

***In situ* ruminal degradability of drought-tolerant *C. purpureus* varieties**

Degradabilidad ruminal *In situ* de variedades de *C. purpureus* tolerantes a la sequía

J. L. Ledea¹, O. La O², J. V. Ray¹ and Vázquez, Celia³

¹*Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov". Estación Experimental de Pastos y Forrajes, km 10½, Carretera Bayamo-Tunas. Bayamo, Granma, Cuba*

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

³*Universidad Estatal del Sur, Manabí, Ecuador*

Email: ledea@dimitrov.cu

A study was conducted to characterize the *in situ* ruminal degradability of the dry matter and organic matter of new drought-tolerant varieties of *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 and CT-605) at different regrowth ages (60, 80, 100 and 120 days), cultivated in a dry and degraded ecosystem by the intense drought, characteristic of Valle del Cauto, Granma, Cuba. Two Creole cows of 450 ± 10 kg of live weight cannulated in rumen were used. The bags were introduced in the rumen during 0, 4, 6, 8, 12, 24, 48 and 72 hours. The parameters of the dry matter degradability showed that, for the age of 60, 80 and 120 days, the highest values corresponded to the variety CT-603 and at 80 and 100 days the organic matter degradability for this same variety. The CT-601, at 100 d of regrowth, showed the highest values of dry matter degradation. For the organic matter degradation at 120 d, low values in all parameters were observed. The degradation percentages were higher than 50 % for dry matter, and for organic matter they were close to this value. The *In situ* ruminal degradability of the dry matter and organic matter of the whole plant of the new varieties of *Cenchrus purpureus* maintains the ruminal fermentation pattern of tropical grasses.

Key words: *Cenchrus*, degradation, dry matter, organic matter.

The eastern region of Cuba is characterized by highly eroded and saline soils (Benítez *et al.* 2010), in which the Cauto Valley is located, where 90 % of the region's livestock are developed (Fajardo 2008).

The Cauto Valley has semi-arid areas, which includes Granma and Las Tunas provinces, with 48 454 hectares. Granma province represents 50 % of the referred area. Another semi-arid zone is located in Manzanillo municipality, with 16 4215 ha and a third area, corresponding to the southern slope of Sierra Maestra (from the coast up to 500 m o.s.l), from Cabo Cruz to Santiago de Cuba, which covers 63 543 ha. These zones have defined characteristics with rainfalls less than 1000 mm year⁻¹ and long drought periods up to eight months, high evaporation and precipitation/evaporation coefficients lower than 0.45, characteristic of arid zones (Benítez *et al.* 2010).

Considering these adverse climatic conditions that characterize the Cauto Valley, varieties of *Cenchrus purpureus* (also known as *Pennisetum purpureum*) drought tolerant, obtained by *in vitro* tissue culture of apical portions of Cuba CT-115, were evaluated. These

Se realizó un estudio para caracterizar la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca y materia orgánica de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus*, tolerantes a la sequía (CT-601, CT-603 y CT-605) en diferentes edades de rebrote (60, 80, 100 y 120 días), cultivadas en un ecosistema seco y degradado por la intensa sequía, característico del Valle del Cauto, Granma, Cuba. Se utilizaron dos vacas criollas de 450 ± 10 kg de peso vivo, canuladas en rumen. Las bolsas se introdujeron en el rumen durante 0, 4, 6, 8, 12, 24, 48 y 72 horas. Los parámetros de la degradabilidad de la materia seca mostraron que, para la edad de 60, 80 y 120 días, los mayores valores correspondieron a la variedad CT-603, y a los 80 y 100 días la degradabilidad de la materia orgánica para esta misma variedad. La CT-601, a los 100 d de rebrote, mostró los mayores valores de la degradación de la materia seca. Para la degradación de la materia orgánica a los 120 d, se observaron valores bajos en todos los parámetros. Los porcentajes de degradación fueron superiores al 50 % para la materia seca, y para la materia orgánica fueron cercanos a este valor. La degradabilidad ruminal *In situ* de la materia seca y materia orgánica de la planta íntegra de las nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* mantiene el patrón de fermentación ruminal de las gramíneas tropicales.

Palabras clave: *Cenchrus*, degradación, materia seca, materia orgánica.

La región oriental de Cuba se caracteriza por suelos altamente erosionados y salinos (Benítez *et al.* (2010). En esta región se ubica el Valle del Cauto, donde se desarrolla 90 % de la ganadería de la región (Fajardo 2008).

El Valle del Cauto presenta áreas semiáridas, que comprenden las provincias Granma y Las Tunas, con 48 454 hectáreas de superficie. La provincia Granma representa 50 % del área referida. Otra zona semiárida se encuentra en el municipio Manzanillo, con 16 4215 ha y una tercera área, correspondiente a la vertiente Sur de la Sierra Maestra (desde la costa hasta 500 msnm), comprendida desde Cabo Cruz hasta Santiago de Cuba, que abarca 63 543 ha. Estas zonas poseen características definidas con precipitaciones inferiores a 1000 mm año⁻¹ y largos períodos de sequía de hasta ocho meses, elevada evaporación y coeficientes de precipitación/evaporación menor de 0.45, característicos de zonas áridas (Benítez *et al.* 2010).

Ante estas condiciones climáticas adversas que caracterizan al Valle del Cauto, se comenzaron a evaluar variedades de *Cenchrus purpureus* (conocido también como *Pennisetum purpureum*) tolerantes a la sequía, obtenidas por cultivo de tejidos *in vitro* de

varieties were identified when the characterization of these plants was carried out through the electrophoretic determination of more than five isoenzyme systems, and they were reaffirmed by maintaining their initial characteristics for more than five generations (Herrera 2000). The improvement program has been carried out since 2000 and agronomic evaluations have been carried out with favorable results for some varieties, among them CT-601, CT-603 and CT-605, which showed their promisority and superiority with respect to the progenitor (CT-115). However, evaluations of these plants from the nutritional point of view are still not carried out.

In the specialized bibliography are refers the histochemical modifications that are produced by physiological effect and, in some cases, by external elements, such as climate (Valenciaga 2007, Ramírez 2010 and Verdecia 2015), which influence on the nutritive compounds degradation (Ledea 2016).

The objective of this study is to characterize the *in situ* ruminal degradability of dry matter and organic matter of drought-tolerant *Cenchrus purpureus* new varieties under intense seasonal drought conditions, characteristic of Cauto Valley.

Materials and Methods

Location. Determinations of *in situ* ruminal degradability were developed in the analytical laboratories of the Instituto de Ciencia Animal (ICA), in Mayabeque, Cuba. The samples came from plots established in the Estación Experimental de Pastos y Forrajes, belonging to the Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", located in Granma province in Cauto plain, 10 ½ km from Bayamo city, Cuba.

Plant material used. The plant material corresponded to the new varieties of *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 and CT-605), obtained by tissue culture with drought tolerance, from CT-115.

Experimental procedure. Sampling was carried out in the seed bank, established five years ago in plots of 200 m². The bank consists of 10 rows, separated at 1 m and 0.75 m between plants. For the establishment of banks, the seeds come from the Department of Grasses and Forages of the Institute of Animal Science, Mayabeque, Cuba. At the moment of taking the samples, in each furrow, the ages to be evaluated were distributed interspersed (60, 80, 100 and 120 d). They were divided by subplots of 4.50 linear m, with four repetitions and one meter of border effect, at the beginning and end of each furrow. Five plants of each regrowth age were taken from each repetition, for a total of four samplings for 60 d, three for 80 and 100 d, and two for 120 d that covered the rainy and dry season. A total 300 g were taken in green base and subjected to drying in a MEMMERT forced air oven at 100 °C for one hour, and then at 60 °C until reaching constant weight, according to the methodology proposed

porciones apicales del Cuba CT-115. Estas variedades se identificaron cuando se realizó la caracterización de estas plantas mediante la determinación electroforética de más de cinco sistemas isoenzimáticos, y se reaffirmaron al mantenerse sus características iniciales por más de cinco generaciones (Herrera 2000). El programa de mejoramiento está vigente desde el 2000 y se han realizado evaluaciones agronómicas con resultados favorables para algunas variedades, entre ellas CT-601, CT-603 y CT-605, las cuales demostraron su promisoriedad y superioridad con respecto al progenitor (CT-115). Sin embargo, aún no se realizan evaluaciones de estas plantas desde el punto de vista nutritivo.

En la bibliografía especializada se refieren las modificaciones histoquímicas que se producen por efecto fisiológico y, en algunas ocasiones, por elementos externos, como el clima (Valenciaga 2007, Ramírez 2010 y Verdecia 2015), que influyen en la degradación de los compuestos nutritivos (Ledea 2016).

El objetivo de este estudio es caracterizar la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca y materia orgánica de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus*, tolerantes a la sequía en condiciones de intensa sequía estacional, característica del Valle del Cauto.

Materiales y Métodos

Localización. Las determinaciones de la degradabilidad ruminal *in situ* se desarrollaron en los laboratorios analíticos del Instituto de Ciencia Animal (ICA), en Mayabeque, Cuba. Las muestras provinieron de parcelas establecidas en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", localizada en la provincia Granma en la llanura del Cauto, a 10 ½ km de la ciudad de Bayamo, Cuba.

Material vegetal utilizado. El material vegetal correspondió a las nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), obtenidas por cultivo de tejido con tolerancia a la sequía, a partir del CT-115.

Procedimiento experimental. La toma de muestras se realizó en el banco de semilla, establecido hace cinco años en parcelas de 200 m². El banco consta de 10 surcos, separados a 1 m y 0.75 m entre plantas. Para el establecimiento de los bancos, las semillas proceden del Departamento de Pastos y Forrajes del Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. Al momento de tomar las muestras, en cada surco, de forma intercalada se distribuyeron las edades a evaluar (60, 80, 100 y 120 d). Las mismas estaban fraccionadas por subparcelas de 4.50 m lineales, con cuatro repeticiones y un metro de efecto de borde, al comienzo y final de cada surco. Se tomaron de cada repetición cinco plantas de cada edad de rebrote, para un total de cuatro muestreos para los 60 d, tres para 80 y 100 d, y dos para 120 d que abarcaron el período lluvioso y poco lluvioso. Se tomaron 300 g en base verde y se sometieron a secado en estufa

by Herrera (2014). Subsequently they were passed through a blade mill to reduce particle size to 2 mm (for degradability) and 1 mm (for the determination of chemical composition). This procedure was performed in each regrowth age.

Chemical composition. The analysis of the samples of new varieties was carried out in the whole plant. The content of dry matter (DM) and crude protein (CP) was determined according to the techniques described by the AOAC (2016) and the neutral detergent fiber (NDF), according to Goering and Van Soest (1970).

In situ ruminal degradability. For the evaluation of *in situ* ruminal degradability, two Creole cows cannulated in rumen (450 ± 10 kg of live weight) were used, which received grasses forage (*Megathyrzus maximum* and *Cynodon dactylon*) *ad libitum*, with free access to water and mineral salts. A total of 5 g of samples per dacron bag were weighed, after having verified the uniformity of the internal dimensions by means of a millimeter rule, as well as the pore size and the amount of pores.cm², measured and averaged with the help of a Microscope, model N-800M, with fitted HDCE-50 B camera, Compac computer and Image Driving software.

The bags showed uniform dimensions of 14.0 cm long x 8.5 cm wide internal dimensions, 48 μ m porosity and 1044 cm² pores. They were washed and dried in a BINDER oven at 60 °C for one hour and then weighed on the SARTORIUS analytical balance of 0.001g precision. The tare was determined for each of the bags included in the experiment. Then they were grouped by regrowth age to introduce them in the rumen, and they were doubled for each sampling hour and animal, for a total of 28 bags in each rod. For ruminal fermentation they were all introduced together and extracted at 0, 4, 6, 8, 12, 24, 48 and 72 h.

Each bag was washed by hand with running water until the water came out transparent, once extracted from the rumen. Subsequently, they were placed in aluminum trays and dried in a BINDER oven at 60 °C for 72 h. Then they were transferred to a desiccator for 30 min and weighed. The difference between the initial weight of the sample placed in the nylon bags and the weight of the waste after the rumen incubation was used to determine the degraded DM in the rumen. The solubility at zero hour was obtained by incubating two bags with each food in the rumen for 15 min. Then they were treated the same as the rest.

Statistical analysis. The estimation of ruminal degradation was performed through the interactive process of MARQUARDT algorithm, with the help of the procedure for non-linear models, PROC NLIN of the Statgraphics Centurion software version XV.II (Statgraphics 2014). For the estimation of the degradative characteristics, the exponential model proposed by Ørskov and Mc Donald (1979) was used.

de aire forzado marca MEMMERT a 100 °C durante una hora, y luego a 60 °C hasta alcanzar peso constante, según la metodología propuesta por Herrera (2014). Con posterioridad se pasaron por un molino de cuchillas para reducir a tamaño de partícula de 2 mm (para la degradabilidad) y 1 mm (para la determinación de la composición química). Este procedimiento se realizó en cada edad de rebrote.

Composición química. El análisis de las muestras de las nuevas variedades se realizó en la planta íntegra. Se determinó el contenido de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) de acuerdo con las técnicas descritas por la AOAC (2016) y la fibra detergente neutro (FDN), según Goering y Van Soest (1970).

Degradabilidad ruminal in situ. Para la evaluación de la degradabilidad ruminal *in situ* se utilizaron dos vacas criollas canuladas en rumen (450 ± 10 kg de peso vivo), que recibían *ad libitum* forraje de gramíneas (*Megathyrzus maximum* y *Cynodon dactylon*), con libre acceso al agua y sales minerales. Se pesaron 5 g de muestras por bolsa de dacrón, después de haber constatado la uniformidad de las dimensiones internas mediante una regla milimetrada, así como el tamaño del poro y la cantidad de poros.cm², medidos y promediados con la ayuda de un microscopio marca Microscope, modelo N-800M, con cámara HDCE-50 B acoplada, ordenador marca Compac y software Image Driving.

Las bolsas presentaron dimensiones uniformes de 14.0 cm de largo x 8.5 cm de ancho de dimensiones internas, 48 μ m de porosidad y 1044 poros cm². Se lavaron y secaron en estufa marca BINDER a 60 °C durante una hora y se pesaron con posterioridad en balanza analítica marca SARTORIUS de 0.001g de precisión. Se les determinó la tara a cada una de las bolsas incluidas en el experimento. Luego se agruparon por edad de rebrote para introducir las en el rumen, y se duplicaron para cada horario de muestreo y animal, para un total de 28 bolsas en cada bastón. Para la fermentación ruminal se introdujeron todas juntas y se extrajeron a las 0, 4, 6, 8, 12, 24, 48 y 72 h.

Cada bolsa se lavó a mano con agua corriente hasta que el agua salió transparente, una vez extraídas del rumen. Posteriormente se depositaron en bandejas de aluminio y se secaron en estufa marca BINDER a 60 °C durante 72 h. Luego se transfirieron a una desecadora durante 30 min y se procedió al pesado. La diferencia entre el peso inicial de la muestra colocada en las bolsas de nailon y el peso del residuo después de la incubación ruminal se utilizó para determinar la MS degradada en el rumen. La solubilidad a la hora cero se obtuvo al incubar dos bolsas con cada alimento en rumen durante 15 min. Después se trataron igual que al resto.

Análisis estadístico. La estimación de la degradación ruminal se realizó mediante el proceso interactivo del algoritmo de MARQUARDT, con ayuda del procedimiento para modelos no lineales, PROC NLIN del software Statgraphics Centurion versión XV.II (Statgraphics 2014). Para la estimación de

It was assumed that the degradation curve of the DM over time follows a first-order kinetic process, described as follows:

$$P=A \quad \text{for } t_0=0$$

$$(a + b) * (1 - e^{-(c*t)}) \quad t > t_0$$

Where:

P: Ruminal degradation. It is the ruminal degradation of the indicator evaluated in the time "t" of permanence in the rumen

a: Intercept (soluble fraction, if time is not limiting)

b: Degradable fraction, if time is not limiting (t)

c: Degradation rate of the fraction (b)

t: Incubation time.

a+b: Degradation potential

A: rapidly soluble fraction.

The rapidly soluble fraction is obtained in several ways. In this study, it was determined by introducing the bag into the rumen, allowing the ruminal fluid to penetrate the bag, and extracting it suddenly after it had completely submerged in the rumen fluid. Then the described procedure for *in sacco* degradability was continued.

Results and Discussion

Table 1 shows the average chemical composition of the three varieties in the different regrowth ages. There is no high variability in the studied indicators, which are in the range of values reported for the varieties of this genus.

Table 1. Content of DM, CP and NDF in the whole plant of new varieties of *Cenchrus purpureus* in different regrowth age

Indicators	Age of 60 days			Age of 80 days		
	Varieties (CT)					
	601	603	605	601	603	605
DM, %	90.1	90.3	91.4	94.2	92.2	91.6
CP, %	6.57	6.02	5.9	5.66	5.99	5.28
NDF, %	76.7	78.6	78.3	81	77.6	79.5
	Age of 100 days			Age of 120 days		
DM, %	90.1	91.3	91.5	93.1	92.6	93.4
CP, %	5.24	5.4	5.95	5.27	5.95	6.44
NDF, %	81.5	82.2	81.70	75.1	75.9	77.8

The *in situ* ruminal degradability of the dry matter (table 2 and figure 1) shows that in the parameters of *in situ* ruminal degradability of the dry matter of the whole plant, the values for (a) were between 9.07 and 21.67 %, represented by the variety CT-605 and CT-603, respectively. There was high variability during the ages and varieties studied.

The values for this fraction were similar to those referred by Valenciaga *et al.* (2001) when they evaluated the *in situ* ruminal degradability of the whole plant of CT-115. This result is understandable, especially if

las características degradativas, se utilizó el modelo exponencial propuesto por Ørskov y Mc Donald (1979). Se asumió que la curva de degradación de la MS en el tiempo sigue un proceso cinético de primer orden, descrito de la siguiente forma:

$$P=A \quad \text{para } t_0=0$$

$$(a + b) * (1 - e^{-(c*t)}) \quad t > t_0$$

Donde:

P: Degradación ruminal. Es la degradación ruminal del indicador evaluado en el tiempo "t" de permanencia en el rumen

a: Intercepto (fracción soluble, si el tiempo no es limitante)

b: Fracción degradable, si el tiempo no es limitante (t)

c: Tasa de degradación de la fracción (b)

t: Tiempo de incubación.

a+b: Potencial de degradación

A: Fracción rápidamente soluble.

La fracción rápidamente soluble se obtiene de varias maneras. En este estudio se determinó mediante la introducción de la bolsa en el rumen, dejando que penetrara el líquido ruminal al interior de la misma, y extrayéndola súbitamente luego de que se sumergiera completamente en el líquido ruminal. Luego se prosiguió el procedimiento descrito para la degradabilidad *in sacco*.

Resultados y Discusión

La tabla 1 muestra la composición química promedio de las tres variedades en las diferentes edades de rebrote. No se aprecia alta variabilidad en los indicadores

estudiados, que se encuentran en el rango de valores informados para las variedades de este género.

La degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca (tabla 2 y figura 1) muestra que en los parámetros de la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca de la planta íntegra, los valores para (a) estuvieron entre 9.07 y 21.67 %, representados por la variedad CT-605 y CT-603, respectivamente. Hubo alta variabilidad durante las edades y variedades estudiadas.

Los valores para esta fracción fueron semejantes a los referidos por Valenciaga *et al.* (2001) cuando evaluaron

Table 2. Characteristics of the *in situ* ruminal degradability of the dry matter of the whole plant of new drought-tolerant varieties of *Cenchrus purpureus* at different regrowth age

Varieties	Regrowth age (days)	Model	a+b (%)	R ²	SEE (%)
601	60	Y= 11.913+41.449(1-exp ^{-0.038xtime})	53.36	98.7	6.05
603	60	Y= 21.672 +50.310(1-exp ^{-0.053xtime})	71.98	89.1	22.6
605	60	Y= 12.770+44.770(1-exp ^{-0.137xtime})	57.54	99.6	2.3
601	80	Y= 19.481+ 46.517(1-exp ^{-0.031xtime})	65.99	96.1	12.2
603	80	Y= 12.464+73.491(1-exp ^{-0.0163xtime})	85.95	95.4	22.6
605	80	Y= 09.077+54.315(1-exp ^{-0.036xtime})	63.39	97.7	10.8
601	100	Y= 15.766+80.540(1-exp ^{-0.0118xtime})	96.30	99.6	4.32
603	100	Y= 16.951+ 43.733(1-exp ^{-0.035xtime})	60.68	95.6	12.2
605	100	Y= 11.479+78.570(1-exp ^{-0.016xtime})	90.05	94.4	21.3
601	120	Y= 09.4156+ 60.415(1-exp ^{-0.031xtime})	69,83	94.1	21.5
603	120	Y= 10.943+ 63.950(1-exp ^{-0.029xtime})	74.89	96.8	45.2
605	120	Y= 19.899+ 39.673(1-exp ^{0.031xtime})	59.57	92.8	14.2

(a+b): Potential degradation calculated according to model $Y=a+b*(1-e^{-(c*t)})$, a: Soluble fraction, b: Insoluble fraction but potentially degradable, c: Degradation rate, R²: Determination coefficient, SEE: Standard error of estimation

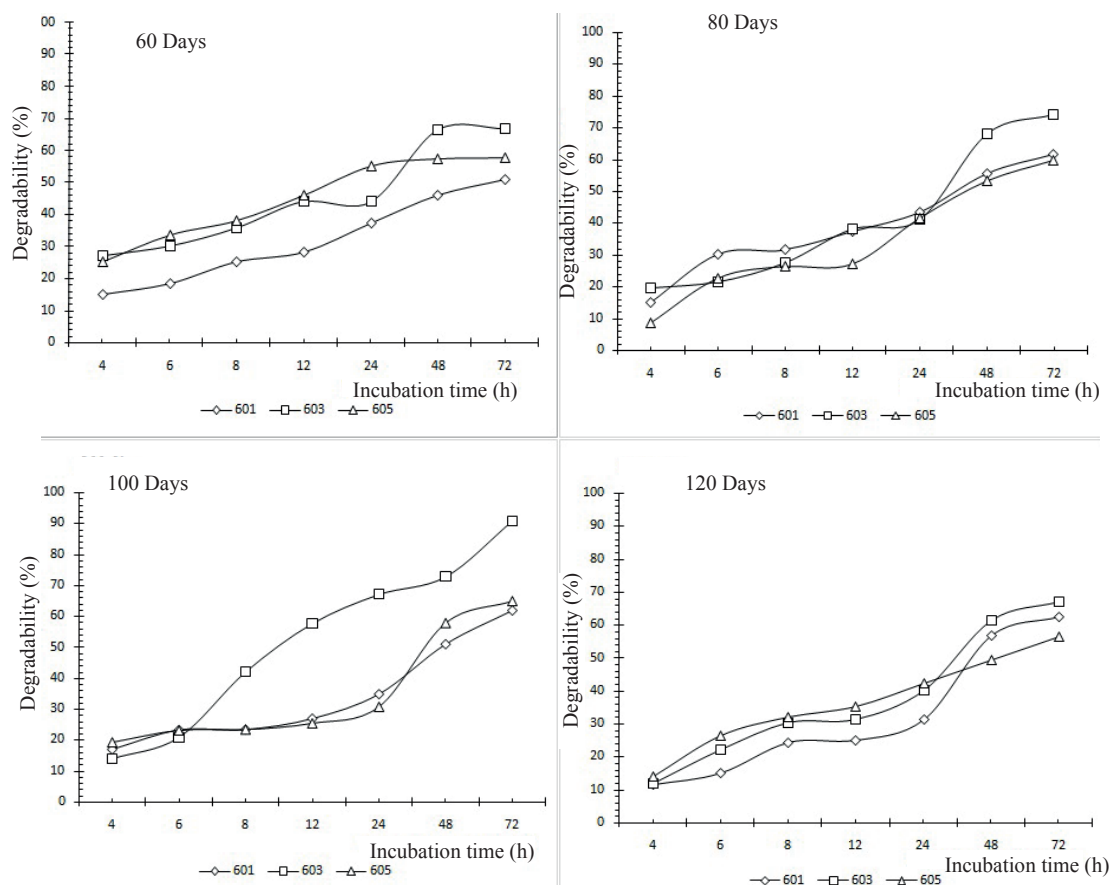


Figure 1. Dynamics of *In situ* ruminal degradability of dry matter in the whole plant of new varieties of *C. purpureus* at the ages of 60, 80, 100 and 120 days

it is taking into account that tropical grasses have a parallel vein pattern that makes them very strong with few weak points for their rupture. The reverse effect benefited *Lotus subbiflorus*, in a study by Trujillo *et al.* (2009), who expect to obtain higher degradation values (27.83 %) from the fraction in question.

However, to be a fabaceae it does not differ in a

la degradabilidad ruminal *in situ* de la planta íntegra de CT-115. Es comprensible este resultado, sobre todo, si se tiene en cuenta que las gramíneas tropicales poseen un patrón de venas paralelas que las hacen muy fuertes con escasos puntos débiles para su ruptura. El efecto inverso benefició a *Lotus subbiflorus*, en un estudio de Trujillo *et al.* (2009), quienes pretendían obtener de la fracción en

very marked way from the results of the grasses under study, emphatically with the variety CT-603. This shows that, at 60 d, this variety is a food with high contents of soluble carbohydrates, which constitute the easily degradable fraction. Andell *et al.* (2012) and Ferreira *et al.* (2014) also obtained results superior to those of this study for this fraction, mainly stimulated by differences between *in situ* and *in vitro* techniques (Navarro *et al.* 2011) and inoculation with microorganisms that modify the ruminal environment, respectively.

Herrera (1997) reported in western Cuba, in cultures that are developed on a typical red ferralitic soil, significant concentrations of soluble compounds in CT-115. These provide, according to Valenciaga (2007) greater benefit on the part of the animal economy, performance that is not in the new varieties, due to the differences that exist between West and East in the type of soil and climate, mainly.

Fraction b had similar performance to the soluble fraction, but ranged from 41.4 to 80.5 %, which varied according to the regrowth age and variety. At the age of 60 d, the lowest values of fraction b were obtained. However, the values at different ages exceeded those obtained by Valenciaga *et al.* (2001) and Lara *et al.* (2010), which shows that the structure of the plant and its agronomic performance influenced, above all, in the proportion of leaves. In this sense, Valenciaga *et al.* (2001) reported that the morphological performance favors the degradability of the DM parameters. Benavidez *et al.* (2012) alluded to the fact that the anatomical variations influence on the degradation characteristics of the fractions of DM and OM, due to the proportions of the cell type, which determine the amount of digestible fiber, indigestible and totally indigestible, effect that could have influenced on the obtained result.

The potentially degradable fraction showed general degradation values above 50 %, between 53.36 and 90.05 %, which occurred mainly at the ages of 80 and 100 d. However, these high degradation percentages may be related to prolonged retention times in the rumen. In this way, it was observed that the degradation rates as a function of time (c) performed between 1.1 and 13.7% h⁻¹, and coincided with the ages where there was higher degradability of the potentially degradable fraction.

Benavidez *et al.* (2012), when studying the forage potential of *Zea nicaraguensis* (Iltis & Benz), obtained values of fractions (b) and (a + b) lower than those obtained in this study. However, the degradation rate was in the ranges mentioned here. Ferreira *et al.* (2014) also achieved lower values for fraction a + b, which showed degradabilities that coincided with Valenciaga *et al.* (2001) results, and that were higher to those showed by Ferreira *et al.* (2014) in whole plants of *Cenchrus purpureus*. This is in correspondence

cuestión valores superiores de degradación (27.83 %). Sin embargo, para ser una fabácea no se diferencia de manera muy marcada de los resultados de las gramíneas en estudio, enfáticamente con la variedad CT-603. Esto indica que, a los 60 d, esta variedad resulta un alimento con altos contenidos de carbohidratos solubles, que constituyen la fracción fácilmente degradable. Andell *et al.* (2012) y Ferreira *et al.* (2014) también obtuvieron resultados superiores a los de este estudio para esta fracción, estimulados principalmente por las diferencias entre las técnicas *in situ* e *in vitro* (Navarro *et al.* 2011) y la inoculación con microorganismos que modifican el ambiente ruminal, respectivamente.

Herrera (1997) informó en el occidente de Cuba, en cultivos que se desarrollaron en un suelo ferralítico rojo típico, concentraciones significativas de compuestos solubles en el CT-115. Estos le brindan, según Valenciaga (2007) mayor provecho por parte de la economía del animal, comportamiento que no está presente en las nuevas variedades, debido a las diferencias que existen entre occidente y oriente en el tipo de suelo y clima, principalmente.

La fracción b tuvo semejante comportamiento a la fracción soluble, pero con rangos de 41.4 a 80.5 %, que variaron en función de la edad de rebrote y variedad. En la edad de 60 d, se obtuvieron los menores valores de la fracción b. Sin embargo, los valores en las diferentes edades superaron a los obtenidos por valenciaga *et al.* (2001) y Lara *et al.* (2010), lo que indica que la estructura de la planta y su comportamiento agronómico influyeron, sobre todo, en la proporción de hojas. En este sentido, Valenciaga *et al.* (2001) refirieron que el comportamiento morfológico favorece la degradabilidad de los parámetros de la MS. Benavidez *et al.* (2012) hicieron alusión a que las variaciones anatómicas influyen en las características degradativas de las fracciones de la MS y MO, debido a las proporciones del tipo de célula, que determinan la cantidad de fibra digerible, poco digerible y totalmente indigerible, efecto que pudo haber influido en el resultado obtenido.

La fracción potencialmente degradable presentó valores generales de degradación por encima del 50 %, entre 53.36 y 90.05 %, que se presentaron principalmente en las edades de 80 y 100 d. Sin embargo, estos altos porcentajes de degradación pueden estar relacionados con los prolongados tiempos de retención en el rumen. De esta forma, se observó que las velocidades de degradación en función del tiempo (c) se comportaron entre 1.1 y 13.7 % h⁻¹, y coincidieron con las edades donde hubo mayor degradabilidad de la fracción potencialmente degradable.

Benavidez *et al.* (2012), al estudiar el potencial forrajero del *Zea nicaraguensis* (Iltis & Benz), obtuvieron valores de las fracciones (b) y (a+b) inferiores a los obtenidos en este trabajo. No obstante, la tasa de degradación estuvo en los rangos aquí mencionados. Ferreira *et al.* (2014) también lograron valores inferiores para la fracción a+b, que presentó degradabilidades que

with the fermentation pattern of the tropical grasses, independently that the *Zea nicaraguensis* is in another botanical order.

When evaluating the kinetics of DM degradability, peaks from hour 24 were obtained, due to the intervention of other groups of organisms, such as fungi and protozoa that make more rapid use of the substrate (Galindo *et al.* 2014). In addition, for each age (60, 80, 100 and 120 d) an ascend performance was showed up to the last incubation time establish in this experiment.

When the degradation of organic matter was evaluated (table 3, figure 2), variable performance was observed in the degradation parameters. The soluble fraction showed degradation percentages lower than 10% in all ages and varieties contemplated in the study, while fraction (b) did not exceed 50 % degradation. The values of this fraction performed between 37 and 46.2 %. This performance of fractions (a) and (b) predisposed to not reach the potential degradability higher than 50 %.

For the ruminal degradability parameters of organic

coincidieron con los resultados de Valenciaga *et al.* (2001), y que fueron superiores a los señalados por Ferreira *et al.* (2014) en plantas íntegras de *Cenchrus purpureus*. Esto está en correspondencia con el patrón de fermentación de las gramíneas tropicales, independientemente que el *Zea nicaraguensis* se encuentre en otro orden botánico.

Al evaluar la cinética de la degradabilidad de la MS, se obtuvieron picos a partir de la hora 24, debido a la intervención de otros grupos de organismos, como los hongos y protozoos que hacen uso más rápido del sustrato (Galindo *et al.* 2014). Además, para cada edad (60, 80, 100 y 120 d) se mostró un comportamiento ascendente hasta el último horario de incubación establecido en este experimento.

Cuando se evaluó la degradación de la materia orgánica (tabla 3, figura 2), en los parámetros de degradación se observó un comportamiento variable. La fracción soluble arrojó porcentajes de degradación inferiores al 10 % en todas las edades y variedades contempladas en el estudio, mientras que la fracción (b) no sobrepasó 50 % de degradación. Los valores de esta fracción se comportaron entre 37 y 46.2 %. Este comportamiento de las fracciones

Tabla 3. Characteristics of the *in situ* ruminal degradability of the organic matter of the whole plant new drought - tolerant varieties of *Cenchrus purpureus* at different regrowth age

Varieties	Regrowth age (days)	Model	a+b (%)	R ²	SEE (%)
601	60	Y= 11.913+41.449(1-exp ^{-0.038xtime})	53.36	98.7	6.05
603		Y= 21.672 +50.310(1-exp ^{-0.053xtime})	71.98	89.1	22.6
605		Y= 12.770+44.770(1-exp ^{-0.137xtime})	57.54	99.6	2.3
601	80	Y= 19.481+ 46.517(1-exp ^{-0.031xtime})	65.99	96.1	12.2
603		Y= 12.464+73.491(1-exp ^{-0.0163xtime})	85.95	95.4	22.6
605		Y= 9.077+54.315(1-exp ^{-0.036xtime})	63.39	97.7	10.8
601	100	Y= 15.766+80.540(1-exp ^{-0.0118xtime})	96.30	99.6	4.32
603		Y= 16.951+ 43.733(1-exp ^{-0.035xtime})	60.68	95.6	12.2
605		Y= 11.479+78.570(1-exp ^{-0.016xtime})	90.05	94.4	21.3
601	120	Y= 9.4156+ 60.415(1-exp ^{-0.031xtime})	69.83	94.1	21.5
603		Y= 10.943+ 63.950(1-exp ^{-0.029xtime})	74.89	96.8	45.2
605		Y= 19.899+ 39.673(1-exp ^{0.031xtime})	59.57	92.8	14.2

matter, the values of fraction (a) were decreased. This is associated, according to Lara *et al.* (2010), to the increase in the passage rate and the decrease in the digestion rate, which causes the fastest outlet of the rumen from undigested organic matter, and causes a tendency to decrease the total microbial yield, as this would increase usually if the amount of fermented organic matter is higher.

The fraction (a + b) and the ruminal passage rate (c) (3.3 and 7.3 % h⁻¹) were lower only for *Tithonia diversifolia*, of the nine shrubs assessed by Naranjo and Cuartas (2011). This shows that the new varieties have potentialities such as shrub legumes, regardless of the difference of genus and species, among which

(a) y (b) predispuso a que no se alcanzara la degradabilidad potencial superior a 50 %.

Para los parámetros de degradabilidad ruminal de la materia orgánica, los valores de la fracción (a) estuvieron disminuidos. Esto se asocia, según Lara *et al.* (2010), al aumento de la tasa de pasaje y a la disminución de la tasa de digestión, que provoca la salida más rápida del rumen de la materia orgánica sin digerir, y causa una tendencia a disminuir el rendimiento microbiano total, pues este se incrementaría generalmente si la cantidad de materia orgánica fermentada es mayor.

La fracción (a+b) y la tasa de pasaje ruminal (c) (3.3 y 7.3 % h⁻¹) fueron inferiores solo para *Tithonia diversifolia*, de las nueve arbustivas evaluadas por

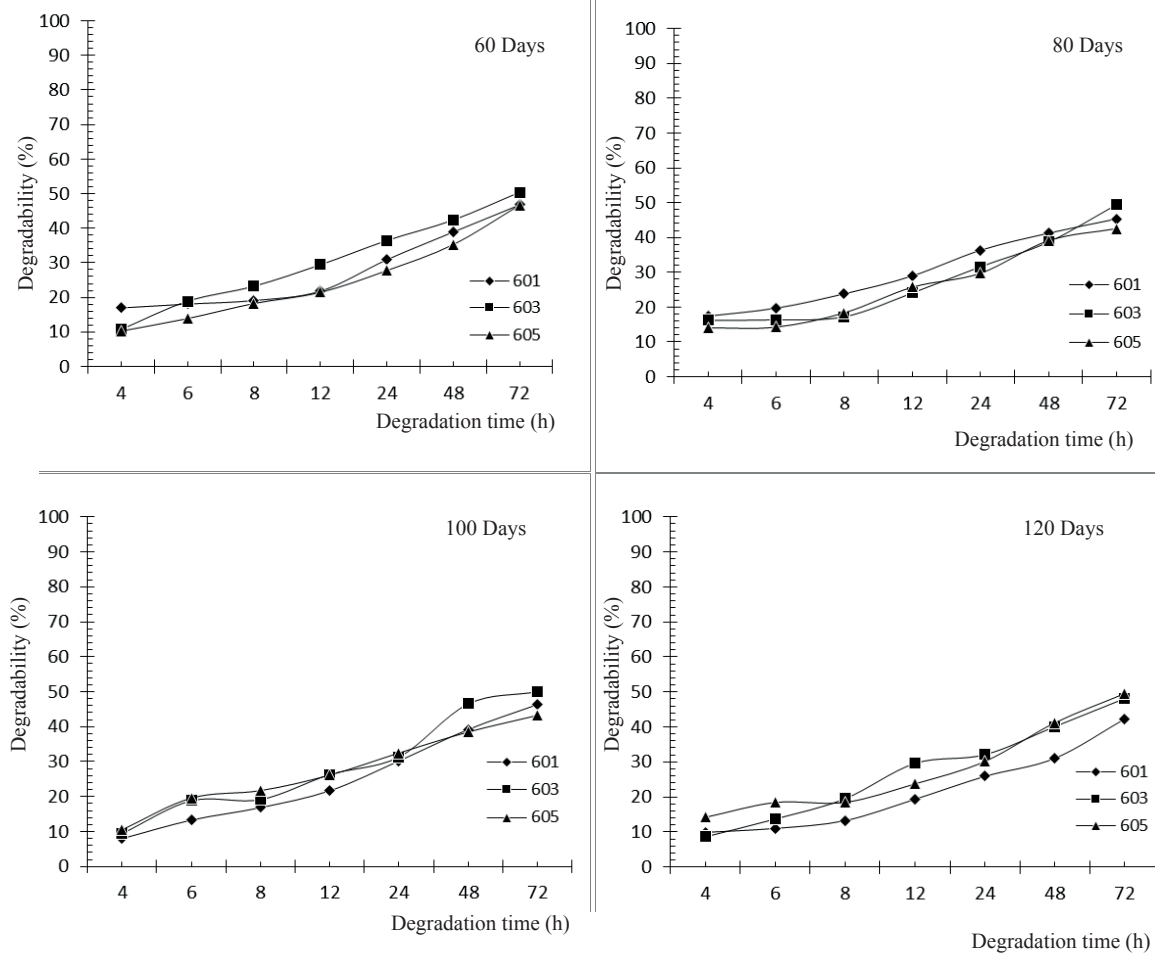


Figure 2. Dynamics of *in situ* ruminal degradability of organic matter in the whole plant of new varieties of *C. purpureus* at the ages of 60, 80, 100 and 120 days of regrowth.

the nutritional value for the cultivars of *C. purpureus* highlight. However, they do not have in a majority way, cells with a developed secondary cell wall, and primary walls seriously compromised by structural compounds (table 3). Cáceres (1985) reported that the organic matter digestibility depends on the proportions of the cell walls and their digestibility, as well as on the proportion of membranes with presence of lignin and indigestible compounds or of poorly degradability, factors which are in the cultivars under study, and in which it is necessary to deepen future studies on their impact on the degradability, according to the molecular structure.

In the dynamics of ruminal degradability (figure 2), it was observed that until the 12th hour of incubation the ascending performance was discrete. According to Galindo *et al.* (2014), this is because the bacteria, which are the first to colonize and begin to degrade the substrate, do not have the enzymes that can degrade the great diversity of connectors and interconnectors, intramolecular and intermolecular, that present structural carbohydrates. However, from the 24th hour, there is evidence of increase and a marked phase shift of the degradative kinetics, favored by the CT-603 variety. Therefore, the CT-601 and CT-605 uniformly continued the degradability curve.

Naranjo y Cuartas (2011). Esto demuestra que las nuevas variedades poseen potencialidades como las leguminosas arbustivas, independientemente de la diferencia de género y especie, entre las que resalta el valor nutritivo para los cultivares de *C. purpureus*. Sin embargo, no dejan de presentar, de forma mayoritaria, células con pared celular secundaria desarrollada, y paredes primarias seriamente comprometidas por compuestos estructurales (tabla 3). Cáceres (1985) refirió que la digestibilidad de la materia orgánica depende de las proporciones de las paredes celulares y de la digestibilidad de las mismas, así como de la proporción de membranas con presencia de lignina y compuestos indigeribles o de escasa degradabilidad, factores que están presentes en los cultivares en estudio, y en los que se debe profundizar en futuros estudios sobre su impacto en la degradabilidad, según la estructuración molecular.

En la dinámica de la degradabilidad ruminal (figura 2), se observó que hasta la hora 12 de incubación el comportamiento ascendente fue discreto. Según Galindo *et al.* (2014), esto se debe a que las bacterias, que son las primeras en colonizar y comenzar a degradar el sustrato, no poseen las enzimas que pueden degradar la gran diversidad de enlaces conectores e interconectores, intramoleculares e intermoleculares, que presentan los carbohidratos estructurales. Sin embargo, a partir del

This is due to the incorporation of other microorganisms to the degradation of structural compounds that enhanced bacterial action. According to Pedraza (2014), this capacity is only attributed to a group of ligninolytic fungi, which secrete peroxidases (extracellular, non-specific), capable of degrading the compounds that represent the lignin structures. Therefore, with respect to the rest of the varieties under study, the CT-601 variety shows a higher quantity of structures that are part of the dry matter.

By the age of 80 d, the performance begins to change, becoming more ascending, due to the higher availability of substrate on which to act. Valenciaga (2007), Ramírez (2010) and Fortes (2014) reported that these histochemical modifications affect the substrate-enzyme relation due to the thickening of cell walls and the increase in structural carbohydrates with increasing age. Valenciaga (2007) described that the characteristics of the substrate (chemical composition and anatomical structure) is a factor that determines the microbial action, where it was appreciated that the ruminal microflora was not affected when causing degradations higher than 50 %.

In general, the gradation kinetics shows the fermentation pattern of tropical grasses, where complex chemical transformations limit the use of plant material below 50 % (Cáceres 1985).

It is concluded that the *in situ* ruminal degradability of the DM and OM of the whole plant of the *Cenchrus purpureus* new varieties maintains the ruminal fermentation pattern of the tropical grasses.

horario 24, se evidencia incremento y desfase notable de la cinética degradativa, propiciado por la variedad CT-603. Por su parte, el CT-601 y CT-605 continuaron de forma uniforme la curva de degradabilidad.

Lo anterior se debe a la incorporación de otros microorganismos a la degradación de los compuestos estructurales que potenciaron la acción bacteriana. Según Pedraza (2014), esta capacidad solo es atribuida a un grupo de hongos ligninolíticos, que secretan peroxidases (extracelulares, no específicas), capaces de degradar los compuestos que representan las estructuras de la lignina. Por tanto, con respecto al resto de las variedades en estudio, la variedad CT-601 presenta mayor cantidad de estructuras que forman parte de la materia seca.

Para la edad de 80 d, el comportamiento comienza a modificarse, haciéndose más ascendente, debido a la mayor disponibilidad de sustrato sobre el cual actuar. Valenciaga (2007), Ramírez (2010) y Fortes (2014) refirieron que estas modificaciones histoquímicas repercuten en la relación sustrato-enzima por el engrosamiento de las paredes celulares y el incremento de carbohidratos estructurales con el aumento de la edad. Valenciaga (2007) describió que las características del sustrato (composición química y estructura anatómica) es un factor que determina la acción microbiana, donde se apreció que la microflora ruminal no se afectó al propiciar degradaciones superiores a 50 %.

De forma general, la cinética de gradación muestra el patrón de fermentación de las gramíneas tropicales, donde las complejas transformaciones químicas limitan la utilización del material vegetal por debajo de 50 % (Cáceres 1985).

Se concluye que la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS y MO de la planta íntegra de las nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* mantiene el patrón de fermentación ruminal de las gramíneas tropicales.

References

- Andell, E., Mlambo, V., Pallo, C. H. O., García, W. G. & Diptee, M. D. 2012. *In vitro* ruminal fermentation parameters of tanner grass (*Brachiaria arrecta*) supplemented with leaves from three forage trees. Livestock Research for Rural Development. 24(6):156-168.
- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: September 22, 2016].
- Benavidez, G. A., Morán, C. A., Cisne, C. J., García, M. D. Martínez, C. D., Rocha, M. L. & Mendieta, A. B. G. 2012. Potencial forrajero del teocintle anual (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz). Rev La Calera. 12(19): 81-85.
- Benítez, G. D., Catasús, L. J., Arias, R. C., Fajardo, R., Ramírez, A., Gómez, A. I. & Fonseca, E. 2010. Cultivares de pastos y forrajes tolerantes a los entornos adversos y degradados de la región oriental cubana. Holguín. Ed. Dimitrov. 80 p.
- Cáceres, O. 1985. Estudio de los principales factores que afectan el valor nutritivo de las gramíneas forrajeras tropicales en Cuba. PhD Thesis, Centro Universitario "Camilo Cienfuegos". Cuba. 72 p.
- Fajardo, H. 2008. La innovación tecnológica en la producción pecuaria en la provincia de Granma: Una necesidad impostergable. Rev. Granma Cienc. 12(1):5-11.
- Ferreira, J. D., Zanine, M. A., Lena, P. R., Ribero, D. M. Alves, G. R. & Mantovani, H. C. 2014. Chemical composition and nutrient degradability in the elephant grass silage inoculated with *Streptococcus bovis* isolated from the rumen. An. Academy Brasil Cienc; 86(1): 465-473.
- Fortes, D. 2014. Comportamiento de algunos indicadores morfofisiológicos y de calidad de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. PhD Thesis, "Instituto de Ciencia Animal". Cuba. 100 p.
- Galindo, J., González, N., Delgado, D., González, R., Sosa, A., Marrero, Y., Aldana, A. I., Moreira, O., Cairo, J., Torres, V., Sarduy, L. & Noda. 2014. Efecto del follaje de plantas tropicales en el control de la producción de metano y la población de protozoos ruminales *in vitro*. Rev. Cubana Cienc. Agric; 48(4): 359-364.
- Goering, H. K. & Van-Soest, P. J. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). ARS-

USDA, WA, USA.

Herrera, R. S. 1997. El cultivo de tejidos *in vitro* aplicado a los pastos en Cuba. Rev. Cubana Cienc. Agric. 31:113-125.

Herrera, R. S. 2000. Obtención de plántulas de *Pennisetum purpureum* con resistencia a la sequía y salinidad mediante técnicas biotecnológicas. Informe final de proyecto. Informe final de proyecto, no. 300083, La Habana, Cuba: CITMA-ICA.

Herrera, R. S. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. Avances de Invest. Agrop. 18(2): 7-26.

Lara, M. C., Oviedo, E. L & Betancur, A. C. 2010. Efecto de la época de corte sobre la composición química y degradabilidad ruminal del pasto *Dichanthium aristatum* (Angleton). Rev. Zootecnia Trop. 28(2): 275-281.

Ledeá, J. L. 2016. Caracterización química nutritiva de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía en el Valle del Cauto. Tesis en MSc., Universidad de Granma. 82 pp.

Naranjo, F. J. & Cuartas, A. C. 2011. Caracterização nutricional e cinética de degradação ruminal de alguns dos recursos forrageiros com potencial para o suplementação de gadonanas regiões tropicais de altitude da Colômbia. Rev. Med. Veterinaria y Zootecnia. 6(1): 9-19.

Navarro, C., Díaz, A., Roa, E. & Cuellar, A. 2011. Comparación de la técnica de digestibilidad *in vitro* con la de *in situ* de diez forrajes en bovinos rumino-fistulados en el piedemonte llanero del Meta. Sist Prod Agroecol. 2:2-23.

Ørskov, E. R & 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.

Pedraza, C. D. 2014. Evaluación de la actividad enzimática de aislamientos microbianos celulolíticos y lignolíticos, y su aplicación en la degradación de tamo de arroz (*Oryza sativa*). Master Thesis. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 98 p.

Ramírez de la Rivera, J. L. 2010. Rendimiento y calidad de cinco gramíneas en el Valle del Cauto. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba.

Statgraphics, 2014. Statgraphics Centurion XV.2 versión 15.02.6 StatPoint, Inc.

Trujillo, A. I., Marichal, M. J., Guerra, M. H. & Soca, P. 2009. Estudio de caso: degradabilidad de la materia seca y nitrógeno de lotus (*Lotus subbiflorus*) cv. El Rincón entres cortes primaverales. Rev. Argentina de Prod. Animal. 29(1): 1-11.

Valenciaga, D. 2007. Caracterización química y estructural de las paredes celulares de *Pennisetum purpureum* vc. CUBA CT-115 y su digestibilidad ruminal en búfalos de río (*Bubalis bubalus*) PhD Thesis, Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 115 p.

Valenciaga, D., Chongo, B. & La O, O. 2001. Caracterización del clon *Pennisetum* CUBA CT-115. Composición química y degradabilidad ruminal de la materia seca. Rev. Cubana Cienc. Agric; 4:349.

Verdecia, M. D. 2015. Calidad nutritiva de árboles, arbustos y leguminosas volubles, con énfasis en su contenido de metabolitos secundarios. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 99 p.

Received: September 9, 2017