0.017	0.014	0.0012
Mulato II-Hoja	0.0376	0.0171	0.0227	0.0184	0.0198	0.0025
Mulato II-Tallo	-	0.0242 <sup>ab</sup>	0.0247 <sup>ab</sup>	0.0559 <sup>a</sup>	0.0152 <sup>b</sup>	0.0100
λ (h)						
Cayman-Hoja	12.88	11.92	9.32	6.42	13.92	1.62
Cayman-Tallo	-	8.12	16.00	12.52	19.45	1.99
Cobra-Hoja	18.15 <sup>ab</sup>	0.97 <sup>c</sup>	7.30 <sup>bc</sup>	7.15 <sup>bc</sup>	20.37 <sup>a</sup>	1.82
Cobra-Tallo	-	3.80 <sup>b</sup>	4.75 <sup>b</sup>	11.92 <sup>a</sup>	6.62 <sup>b</sup>	0.84
Mulato II-Hoja	7.20 <sup>b</sup>	14.12 <sup>ab</sup>	21.77 <sup>a</sup>	10.55 <sup>ab</sup>	8.95 <sup>b</sup>	1.60
Mulato II-Tallo	-	19.07 <sup>a</sup>	15.33 <sup>ab</sup>	7.62 <sup>b</sup>	7.77 <sup>b</sup>	1.50

<sup>a,b,c</sup> Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes (p<0.05); EEM, error estándar de la media.

intensidad de corte y edad de rebrote influyen en la tasa de fermentación. Sánchez-Santillán *et al.* (2021) reportaron valores superiores de S en pasto aruana con 20, 35, 50 y 65 d de rebrote fertilizado con composta+lixiviado; ya que publicaron valores de 0.10, 0.10, 0.10 y 0.04, respectivamente.

Los mayores  $\lambda$  fue a los 21, 35, 49 y 63 d para Mulato II-tallo, Mulato II-hoja, Cobra-tallo y Cobra-hoja, respectivamente ( $p<0.05$ ; Tabla 6). La intensidad de corte 15 cm disminuye el tiempo de adherencia de los microorganismos ruminales al sustrato ( $\lambda$ ) en Cayman-hoja, Mulato II-tallo y Mulato II-hoja ( $p<0.05$ ; Tabla 7). La intensidad de corte no influyo en los valores de  $\lambda$  en los diferentes días de rebrote evaluados ( $p>0.05$ ; Tabla 8). Esta es una característica de la producción de gas *in vitro* (Dhanoa *et al.*, 2000) donde el tiempo de hidratación del sustrato es fundamental para que las exoenzimas bacterianas tengan acceso físico al sustrato (Allen y Mertens, 1987); así como, la alteración física o química para la adhesión y colonización bacteriana (Dhanoa *et al.*, 2000; Rosero y Posada, 2007). Valores inferiores de  $\lambda$  en cualquiera de las interacciones del presente estudio se reportaron en pasto aruana con 20, 35, 50 y 65 d de rebrote, fertilizados con composta; dado que reportaron valores de 3.10, 2.36, 4.44 y 3.82 h, respectivamente (Sánchez-Santillán *et al.*, 2021).

**Tabla 7. Efecto de la intensidad de corte en la cinética de producción de gas *in vitro* de las hojas y tallos de tres híbridos del género *Urochloa*.**

Híbrido-morfológico	Intensidad corte (cm)		EEM
	10	15	
V (mL g <sup>-1</sup> MS)			
Cayman-Hoja	151.20 <sup>a</sup>	110.34 <sup>b</sup>	8.76
Cayman-Tallo	117.67	109.68	5.38
Cobra-Hoja	178.75 <sup>a</sup>	123.79 <sup>b</sup>	7.98
Cobra-Tallo	162.16	160.23	3.93
Mulato II-Hoja	159.91 <sup>a</sup>	107.14 <sup>b</sup>	12.28
Mulato II-Tallo	132.73	119.79	8.56
S (h <sup>-1</sup> )			
Cayman-Hoja	0.0348 <sup>a</sup>	0.0187 <sup>b</sup>	0.0032
Cayman-Tallo	0.0267 <sup>a</sup>	0.0194 <sup>b</sup>	0.0017
Cobra-Hoja	0.2003 <sup>a</sup>	0.0169 <sup>b</sup>	0.0008
Cobra-Tallo	0.0210 <sup>a</sup>	0.0127 <sup>b</sup>	0.0012
Mulato II-Hoja	0.0270	0.0192	0.0025
Mulato II-Tallo	0.0365	0.0235	0.0100
λ (h)			
Cayman-Hoja	17.50 <sup>a</sup>	4.28 <sup>b</sup>	1.62
Cayman-Tallo	16.33	11.71	1.99
Cobra-Hoja	12.29	9.28	1.82
Cobra-Tallo	6.88	6.67	0.84
Mulato II-Hoja	16.04 <sup>a</sup>	8.99 <sup>b</sup>	1.60
Mulato II-Tallo	15.63 <sup>a</sup>	9.27 <sup>b</sup>	1.50

<sup>a,b</sup> Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ( $p<0.05$ ); EEM, error estándar de la media.

**Tabla 8. Efecto de la edad en la cinética de producción de gas *in vitro* de tres híbridos del género *Urochloa* a diferente intensidad de corte.**

Diferente intensidad de corte						
Intensidad Corte (cm)	Edad (días)					EEM
	7	21	35	49	63	
V (mL g <sup>-1</sup> MS)						
10	208.38 <sup>a</sup>	183.52 <sup>ab</sup>	155.07 <sup>bc</sup>	132.98 <sup>c</sup>	93.56 <sup>d</sup>	5.71
15	127.44 <sup>ab</sup>	97.37 <sup>b</sup>	131.27 <sup>ab</sup>	135.09 <sup>a</sup>	130.69 <sup>ab</sup>	4.30
S (h <sup>-1</sup> )						
10	0.0155 <sup>b</sup>	0.0224 <sup>ab</sup>	0.0245 <sup>ab</sup>	0.0338 <sup>a</sup>	0.0248 <sup>ab</sup>	0.002
15	0.0263	0.0215	0.0209	0.0189	0.0196	0.001
$\lambda$ (h)						
10	7.88	5.6	9.76	6.76	11.17	0.72
15	17.61	13.73	15.07	11.97	14.52	1.05

<sup>a,b,c</sup> Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ( $p<0.05$ ); EEM, error estándar de la media.

## CONCLUSIONES

Las hojas y tallos de los pastos Cobra y Cayman mostraron la mayor producción de gas *in vitro* parcial y acumulado, mientras que la hoja y tallo del pasto Cayman presentó el volumen máximo de producción de gas, tasa de producción de gas y tiempo lag. La variable intensidad de corte no modificó los valores medios de las variables evaluadas en el presente trabajo de investigación.

**Funding.** This work was funded by Cuerpo Académico UAGro-CA-183 “Producción sustentable de rumiantes en el trópico”, Universidad Autónoma de Guerrero, México.

**Conflict of interest.** Nothing to declare

**Compliance with ethical standards.** The work was not conducted with animals. Moreover, the rumen liquor donor was handled and kept according to the rules of the Universidad Autónoma de Guerrero rules for bioethics and welfare based on the Mexican official regulation (NOM-062-ZOO-1999).

**Disponibilidad de datos.** Data is available upon reasonable request with the corresponding autor Adán García Balbuena, email: [adanchy15@gmail.com](mailto:adanchy15@gmail.com)

**Author contribution statement (CRediT).** **P. Sánchez-Santillán** – Writing – original draft, writing –review & editing, formal analysis, **A. García-Balbuena** – Writing – original draft, writing –review & editing, formal analysis, Conceptualization, Methodology, **G. Nuñez-Martínez** – Writing – original draft, writing –review & editing, formal analysis, **N. Torres-Salado** – formal analysis, **J. Herrera-Pérez** – Writing – original draft, writing –review & editing, formal analysis.

## REFERENCIAS

- Allen, M.S. and Mertens, D.R., 1987. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition*, 118 (2), pp. 261-270.  
<https://doi.org/10.1093/jn/118.2.261>
- Amanzougarene, Z. and Fondevila, M., 2020. Fitting of the *in vitro* gas production technique to the study of high concentrate diets. *Animals*, 10 (10), pp:1-13.  
<https://doi.org/10.3390/10101935>
- Beltrán, L.S., Hernández, G.A., García, M.E., Pérez, P.J., Kohashi, S.J., Herrera, H.J.G., Quero, C.A.R. and González, M.S.S., 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia*, 39(2), pp. 137-147.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239202>
- Bruni, M.A. and Chilibroste, P., 2001. Simulación de la digestión ruminal por el método de la producción de gas. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 9(1), pp. 43-51.  
<http://www.spluy.com/documentos/articulo/s/alimentacion/14.pdf>
- Carmona, J., Bolívar, D. and Giraldo, L., 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), pp. 49-63.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Carrizales, G.A., 1996. Pastoreo intensivo tecnificado en zonas tropicales. In: Memorias del XX Congreso Nacional de Buiatría. agosto 1996. Acapulco, Guerrero, México. pp. 319-325.
- Cruz, H.A., Hernández, G.A., Enríquez, Q.J., Gómez, V.A., Ortega, J.E. and Maldonado, G.N., 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria híbrido* 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(4), pp. 429-443.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v2n4/v2n4a7.pdf>
- Dhanoa, M.S., Lopez, S., Dijkstra, J., Davies, D.R., Sanderson, R., Williams, B.A., Sileshi, Z. and France, J., 2000. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed in vitro: comparison of models. *British Journal of Nutrition*, 83, pp. 131-142.  
<https://doi.org/10.1017/s0007114500000179>
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, P., Herrera-Pérez, J., Rojas-García, A.R., Reyes-Vázquez, I. and Mendoza-Núñez, M.A., 2018. Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9 (1), pp. 105-120.  
<http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>



- Juárez, R.A., Cerrillo, S.M., Gutiérrez, O.E., Romero, T.E., Colín, N.J. and Bernal, B.H., 2009. Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas *in vitro*. *Técnica Pecuaria en México*, 47(1), pp 55-67. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61312109004.pdf>
- NOM-062-ZOO-1999. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. SENASICA, México. 22 de agosto de 2001. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment\\_data/file/203498/NOM-062-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf)
- Ortega, A.C., Lemus, F.C., Bugarín, P.J., Alejo, S.G., Ramos, Q.A., Grageola, N.O. and Bonilla, C.J., 2015. Características agronómicas, composición bromatológica, digestibilidad y consumo animal en cuatro especies de pastos de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3), pp. 291-301. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93944043005>
- Ortiz, T.M., López, M.J., Cerrillo, S.M., Juárez, S.A., Favela, T.E. and Soto, C.N., 2007. Effect of solid substrate fermentation on the nutritional quality of agroindustrial residues. *Interciencia*, 32(5), pp. 339-343. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932509>
- Pinos, R.J.M., González, S., Mendoza, G., García, J.C., Miranda, L., De la Cruz, G.A. and De Lerma, V., 2005. Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación *in vitro* de ingredientes alimenticios y en la producción de vacas Holstein. *Interciencia*, 30(12), pp. 752-757. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005001200006&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001200006&lng=es&nrm=iso)
- Pinto, R.R., Gómez, H., Martínez, B., Hernández, A., Medina, F.J., Gutiérrez, R., Escobar, E. and Vázquez, J., 2005. Árboles y arbustos forrajeros del sur de México. *Pastos y Forrajes*, 28(2), pp. 87-97. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121680001.pdf>
- Rivera, J.E., Molina, I.C., Donney's, G., Villegas, G., Charà, J. and Barahona, R., 2015. Dinámicas de fermentación y producción *in vitro* de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *L. leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. *Livestock Research for Rural Development*, 27(4), pp. 1-15. <http://www.lrrd.org/lrrd27/4/rive27076.html>
- Rodríguez, R., Mota, M., Castillo, C. and Fondevilla, M., 2010. *In vitro* rumen fermentation of the tropical grass *Pennisetum purpureum* and mixtures with browse legumes: effects of tannin contents. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(6), pp. 696-705. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01001.x>
- Rojas-García, A.R., Torres-Salado, N., Maldonado-Peralta, M. de los Á., Sánchez-Santillán, P., García-Balbuena, A., Mendoza-Pedroza, S.I., Álvarez-Vázquez, P., Herrera-Pérez, J. and Hernández-Garay, A., 2018. Curva de crecimiento y calidad del pasto cobra (*Brachiaria* HIBRIDO BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*, 11, pp. 34-38. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/368>
- Rosero, N.R. and Posada, O.S., 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 20, pp. 174-182. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n2/v20n2a09.pdf>
- Sánchez-Santillán P., 2010. Extractos fibrolíticos fúngicos como modificadores de la fermentación ruminal *in vitro*. Tesis Maestría. Colegio de postgraduados. Texcoco, Edo. México. 100 p. <https://library.co/document/ozln3n2q-extractos-fibroliticos-fungicos-modificadores-fermentacion-ruminal-in-vitro.html>
- Sánchez-Santillán, P., Wilson-Garcia, C.Y., Lopez-Zeron, N.E., Saaverdra-Jiménez, L.A., Maldonado-Peralta, M. de los A. and Melo-Trani, M.Y., 2021. Rendimiento, calidad y biogas *in vitro* en pasto *Megathyrus maximus* cv. Aruana con diferente fertilización. *Eosistemas y Recursos Agropecuarios*, Núm. Esp. (II): e2957. <https://doi.org/10.19136/era.a8nll.2957>

- SAS (Statistical Analysis System)., 2011. SAS Proceeding Guide, Versión 9.0 SAS Insitute. Cary NC. USA.
- Scholfiel, P. and Pell, A.N., 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent soluble carbohydrate fraction of legumes y grasses. *Journal of Animal Science*, 73 (11), pp. 3455-3463. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>
- Texta, N.J., Sánchez-Santillán, P., Hernández, S.D., Torres-Salado, N., Crosby, G.M., Rojas-García, A.R., Herrera, P.J. and Maldonado, P.M., 2019. Use of disaccharides and activated carbon to preserve cellulolytic ruminal bacterial consortiums lyophilized. *MVZ Cordoba*, 24(3), pp. 7305-7313. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1412>
- Van-Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, pp. 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Yan, T. and Agnew, R.E., 2004. Prediction of nutritive value in grass silages: I. Nutrient digestibility and energy concentration using nutrient composition and fermentation characteristics. *Journal of Animal Science*, 82, pp. 367-1379. <https://doi.org/10.2527/2004.8251367x>