

Changes in the *in vitro* ruminal fermentation dynamics of diets for cattle, based on corn grains and different levels of sweet potato (*Ipomoea batatas*, L.) integral silage

Cambios en la dinámica de fermentación ruminal *in vitro* en dietas para bovinos, basadas en grano de maíz y diferentes niveles de ensilado integral de camote (*Ipomoea batatas*, L.)

C. Solís¹, R. Rodríguez², Y. Marrero², O. Moreira², L. Sarduy² and M.H. Ruiloba³

C. Solís: <https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Convenio SENACYT-IFARHU.

²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

³Grupo de Ciencia y tecnología para el Desarrollo (GRUCITED)

Email: carlossolisgonzalez21@gmail.com

In vitro ruminal fermentation dynamics of isoenergetic (10.9 MJ ME kg⁻¹) and isoproteic (12.1% CP) diets for cattle were determined, with gradual replacement levels of 0.0 (T₀, control), 32.4 (T₃₂), 77.6 (T₇₈) and 100.0 % (T₁₀₀) of ground corn grain, on a dry basis, mainly by integral sweet potato silage. Accumulated gas production during the 96 h of *in vitro* fermentation was analyzed with a mixed generalized linear model. The increases in gas production during the initial stage were 73.0, 80.0, 98.0 and 103.8, in the intermediate stage were 82.0, 75.5, 73.2 and 70.5, and in the final were 50.0, 51.8, 45.2 and 44.8 mL g⁻¹ of incubated organic matter (incOM) for T₀, T₃₂, T₇₈ and T₁₀₀, respectively. In the initial stage, the highest increases of T₇₈ and T₁₀₀ were attributed to the greater availability of soluble carbohydrates and sugars. In the intermediate period, the increase in T₀ was explained by the degradation of protein matrix that surrounds corn starch. In the final stage, the lower increases were related to the limited availability of fermentable substrates and microbial recycling. On average, T₇₈ and T₁₀₀ showed greater fermentative potential (259.2 mL.g⁻¹ incOM), microbial efficiency rate (0.13), maximum speed (12.4 mL.g⁻¹ incOM h⁻¹) and less time to reach maximum speed (9.90 h). It is concluded that, in *in vitro* conditions, diets with sweet potato integral silage provided greater nutrient availability for ruminal microorganisms, which favors energy supply for the different metabolic processes in the rumen.

Key words: *fermentation, diets, starch, maximum speed, microbial efficiency*

Concentrates for cattle and other commercial species of zootechnical interest include corn and other cereals as energy sources, which availability and prices compromise their use in many countries, since they compete with human food and, generally, their import is required (Knowles 2012). Starch is the main component of these energy sources in conventional ruminant systems, with levels between 55 and 75 % (Egaña 2000 and Huntington *et al.* 2006).

The use of animals with high productive potential raises feeding and supplementation levels, which requires greater use of energy sources (Meléndez 2003). This situation explains the interest for searching non-traditional sources, with high production potential and lower cost. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)

Se determinó la dinámica de fermentación ruminal *in vitro* de dietas isoenergéticas (10.9 MJ EM kg⁻¹) e isoproteicas (12.1 % PB) para bovinos, con niveles graduales de reemplazo de 0.0 (T₀, control), 32.4 (T₃₂), 77.6 (T₇₈) y 100.0 % (T₁₀₀) del grano de maíz molido, en base seca, principalmente, por ensilado integral de camote o boniato. La producción acumulada de gas durante las 96 h de fermentación *in vitro* se analizó con un modelo lineal generalizado mixto. Los incrementos en la producción de gas durante la fase inicial fueron 73.0, 80.0, 98.0 y 103.8; en la fase intermedia 82.0, 75.5, 73.2 y 70.5, y en la final 50.0, 51.8, 45.2 y 44.8 mL g⁻¹ de materia orgánica incubada (MOinc) para T₀, T₃₂, T₇₈ y T₁₀₀, respectivamente. En la etapa inicial, los mayores incrementos en T₇₈ y T₁₀₀ se atribuyeron a la mayor disponibilidad de azúcares y carbohidratos solubles. En la intermedia, el incremento de T₀ se explicó por la degradación de la matriz proteica que envuelve el almidón del maíz. En la final, los menores incrementos se relacionaron con la limitada disponibilidad de sustratos fermentables y con el reciclaje microbiano. Como promedio, T₇₈ y T₁₀₀ mostraron mayor potencial fermentativo (259.2 mL.g⁻¹ MOinc), tasa de eficiencia microbiana (0.13), velocidad máxima (12.4 mL.g⁻¹ MOinc h⁻¹) y menor tiempo para alcanzar la velocidad máxima (9.90 h). Se concluye que en condiciones *in vitro*, las dietas con ensilado integral de camote aportaron mayor disponibilidad de nutrientes para los microorganismos ruminales, lo que favorece el aporte de energía para los diferentes procesos metabólicos en el rumen.

Palabras clave: *fermentación, dietas, almidón, velocidad máxima, eficiencia microbiana.*

Los concentrados para bovinos y otras especies comerciales de interés zootécnico incluyen maíz y otros cereales como fuentes energéticas, cuyas disponibilidades y precios comprometen su uso en muchos países, ya que compiten con la alimentación humana y, generalmente, se requiere de su importación (Knowles 2012). El almidón es el componente principal de estas fuentes energéticas en los sistemas convencionales para rumiantes, con niveles entre 55 y 75 % (Egaña 2000 y Huntington *et al.* 2006).

La utilización de animales de alto potencial productivo eleva los niveles de alimentación y suplementación, lo que requiere mayor uso de fuentes energéticas (Meléndez 2003). Esta situación explica el interés en la búsqueda de fuentes no tradicionales, de alto potencial de producción

is one of the most cultivated horticultural species, with world production of 176 million t year⁻¹ (FAO 2016).

Sweet potato, as an alternative resource for animal feeding, is emerging as a multipurpose crop, since, in addition to being used for human consumption, it is useful for animal feed (foliage and roots) (Ojeda *et al.* 2010). It is a versatile crop, since its foliage can be used fresh, silage and hay, while the tuber can be used fresh, silage and dehydrated, in the form of meal (Tique *et al.* 2009).

Nutritional studies report that ruminal degradability of sweet potato integral silage (tuber and foliage) is from 29.7 to 66.8 %, on a dry basis, when incubated between 6 and 72 h, very similar to that of corn silage (Rendón *et al.* 2013). In addition, sweet potato integral silage has good organoleptic and fermentative characteristics (Sánchez 1996, Quezada 2001 and Solís and Ruiloba 2017), but more information about its use in ruminants is required.

The objective of this study was to determine the dynamics of ruminal *in vitro* fermentation with isoenergetic and isoproteic diets, mainly composed by corn grains and different inclusion levels of sweet potato integral silage.

Materials and Methods

Silage production and chemical composition of diets.

Four isoproteic and isoenergetic diets or treatments were evaluated (table 1), with gradual replacement levels of 0.0 (T₀, control), 32.4 (T₃₂), 77.6 (T₇₈) and 100.0 % (T₁₀₀) of ground corn grains, under dry basis, mainly by sweet potato integral silage. For silage preparation, CIP-14 variety of sweet potato was used. It was harvested at 120 d after sowing and it was previously dried to produce an integral mixture with 66.7 % of the tuber and 33.3 % of dry foliage.

Out of this integral mixture, five plastic microsilos were prepared, approximately 1.0 kg of capacity each, tightly sealed for 45 d. Chemical characterization of each microsilo, as of the other diet ingredients, included dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP) (AOAC 2016) and true protein (TP) (Bernstein 1983), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) (Goering and van Soest 1970) and ammonia nitrogen (Chaney and Marbach 1962), expressed as a percent of total nitrogen (N-NH₃, % tN).

After the analysis of each microsilo, a compound sample was prepared, which was chemically characterized for the evaluation analyzes of diets. Diets were formulated with ground corn grain (*Zea mays*), swazi (*Digitaria swazilandensis*) chopped hay, soy bean (*Glycine max*) meal, African oil palm (*Elaeis guineensis*) meal, urea and mineral salt (Table 1). For that, a ME content of 13.4, 7.5 (NRC 1996), 11.72 (NRC 1984), 12.4 (Vargas and Zumbado 2003), 0.0

y menor costo. Entre ellas se encuentra el camote o boniato (*Ipomoea batatas* L.), una de las especies hortícolas más cultivadas, con producción mundial de 176 millones de t año⁻¹ (FAO 2016).

El camote, como recurso alternativo en la alimentación animal, se perfila como un cultivo multipropósito, ya que además de ser utilizado para el consumo humano, es útil en la alimentación animal (follajes y raíces) (Ojeda *et al.*, 2010). Es un cultivo versátil, pues su follaje se puede utilizar fresco, ensilado y henificado, mientras que el tubérculo se puede usar fresco, ensilado y deshidratado, en forma de harina (Tique *et al.* 2009).

Estudios nutricionales refieren que la degradabilidad ruminal del ensilado integral de camote (Tubérculo y follaje) es de 29.7 a 66.8 %, en base seca, al incubarlo entre 6 y 72 h, muy similar a la del ensilaje de maíz (Rendón *et al.*, 2013). Además, el ensilado integral de camote presenta buenas características organolépticas y fermentativas (Sánchez 1996, Quezada 2001, Solís y Ruiloba 2017), pero se requiere más información sobre su utilización en rumiantes.

El objetivo de este trabajo fue determinar la dinámica de fermentación ruminal *in vitro* con dietas isoenergéticas e isoproteicas, constituidas principalmente con maíz en grano y diferentes niveles de inclusión de ensilado integral de camote.

Materiales y Métodos

Obtención del ensilado y composición química de las dietas. Se evaluaron cuatro tratamientos o dietas isoproteicas e isoenergéticas (tabla 1), con niveles graduales de reemplazo de 0.0 (T₀, control), 32.4 (T₃₂), 77.6 (T₇₈) y 100.0 % (T₁₀₀) del grano de maíz molido, en base seca, principalmente, por ensilado integral de camote. Para la elaboración del ensilado se utilizó la variedad de camote CIP-14. Esta se cosechó a los 120 d después de la siembra y se presecó para elaborar una mezcla integral con 66.7 % de tubérculo y 33.3 % de follaje en base seca.

De esta mezcla integral, se confeccionaron cinco microsilos plásticos, de aproximadamente 1.0 kg de capacidad, sellados herméticamente durante 45 d. La caracterización química de cada microsilo, como de los otros ingredientes de las dietas, comprendió la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) (AOAC 2016) y proteína verdadera (PV) (Bernstein 1983), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Goering y van Soest 1970) y nitrógeno amoniacal (Chaney y Marbach 1962), expresado como por ciento del nitrógeno total (N-NH₃, %NT).

Luego del análisis individual de cada microsilo, se preparó una muestra compuesta, caracterizada químicamente para los análisis de evaluación de las dietas. Las dietas se formularon con grano de maíz molido (*Zea mayz*), heno picado de Swazi (*Digitaria swazilandensis*), harina de soya (*Glycine max*), harina de coquito de palma africana (*Elaeis guineensis*), urea y sal mineral (Tabla 1), para lo que se consideró un contenido de EM de 13.4, 7.5

and 0.0 MJ/kg DM was considered for ground corn grain, swazi (*Digitaria swazilandensis*) chopped hay, soy bean (*Glycine max*) meal, African oil palm (*Elaeis guineensis*) meal, urea and mineral salt, respectively. It was assumed that silage energy content was 10.5 DM, MJ kg⁻¹, similar to that reported by Solís (2011) for this type of material.

(NRC 1996), 11.72 (NRC 1984), 12.4 (Vargas y Zumbado 2003), 0.0 y 0.0 MJ/kg MS, respectivamente, para el grano de maíz molido, heno picado de swazi (*Digitaria swazilandensis*), harina de soya (*Glycine max*), harina de coquito de palma africana (*Elaeis guineensis*), urea y sal mineral, respectivamente. Se asumió que el contenido energético del ensilado fue 10.5 EM, MJ kg⁻¹, similar al

Table 1. Chemical composition of evaluated experimental diets

Diet components	Substitution level of corn grains in the diet, % dry basis			
	T ₀	T ₃₂	T ₇₈	T ₁₀₀
Ground corn	55.12	37.27	12.36	0.00
Swazi hay	33.52	26.82	9.53	3.40
Soy bean cake	10.05	7.87	10.05	9.97
Sweet potato integral silage	0.00	19.49	59.78	73.21
Oil palm cake	0.00	7.43	7.02	12.26
Mineral salt	0.50	0.50	0.50	0.50
Urea	0.81	0.65	0.77	0.74
ToTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical composition of the diet				
CP (%)	12.08	11.92	12.30	12.20
ME, MJ kg ⁻¹	11.00	10.90	10.70	10.70
NDF (%)	39.54	38.60	37.34	33.34
Starch (%)*	37.18	34.34	36.53	34.55

Swazi: *Digitaria swazilandensis*, Oil palm cake: *Elaeis guineensis*, *Estimated starch

To study fermentation dynamics, *in vitro* technique of producing gas in glass bottles, described by theodorou *et al.* (1994), was used. An amount of 1.0 g of dry matter (DM) of each treatment was incubated in 100 mL bottles in a culture medium (Menke and Steingass 1988) and inoculum of ruminal microorganisms, in a proportion of 20 % of the total incubation volume (80 mL).

Ruminal content of two cannulated cows in rumen, fed ad libitum with grass forage and 2.0 kg of concentrated feed with free access to water and mineral salts, was used as inoculum. Ruminal liquor was collected before offering food in the morning.

The methodology described by Rodríguez *et al.* (2019) was used to determine gas production. It was measured at 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36, 48, 72 and 96 h by means of an HD8804 manometer, coupled to a TP804 pressure gauge (DELTA OHM, Italy). After each measurement, the gas was released until the external and internal pressures of the bottles were equal (pressure measured in Pascal (Pa)). Gas volume was estimated from pressure data, using the pre-established linear regression equation (Rodríguez *et al.* 2013):

Gas (mL) = (pressure [103 Pa]+4.95)/2.5858), R²= 0.981; (n=132)

Gas volume (mL) was expressed per gram of incubated organic matter (incOM). to estimate gas producton kinetics, single-phase model of Gompertz

informado por Solís (2011) para este tipo de material.

Para estudiar la dinámica de la fermentación, se empleó la técnica *in vitro* de producción de gas en botellas de vidrio, descrita por theodorou *et al.*, (1994). Se incubó 1.0 g de materia seca (MS) de cada tratamiento en botellas de 100 mL en medio de cultivo (Menke y Steingass 1988) e inóculo de microorganismos ruminales, en proporción de 20 % del volumen total de incubación (80 mL).

Se utilizó como inóculo el contenido ruminal de dos vacas canuladas en rumen, alimentadas ad libitum con forraje de gramíneas y 2.0 kg de alimento concentrado con libre acceso al agua y a las sales minerales. El líquido ruminal se recolectó antes de ofrecer el alimento en la mañana.

Se utilizó la metodología descrita por Rodríguez *et al.*, (2019) para determinar la producción de gas. Para ello se usó un manómetro HD8804, acoplado a un calibrador de presión TP804 (DELTA OHM, Italia). La producción de gas se midió a las 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36, 48, 72 y 96 h por medio de un manómetro HD8804, acoplado a un calibrador de presión TP804 (DELTA OHM, Italia). Después de cada medición, se liberó el gas hasta igualar las presiones externa e interna de las botellas (presión medida en pascales (Pa)). Se estimó el volumen de gas a partir de los datos de presión mediante la ecuación de regresión lineal preestablecida (Rodríguez *et al.*, 2013):

Gas (mL) = (presión [103 Pa]+4.95)/2.5858), R²= 0.981; (n=132)

El volumen de gas (mL) se expresó por gramo de

was used:

$Y = A \cdot \text{Exp}(-B \cdot \text{Exp}(-C \cdot t))$ where:

Y = gas production at time t (mL g⁻¹ incOM)

A = potential of gas production (asymptote, when t = ∞; mL g⁻¹ incOM)

B = gas production relative rate (mL h⁻¹)

C = constant factor of microbial efficiency (h⁻¹)

t = incubation time (h)

In addition, the incubation time at which maximum speed (TVmax) of gas production was reached, based on the second derivative of Gompertz model, evaluated at zero (inflection point of this type of sigmoidal model). Maximum gas production rate (Vmax; mL g⁻¹ incOM h⁻¹) was also estimated, by replacing TVmax in the first derivative of the model.

Statistical analysis. to determine accumulated gas production, being a measure repeated in the same experimental unit, the methodology proposed by Gómez *et al.* (2019) was used. First, it was checked if data met normality assumption for Shapiro-Wilk (Oliveira-Borgatti *et al.* 2015) test. By not fulfilling this requirement, the generalized linear mixed model was used using Glimmix procedure (SAS 2010). Repetitions (bottles) were considered as random effect. Different distributions were tested on data: Poisson, Gamma, Normal Log and Igauss. the best fit was achieved with Gamma distribution and its link function was Log. For comparison of means, tukey-Kramer fixed range test (Kramer 1956) was used for P < 0.05. In the model, treatments (T₀, T₃₂, T₇₈ and T₁₀₀) were considered as effects with four bottles per treatment and four replicates, as well as incubation times and interaction (Treatments x times). Four control bottles (bottles without substrate, to know the contribution of ruminal inoculum gas) were included. to simplify the analysis, incubation time (96 h) was divided into three phases. Initial stage included times 2, 4, 6, 8 and 10, intermediate stage was composed 12, 16, 20 and 24, and the final stage had 36, 48, 72 and 96 h.

Results and Discussion

Chemical composition of silage. Sweet potato integral silage showed good organoleptic characteristics: pH (3.5), DM (30.1 %), CP (6.0), NDF (20.0,) ADF (17.0) and ammonia nitrogen/% total nitrogen (N-NH₃/ % tN) (2.2%). the organoleptic characteristics and acidity were similar to those reported by Solís (2011), who ensiled integral sweet potato, in equal proportion tuber/foilage, using silo press technique.

In vitro ruminal fermentation of diets. *In vitro* gas production (mL g⁻¹ incOM) showed interaction between treatments and incubation times (P < 0.0001) in the three stages in which the fermentation was divided (table 2). Accumulated gas production

materia orgánica incubada (MOinc). Para estimar la cinética de producción de gas, se utilizó el modelo monofásico de Gompertz:

$Y = A \cdot \text{Exp}(-B \cdot \text{Exp}(-C \cdot t))$ donde:

Y = producción de gas al tiempo t (mL g⁻¹ MOinc)

A = potencial de producción de gas (asíntota, cuando t = ∞; mL g⁻¹ MOinc)

B = tasa relativa de producción de gas (mL h⁻¹)

C = factor constante de la eficiencia microbiana (h⁻¹)

t = tiempo de incubación (h)

Se estimó además, el tiempo de incubación al que se alcanzó la velocidad máxima (TVmáx) de producción de gas, a partir de la segunda derivada del modelo de Gompertz, evaluada en cero (punto de inflexión de este tipo de modelo sigmoidal). también se estimó la velocidad máxima de producción de gas (Vmáx; mL g⁻¹ MOinc h⁻¹), al sustituir TVmáx en la primera derivada del modelo.

Análisis estadístico. Para determinar la producción acumulada de gas, al ser una medida repetida en la misma unidad experimental, se empleó la metodología propuesta por Gómez *et al.*, (2019). Primero se comprobó si los datos cumplían el supuesto de normalidad por la dócima Shapiro-Wilk (Oliveira-Borgatti *et al.*, 2015). Al no cumplirlo, se utilizó el modelo lineal generalizado mixto mediante el procedimiento Glimmix (SAS 2010). Se consideró como efecto aleatorio las repeticiones (botellas). Se probaron diferentes distribuciones a los datos: Poisson, Gamma, Log normal e Igauss. Se logró el mejor ajuste con la distribución Gamma y su función de enlace fue Log. Para la comparación de medias se utilizó la dócima de rango fijo de tukey-Kramer (Kramer 1956) para P < 0.05. En el modelo se consideraron como efectos los tratamientos (T₀, T₃₂, T₇₈ y T₁₀₀) con cuatro botellas por tratamiento y cuatro réplicas, así como los horarios de incubación y la interacción (Tratamientos x horarios). Se incluyeron cuatro botellas blanco (botellas sin sustrato para conocer el aporte de gas del inóculo ruminal). Para simplificar el análisis, el tiempo de incubación de 96 h fue dividido en tres fases. La fase inicial incluyó los horarios 2, 4, 6, 8 y 10; la fase intermedia 12, 16, 20 y 24, y la final 36, 48, 72 y 96 h.

Resultados y Discusión

Composición química del ensilado. El ensilado integral de camote presentó buenas características organolépticas: pH (3.5), MS (30.1 %), PB (6.0), FDN (20.0), FDA (17.0) y nitrógeno amoniacal/% nitrógeno total (N-NH₃/ % NT) (2.2 %). Las características organolépticas y la acidez fueron similares a las informadas por Solís (2011), quien ensiló camote integral, en igual proporción tubérculo/follaje, mediante la técnica de silo prensa.

Fermentación ruminal in vitro de las dietas. En las tres fases en que se dividió la fermentación, la producción de gas *in vitro* (mL g⁻¹ MOinc) presentó interacción entre tratamientos y tiempos de incubación (P < 0.0001) (tabla 2). La producción acumulada de gas se incrementó en la medida que aumentó el tiempo de incubación, pero la magnitud del aumento dependió del tratamiento. Las

increased as incubation time increased, but this increase depended on the treatment. Diets based on sweet potato integral silage showed higher accumulated gas volumes compared to the treatment without silage (T_0), mainly the levels T_{78} and T_{100} ; there were no differences among these last during the incubation period ($P < 0.05$).

diets basadas en ensilado integral de camote mostraron mayores volúmenes acumulados de gas con respecto al tratamiento sin ensilado (T_0), principalmente los niveles altos T_{78} y T_{100} . Entre estos últimos no hubo diferencias durante el período de incubación ($P < 0.05$).

Desde el inicio del proceso de fermentación (fase inicial), los tratamientos con ensilado integral de

Tabla 2. Accumulated *in vitro* gas production with the substitution of corn for sweet potato integral silage ($\text{mL g}^{-1} \text{incOM}$)

Initial stage						
Treatments	Incubation times (h)					SE+ and probability
	2	4	6	8	10	
T_0	0.72 ^j (2.05)	2.31 ^g (10.04)	3.25 ^e (25.91)	3.90 ^c (49.37)	4.32 ^b (75.03)	0.04 P<0.0001
T_{32}	0.80 ⁱ (2.21)	2.44 ^g (11.43)	3.39 ^e (29.61)	4.01 ^c (55.20)	4.41 ^b (82.09)	
T_{78}	1.30 ⁱ (3.67)	2.74 ^f (15.48)	3.63 ^d (37.57)	4.24 ^b (69.11)	4.62 ^a (101.98)	
T_{100}	1.51 ^h (4.51)	2.83 ^f (16.95)	3.69 ^d (39.89)	4.29 ^b (73.17)	4.68 ^a (108.28)	
Intermediate stage						
Treatments	Incubation times (h)				SE+ and probability	
	12	16	20	24		
T_0	4.61 ^f (100.07)	4.88 ^d (131.97)	5.07 ^c (159.50)	5.20 ^b (181.91)	0.02 P<0.0001	
T_{32}	4.67 ^e (106.86)	4.91 ^d (136.29)	5.08 ^c (161.36)	5.21 ^b (182.41)		
T_{78}	4.88 ^d (131.93)	5.09 ^c (162.29)	5.23 ^b (186.26)	5.32 ^a (205.11)		
T_{100}	4.92 ^d (137.24)	5.11 ^c (166.42)	5.24 ^b (189.04)	5.33 ^a (207.29)		
Final stage						
Treatments	Incubation times (h)				SE+ and probability	
	36	48	72	96		
T_0	5.35 ^f (210.74)	5.45 ^e (231.63)	5.52 ^d (248.51)	5.56 ^{bcd} (260.74)	0.01 P<0.0001	
T_{32}	5.36 ^f (213.24)	5.46 ^e (234.88)	5.53 ^{cd} (252.79)	5.58 ^{abc} (265.04)		
T_{78}	5.45 ^e (233.07)	5.53 ^{cd} (252.70)	5.59 ^{ab} (268.28)	5.63 ^a (278.93)		
T_{100}	5.45 ^e (232.52)	5.53 ^d (251.50)	5.59 ^{ab} (266.93)	5.63 ^a (277.30)		

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j transformed means with different letters differ at $p < 0.05$; (): Original means, mL; p: probability value; SE+: standard error of transformed means

From the beginning of fermentation process (initial stage), treatments with sweet potato integral silage showed greater accumulated gas production, performance that remained until the end of this stage. However, there were no differences ($P > 0.05$) between T_0 and t_{33} , as well as between treatments with high levels of silage (T_{78} and T_{100}). When comparing the accumulated gas production between hour 2 and 10, an increase of 73.0, 80.0, 98.0 and 103.8 $\text{mL g}^{-1} \text{incOM}$ was observed

camote mostraron mayor producción acumulada de gas, comportamiento que se mantuvo hasta el final de esta fase. Sin embargo, no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre T_0 y t_{33} , al igual que entre los tratamientos con altos niveles de ensilado (T_{78} y T_{100}). Al comparar la producción acumulada de gas entre la hora 2 y 10, se observó incremento de 73.0, 80.0, 98.0 y 103.8 $\text{mL g}^{-1} \text{MOinc}$ para T_0 , T_{32} , T_{78} y T_{100} , respectivamente.

En las dietas con ensilado, los azúcares y carbohidratos

for T_0 , T_{32} , T_{78} and T_{100} , respectively.

In diets with silage, sugars and carbohydrate complexes of sweet potato that did not ferment during silage process were responsible for this increased fermentative performance. Sweet potato tuber, main component of this silage, contains high sugar levels, between 8.26 and 31.65 % (Aliaga and Nieto 2009), and 71.4 % of starches (DeBlas *et al.* 2010). However, in the silage process, microorganisms use approximately 4.0 % of sugars (Fernández 1999), this is not the case with starches, which remain as such in the silage (Martínez-Fernández *et al.* 2014).

In studies including potatoes (*Solanum tuberosum*), Noguera *et al.* (2006) also observed that increasing the availability of non-structural carbohydrates with rapid degradation in the diet, increased the final volume of gas production.

During the initial stage of this study, treatments with high corn levels (T_0 and T_{32}) had the lowest gas productions, which could be related to their low sugar content (1.0 to 2.0), according to Martínez-Guardia *et al.* (2016). However, starches were high (72.0 %), as described by DeBlas *et al.* (2016). Being protected by a protein matrix, starch degradation is slower than sugars. Depetris (2013) reported that this protein matrix, that covers corn starch granules, limits starch digestion, prevents microbial colonization and retards the action of amylolytic enzymes.

In this research, estimated starch levels (Table 1) of diets were very similar, 36.2 % (± 1.27) on average. this supports the approach that lower gas production in treatments with high levels of corn, in the initial fermentation stage, is related to the lower degradability of this carbohydrate.

In the intermediate stage, accumulated gas production increased as silage level and incubation times increased, with higher levels of gas production in high silage treatments. However, increase in gas production between 12 and 24 h decreased as silage level increased in the diet, with values of 82.0, 75.5, 73.2 and 70.5 mL g⁻¹ incOM for T_0 , T_{32} , T_{78} and T_{100} respectively. In relation to the initial stage, gas production increased in the control diet with corn (T_0), but decreased in diets with silage. this decrease could be related to the appreciable reduction of sugars and fermentable starches. the highest gas productions in T_0 can be attributed to the penetration of amylases in the protein matrix that surrounds and protects corn grain starch, which favored its fermentation, as described by Mendoza and Ricalde (2016) in studies of cattle feeding with diets rich in grains.

The variables under study, in the final fermentation stage, had a similar effect on the accumulated gas production. Gas production, between 36 and 96 h, decreased significantly, with values of 50.0, 51.8, 45.2 and 44.8 mL g⁻¹ incOM for T_0 , T_{32} , T_{78} and T_{100} , respectively. this is attributed to the limited availability

complejos del camote que no se fermentaron durante el proceso de ensilaje fueron los responsables de este mayor comportamiento fermentativo. El tubérculo de camote, componente principal de este ensilado, contiene niveles altos de azúcares, entre 8.26 y 31.65 % (Aliaga y Nieto 2009) y 71.4 % de almidones (DeBlas *et al.*, 2010). Sin embargo, en el proceso de ensilado, los microorganismos utilizan, aproximadamente, 4.0 % de los azúcares (Fernández 1999). No sucede así con los almidones, que se mantienen como tal en el ensilado (Martínez-Fernández *et al.*, 2014).

En trabajos con inclusión de papa (*Solanum tuberosum*), Noguera *et al.* (2006) también observaron que al aumentar la disponibilidad de carbohidratos no estructurales de rápida degradación en la dieta, se incrementó el volumen final de producción de gas.

Durante la fase inicial de este estudio, los tratamientos con los niveles altos de maíz (T_0 y T_{32}) presentaron las menores producciones de gas, lo que pudo estar relacionado con su bajo contenido de azúcares (1.0 a 2.0), según refiere Martínez-Guardia *et al.* (2016). Sin embargo, el de almidones fue alto (72.0 %), como describe DeBlas *et al.*, (2016). Al estar protegidos por una matriz proteica, la degradación de los almidones con respecto a los azúcares es más lenta. Depetris (2013) informó que esta matriz proteica que envuelve los gránulos de almidón del maíz limita la digestión del almidón, previene su colonización microbiana y retarda la acción de las enzimas amilolíticas.

En esta investigación, los niveles estimados de almidón (Tabla 1) de las dietas fueron muy similares, 36.2 % (± 1.27) como promedio. Esto apoya el planteamiento de que la menor producción de gas en los tratamientos con niveles altos de maíz, en la fase fermentativa inicial, se relaciona con la menor degradabilidad de este carbohidrato.

En la fase intermedia, la producción acumulada de gas aumentó en la medida que se incrementó el nivel de ensilado y los tiempos de incubación, con mayores niveles de producción de gas en los tratamientos altos en ensilado. Sin embargo, el incremento en la producción de gas entre las 12 y 24 h disminuyó al aumentar el nivel de ensilado en la dieta, con valores de 82.0, 75.5, 73.2 y 70.5 mL g⁻¹ MOinc para T_0 , T_{32} , T_{78} y T_{100} , respectivamente. En relación con la fase inicial, la producción de gas aumentó en la dieta principal con maíz (T_0), pero disminuyó en las dietas con ensilado. Esta disminución se podría relacionar con la reducción apreciable de azúcares y almidones fermentables. Las mayores producciones de gas en T_0 se pueden atribuir a la penetración de las amilasas en la matriz proteica que envuelve y protege el almidón del grano de maíz, lo que facilitó su fermentación, como describen Mendoza y Ricalde (2016) en trabajos de alimentación de bovinos con dietas altas en granos.

Las variables en estudio, en la fase final de la fermentación, presentaron efecto similar en la producción acumulada de gas. El incremento en la producción de gas, entre las 36 y 96 h, disminuyó apreciablemente, con

of fermentable substrates, but also to microbial recycling, especially at the end of fermentation (García 2009). Regarding diets with silage, criteria of LI Jian-nan *et al.* (2014) should be considered, who stated that silage process decreased in situ ruminal degradability of DM and sweet potato and potato tuber starch. these authors found that, at 24 and 72 h of incubation, 45.5 and 15.0 % of sweet potato starch did not experience ruminal degradation.

Sweet potato integral silage treatments contained oil palm cake, cataloged by Rivadeneira (2018) as a medium quality food. In this study, results of *in vitro* degradation of this ingredient, fermented in parallel, indicated low contribution in gas production (3.75, 3.46, 3.20, 3.13, 2.60 and 2.20 mL h⁻¹ at 12, 24, 36, 48, 72 and 96 h, respectively). this indicates that it had no significant effects on the performance of treatments, regarding gas production. All diets contained urea for CP balance. However, authors such as Carnevali *et al.* (2002) and Velásquez *et al.* (2013) indicated that urea does not contribute directly to gas production, it only helps to achieve the nitrogen level required for adequate microbial activity.

Table 3 shows kinetic parameters of accumulated gas production, estimated with Gompertz model. treatments with sweet potato integral silage had a greater potential for accumulated gas production (parameter A), which is related to a greater nutrient availability, which favor microbial growth and, consequently, gas production. this performance is related to the content of available soluble carbohydrates, as well as with the quantity and quality of fiber from diets with silage. Relative rate or mean gas production rate (parameter B) showed very similar values among silage treatments, but with lower values than the treatment with the highest corn level (T₀). this can be explained by the highest fermentative activity in the intermediate and final stages of incubation, due to the best availability of fermentable substrates. Microbial synthesis efficiency (parameter C) slightly increased in diets with silage, which indicated higher microbial growth per unit of time, greater substrate degradability and gas production (Rodríguez *et al.* 2017).

The curvilinear performance of gas production speeds is presented in figure 1. Regardless of the treatment, in the first 18 h of incubation, the highest

valores de 50.0, 51.8, 45.2 y 44.8 mL g⁻¹ MOinc para T₀, T₃₂, T₇₈ y T₁₀₀, respectivamente. Esto se atribuye a la limitada disponibilidad de sustratos fermentables, pero también al reciclaje microbiano, especialmente al final de la fermentación (García 2009). Con respecto a las dietas con ensilado, se deben considerar los criterios de LI Jian-nan *et al.* (2014), quienes afirman que el proceso de ensilaje disminuyó la degradabilidad ruminal in situ de la MS y almidón de tubérculos de camote y papa. Estos autores encontraron que a las 24 y 72 h de incubación, 45.5 y 15.0 % del almidón de camote no experimentó degradación ruminal.

Los tratamientos con ensilado integral de camote contenían torta de coquito, catalogada por Rivadeneira (2018) como un alimento de mediana calidad. En este estudio, los resultados de la degradación *in vitro* de este ingrediente, fermentado paralelamente, indicaron baja contribución en producción de gas (3.75, 3.46, 3.20, 3.13, 2.60 y 2.20 mL h⁻¹ a las 12, 24, 36, 48, 72 y 96 h, respectivamente). Esto indica que no tuvo efectos importantes en el comportamiento de los tratamientos, en cuanto a producción de gas. todas las dietas contenían urea para el balance de la PB. Sin embargo, autores como Carnevali *et al.* (2002) y Velásquez *et al.* (2013) indicaron que la urea no aporta directamente a la producción de gas, solo contribuye a lograr el nivel de nitrógeno requerido para la adecuada actividad microbiana.

En la tabla 3 se muestran los parámetros cinéticos de la producción acumulada de gas, estimados a partir del modelo de Gompertz. Los tratamientos con ensilado integral de camote presentaron mayor potencial de producción acumulada de gas (parámetro A), lo que se relaciona con mayor disponibilidad de nutrientes, condiciones que favorecen el crecimiento microbiano y en consecuencia, la producción de gas. Este comportamiento tiene que ver con el contenido de carbohidratos solubles disponibles, así como con la cantidad y calidad de la fibra de las dietas con ensilado. La tasa relativa o tasa promedio de producción de gas (parámetro B) mostró valores muy similares entre los tratamientos con ensilado, pero con menores valores que el tratamiento con el nivel más alto de maíz (T₀). Esto se puede explicar por la mayor actividad fermentativa en la fase intermedia y final de la incubación, debido a la mayor disponibilidad de sustratos fermentables. La eficiencia de síntesis microbiana (parámetro C) aumentó ligeramente en las dietas con ensilado, lo que indicó mayor crecimiento microbiano por unidad de tiempo, mayor degradabilidad

Table 3. Kinetic parameters of *in vitro* gas accumulated production, according to Gompertz model

Treatment	Parameter A (±SE) ¹	Parameter B (±SE)	Parameter C (±SE)	SE(2)	R2	V _{máx}	TV _{máx}
T ₀	244.16 (±1.85)	3.83 (±0.14)	0.10 (±0.003)	12.98	0.98	8.98	13.43
T ₃₂	248.01 (±2.11)	3.57 (±0.14)	0.11 (±0.003)	14.67	0.97	10.04	11.57
T ₇₈	260.34 (±2.13)	3.63 (±0.15)	0.13 (±0.004)	15.78	0.97	12.45	9.92
T ₁₀₀	258.00 (±2.21)	3.62 (±0.16)	0.13 (±0.004)	16.61	0.97	12.34	9.90

¹Standard error of the parameter; (2) Standard error of the curve; Parameter A: mL g⁻¹ incOM; Parameter B: mL h⁻¹; Parameter C: h⁻¹; V_{max}: mL g⁻¹ incOMh⁻¹; TV_{max}: mL h⁻¹

gas production speeds were obtained, mainly in treatments with high silage levels. these performances depended on the availability of fermentable substrates, especially sugars, and easily fermented starches. Practically after 48 h of incubation, the fermentative activity was minimal, which can be related to substrate depletion, but also with microbial recycling (Cone *et al.* 1997), as a result of the accumulation of intermediate and final products of its metabolism. they act, physically or chemically in the medium, and affect microbial activity.

de sustratos y producción de gas (Rodríguez *et al.* 2017).

El comportamiento curvilíneo de las velocidades de producción de gas se presenta en la figura 1. Independientemente del tratamiento, en las primeras 18 h de incubación, se obtuvieron las mayores velocidades de producción de gas, principalmente en los tratamientos con niveles altos de ensilado. Estos comportamientos dependieron de la disponibilidad de sustratos fermentables, en especial azúcares, y también almidones de fácil fermentación. Prácticamente después de las 48 h de incubación, la actividad fermentativa fue

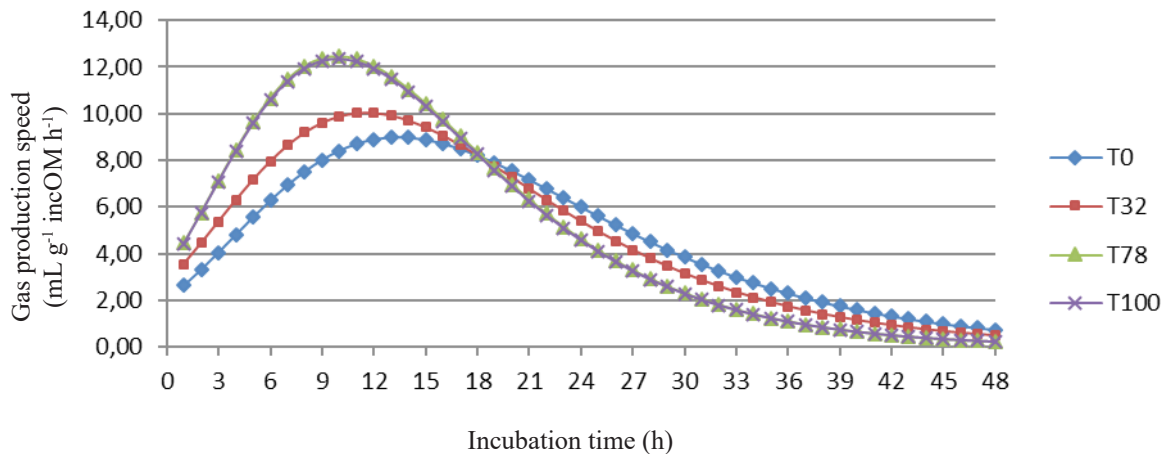


Figure 1. Performance of gas production speed (mL g⁻¹ incOM h⁻¹) in the time

It is concluded that diets with the highest levels of sweet potato integral silage achieved higher accumulated gas productions. In the first 18 h of incubation, silage diets showed greater fermentative activity, while in high corn levels, this performance occurred after this time. Diets with this type of silage showed greater nutrient availability for ruminal microorganisms, which favors energy contribution for different metabolic processes in the rumen.

mínima, lo que se puede relacionar con el agotamiento del sustrato, aunque también con el reciclaje microbiano (Cone *et al.* 1997), como resultado de la acumulación de productos intermedios y finales de su metabolismo. Estos actúan, física o químicamente en el medio, y afectan la actividad microbiana.

Se concluye que las dietas con los niveles más altos de ensilado integral de camote lograron mayores producciones acumuladas de gas. En las primeras 18 h de incubación, las dietas con ensilado presentaron mayor actividad fermentativa, mientras que en los niveles altos de maíz este comportamiento se dio después de este tiempo. Las dietas con este tipo de ensilado mostraron mayor disponibilidad de nutrientes para los microorganismos ruminales lo que favorece el aporte de energía para los diferentes procesos metabólicos en el rumen.

References

- Aliaga, P. & Nieto, C. 2009. "Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) de la colección de germoplasma". *Anales Científicos UNALM*, 70(2): 1–10, ISSN: 0255-0407, DOI: 10.21704/ac.v70i2.493
- AOAC (Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists). 2016. 20th Edition. Ed. AOAC International, Rockville, MD, USA, ISBN: 0935584870
- Bernstein, J. 1983. *Análisis de alimento*. tomo I. Eds. Wintra, A.L. & Winto, K.B. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, p. 84
- Carnevali, A., Chicco, C., Shultz, t., Rodríguez, S. & Shultz, E. 2002. Estudio sobre el efecto de la suplementación con melaza y urea para bovinos a pastoreo. *Sitio Argentino de Producción Animal*, p. 1-5. Available: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/04-efecto_de_suplementacion_con_melaza_y_urea.pdf
- Chaney, A.L. & Marbach, E.P. 1962. "Modified reagents for determination of urea and ammonia". *Clinical Chemistry*,

- 8(2):130–132, ISSN: 0009-9147, DOI: 10.1093/clinchem/8.2.130
- Cone, J.W., van Gelder, A.H. & Driehuis, F. 1997. “Description of gas production profiles with a three-phasic model”. *Animal Feed Science and Technology*, 66(1–4): 31–45, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/S0377-8401(96)01147-9
- de Blas Beorlegui, C., Mateos, G.G., & Rebollar, P.G. 2010. tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Available: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>, [Consulted: April 6th, 2017]
- de Blas Beorlegui, C., Mateos, G.G., & Rebollar, P.G. 2016. Maíz nacional (rev. Nov. 2016). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Available: <http://www.fundacionfedna.org/node/370>, [Consulted: April 6th, 2017]
- Depetris, G.J. (2013). Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne. In: Jornada de Actualización. Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos, p. 59-68. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47597/Documento_completo.pdf?sequence=1, [Consulted: April 13th, 2017]
- Egaña, J.I. 2000. “Efectos de diferentes procesamientos de los granos de cereales sobre su valor nutritivo para animales rumiantes”. *tecnovet*, 6(1), ISSN: 0718-1817
- FAO. 2016. FAOSTAT. Available: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> [Consulted: April 6th, 2017]
- Fernández, A. 1999. “El silaje y los procesos fermentativos”. In: Silaje de planta entera, Cap. I, EEA INTA Bordenave, p. 4–11. Available: http://www.martinezstaneck.com.ar/upload/publicacion/EL_SILAJE_Y_SUS_PROCESOS_FE.PDF
- García, A. 2008. Estimación de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de ensilados mediante la técnica de producción de gas: Implicaciones metodológicas. PhD thesis. E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España, p. 136
- Goering, H.K. & Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses: Apparatus, reagent, procedures and some applications. In: *Agriculture Handbook No. 379*. Ed. U.S.D.A. Agricultural Research Service, Department of Agriculture, United States of America, p. 20
- Gómez, S., torres, V., Medina, Y., Rodríguez, Y., Sardiñas, Y., Herrera, M. & Rodríguez, R. 2019. “Application of the linear mixed and generalized mixed model as alternatives for analysis in experiments with repeated measures”. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1): 7–12, ISSN: 2079-3480
- Huntington, G.B., Harmon, D.L. & Richards, C.J. 2006. “Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle”. *Journal of Animal Science*, 84(suppl_13): E14–E24, ISSN: 0021-8812, DOI: 10.2527/2006.8413_supplE14x
- Knowles, M.M., Pabón, M.L. & Carulla, J.E. 2012. “Use of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and other starchy non-conventional sources in ruminant feeding. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(3): 488–499, ISSN: 0120-0690
- Kramer, C.Y. 1956. “Extension of Multiple Range tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications”. *Biometrics*, 12(3): 307–310, ISSN: 0006341X, DOI: 10.2307/3001469
- Li, J., Li, Q., Gao, Y., Cao, Y., Li, J. & Li, Y. 2014. “Effect of ensiling on degradability of dry matter and starch in rumen about potato residues and sweet potato residues”. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, (6): 89–93, ISSN: 1671-7236
- Martínez-Fernández, A., Argentería, A. & de la Roza, B. 2014. “Manejo de forrajes para ensilar”. Ed. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias, Villaviciosa, Asturias, España, p: 280, ISBN: 978-84-617-3234-0
- Martínez-Guardia, M., Palacios, I. & Medina, H.H. 2016. “Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia”. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), ISSN: 2145-6453, DOI: 10.22490/21456453.1619
- Meléndez, P. 2003. “El almidón y su importancia en la nutrición de las vacas lecheras” Available: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html> [Consulted: March 18th, 2017]
- Mendoza G.D. & Ricalde, R. 2016. Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano. 2nd Ed. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México D.F., México, p. 252, ISBN: 978-607-28-031-0
- Menke, K.H. & Syeingass, 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: 7–55, ISSN: 0340-3165
- Noguera, R.R., Ramírez, I.C. & Bolívar, D.M. 2006. “Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación *in vitro* del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)”. *Livestock Research for Rural Development*, 18(62), ISSN: 01213784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd18/5/nogu18062.html>
- NRC (National Research Council). 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th Revised Ed. Ed. the National Academies Press, Washington D.C., U.S.A., p. 63, ISBN: 0-309-03447-7, DOI: 10.17226/19398
- NRC (National Research Council). 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th Revised Ed. Ed. the National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., p. 248, ISBN: 0-309-59241-0
- Ojeda, Á., Matos, A.A. & Cardozo, A.R. 2010. “Composición química, degradabilidad y producción de gas *in vitro* del follaje de doce cultivares de batata (*Ipomoea batatas* Lam)”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(3): 261–266, ISSN: 0034-7485
- Oliveira-Borgatti, L.M., Pavan-Neto, J., tobias-Marino, C., Marques-Meyer, P. & Mazza-Rodrigues, P.H. 2015. “Fractionation of dry matter losses of sugarcane silage treated with alkalis or urea”. *Agrociencia*, 49(4): 411–422, ISSN: 1405-3195
- Quesada, E.H. 2001. Evaluación nutricional del ensilado de follaje y raíces de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) en la alimentación de vacas lecheras. MSc. thesis. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- Rendón, M.E., Noguera, R. & Posada, S.L. 2013. “Ruminal degradation kinetics of the corn silage with different levels of inclusion of vinasse”. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(2): 42–51, ISSN: 1900-9607
- Rivadeneira, I. 2018. Efecto del hidróxido de calcio sobre el valor nutricional de la torta de palmiste. Diploma thesis. Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Pichincha, Ecuador, p. 48

- 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, ISSN: 2079-3480
- Rodríguez, R., Galindo, J., Ruíz, t., Solís, C., Scull, I. & Gómez, S. 2019. "Valor nutritivo de siete ecotipos de *Tithonia diversifolia* colectados en la zona oriental de Cuba". Livestock Research for Rural Development, 31(8), ISSN: 01213784, Available: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd31/8/ruiz31119.html>
- Rodríguez, R., Lores, J., Gutiérrez, D., Ramírez, A., Gómez, S., Elías, A., Aldana, A.I., Moreira, O., Sarduy, L. & Jay, O. 2013. "Inclusión del aditivo microbiano Vitafert en la fermentación ruminal *in vitro* de una dieta para cabras". Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 47(2): 171–178, ISSN: 0034-7485
- Sánchez, H. 1996. Valor nutricional del ensilaje de raíces no comerciales y follaje de camote. MSc. thesis. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- SAS. 2010. 'User's guide: Statistics (Version 9.3). SAS Institute, Cary, N.C., USA
- Solís, C. (2011) Sustitución del maíz por ensilaje integral de camote (*Ipomoea batatas* L.) como fuente energética en la alimentación de bovinos en crecimiento. MSc. thesis. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Panamá, p. 160
- Solís, C. & Ruiloba, M.H. 2017. "Evaluation of different levels of integral silage of sweet potato (*Ipomoea batatas*) as energetic source for growing cattle". Cuban Journal of Agricultural Science, 51(1): 1–12, ISSN: 2079-3480
- 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(3-4): 185-197, ISSN: 03778401, DOI: 10.1016/0377-8401(94)90171-6
- Tique, J., Chaves, B. & Zurita, J.H. 2009. "Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de *Ipomoea batatas* L.". Agronomía Colombiana, 27(2): 151–158, ISSN: 2357-3732
- Vargas, E. & Zumbado, M. 2003. "Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica". Agronomía Costarricense, 27(1): 7–18, ISSN: 0377-9424.
- Velásquez, R., Noguera, R.R. & Posada, S. 2013. "Procesamiento del grano de maíz sobre la cinética de degradación de la materia seca *in vitro*". Revista MVZ Córdoba, 18(3): 3877–3885, ISSN: 1909-0544, DOI: 10.21897/rmvz.160

Received: June 26, 2019

Accepted: december 19, 2019