

## Yield components, chemical characterization and polyphenolic profile of *Tithonia diversifolia* in Valle del Cauto, Cuba

### Componentes del rendimiento, caracterización química y perfil polifenólico de la *Tithonia diversifolia* en el Valle del Cauto, Cuba

D.M. Verdecia<sup>1</sup>, R.S. Herrera<sup>4</sup>, J.L. Ramírez<sup>1</sup>, R. Bodas<sup>2</sup>, I. Leonard<sup>1</sup>, F.J. Giráldez<sup>2</sup>, S. Andrés<sup>2</sup>,  
A. Santana<sup>1</sup>, Y. Méndez-Martínez<sup>5</sup> and S. López<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudio de Producción Animal, Universidad de Granada, Cuba.

<sup>2</sup>Estación Agrícola Experimental, CSIC, Apdo.788, León, España.

<sup>3</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad de León, España.

<sup>4</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apdo. 24, San José de las Lajas, Cuba.

<sup>5</sup>Facultad Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo, Los Ríos, Ecuador  
Email: dverdeciaa@udg.co.cu

In order to determine the effect of regrowth age on the components of yield, chemical composition and polyphenolic profile of *Tithonia diversifolia*, an experiment was carried out using a randomized block design with four replications in brown soil with carbonate. The treatments consisted of three regrowth ages (60, 120 and 180 days). To establish the functional relationship between the different evaluated indicators and age, linear, quadratic, cubic and Gompertz equations were analyzed, selecting the best fit according to high value of R<sup>2</sup>, high significance of the terms and of the equation, low standard error of estimation and of terms, and significant contribution of terms and of the equation. The equations of the best fit for the functional relationship between the different evaluated indicators and age, in each seasonal period, were quadratic. There was an increase in yield of dry matter, NDF, ADF, ADL with age, with maximum values at 180 days (23.92t/ha, 47.63, 31.38 and 21.01%, respectively); edible biomass, CP, cellular content, *in vitro* degradability of dry matter decreased with age and the best values were obtained at 60 days (26.16 t/ha, 27.49 %, 59.56 % and 75.78 %, respectively) and the contents of total phenols, total tannins, total condensed tannins, free condensed tannins and condensed tannins bound to the fiber showed their highest values during the rainy period (12.36, 5.36, 14.55, 4.07 and 11.16 g/kgDM, respectively). The regression equations that explain the close relationship of age with yield, chemical composition and degradability were established, as well as response patterns were established for each seasonal period. It is recommended to endorse these results in other climatic and management conditions of the species.

Key words: *yield components, chemical composition, secondary metabolites*

The tropical zone contains the greatest genetic diversity in the world, which is expressed in the large number of vascular plants per unit area. However, despite this richness, animal feeding models have been mainly based on the use of few plant species. This becomes more effective in the case of forage trees and shrubs that have not been properly used as food for animals. In the study of food systems used in hot climates, it is suggested that the sustainability of the system depends, to a large extent, on the use of different local biological resources (Holguín *et al.* 2015). This concept calls for expanding the use of

Con el objetivo de determinar el efecto de la edad de rebrote en los componentes del rendimiento, la composición química y perfil polifenólico de la *Tithonia diversifolia*, se realizó un experimento mediante un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas en suelo pardo con carbonato. Los tratamientos consistieron en tres edades de rebrote (60, 120 y 180 días). Para establecer la relación funcional entre los diferentes indicadores evaluados y la edad, se analizaron las ecuaciones lineales, cuadráticas, cúbicas y Gompertz seleccionando la de mejor ajuste según: alto valor de R<sup>2</sup>, alta significación de los términos y de la ecuación, bajo error estándar de estimación y de los términos, y aporte significativo de los términos y de la ecuación. Las ecuaciones de mejor ajuste para la relación funcional entre los diferentes indicadores evaluados y la edad, en cada período estacional, fueron las cuadráticas. Hubo incremento del rendimiento en materia seca, FDN, FDA, LAD con la edad con valores máximos a los 180 días (23.92t/ha; 47.63; 31.38 y 21.01 %, respectivamente); la biomasa comestible, PB, contenido celular, degradabilidad *in vitro* de la materia seca disminuyeron con la edad y los mejores valores se obtuvieron a los 60 días (26.16 t/ha; 27.49 %; 59.56 % y 75.78 %, respectivamente) y los contenidos de fenoles totales, taninos totales, taninos condensados totales, taninos condensados libres y taninos condensados ligados a la fibra mostraron sus mayores valores durante el período lluvioso, (12.36; 5.36; 14.55; 4.07 y 11.16 g/kgMS, respectivamente). Se establecieron las ecuaciones de regresión que explican la estrecha relación de la edad con el rendimiento, composición química y la degradabilidad, así como se establecieron los patrones de respuesta para cada período estacional. Se recomienda avalar estos resultados en otras condiciones climáticas y de manejo de la especie.

Palabras clave: *componentes del rendimiento, composición química, metabolitos secundarios*

La zona tropical contiene la mayor diversidad genética en el mundo, que se expresa en el gran número de plantas vasculares por unidad de área. Sin embargo, a pesar de esta riqueza, los modelos de alimentación animal se han basado principalmente en el uso de pocas especies vegetales. Esto cobra mayor vigencia en el caso de los árboles y arbustos forrajeros que no han tenido la adecuada utilización como alimento para los animales. En el estudio de los sistemas alimenticios utilizados en climas cálidos se sugiere que la sostenibilidad del sistema depende, en gran medida, de la utilización de los diferentes recursos biológicos locales (Holguín *et al.* 2015). Este

species diversity as suppliers of forage for animals. Given the diversity of forage species, there is an urgent need to study and recommend promising species for specific agro-ecological environments and biomass production systems, taking into account mainly their nutritional value.

Given the characteristics of tropical pastures, with low values of digestible protein and high fiber rate, it has been demonstrated that the foliage of shrub or tree legumes can be a nutritional strategy in the ruminant supplementation in the tropics, mainly during the periods of forage scarcity (Mejía-Díaz *et al.* 2017). Many of these species have higher nutritional values than those of the pastures and may produce high amounts of edible biomass that are more sustained in time than those of the pasture without fertilization (Gutiérrez *et al.* 2015).

There is evidence that species of non-leguminous plants such as *Tithonia diversifolia* accumulate as nitrogen in their leaves as legumes, has high phosphorus content, large root volume, special ability to recover the few nutrients from soil, wide range of adaptation, tolerance to acidity conditions and low fertility in the soil, endures cutting at soil level, has rapid growth and low demand for inputs and management for its cultivation (Ruíz *et al.* 2014). In addition, information is available on their use in cattle feed (Mauricio *et al.* 2014), which includes silvopastoral systems (Mejía-Díaz *et al.* 2017).

Currently, due to the great diversity of forage trees and shrubs, the study of promising species for specific agroecological environments and livestock production systems is a necessity, depending on the biomass productivity or its nutritional value, so the characterization of yield and its components, as well as the nutritional valuation of *Tithonia diversifolia* in different stages of development, constitutes the objective of this study.

### Materials and Methods

*Experimental area and climatic conditions.* The study was carried out in the Polygon of Animal Production of the University of Granma, located 17 1/2 km from the city of Bayamo, Cuba. An area with half a hectare of *Tithonia diversifolia* with one year old was used. The study was carried out during dry (November-April) and rainy (May-October) periods of the years 2006-2007. The soil present in the experimental area is brown with carbonate (Hernández *et al.* 1999), with a pH of 6.2; the content of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O and total N was 2.4; 33.42 and 3.0 mg/100g of soil, respectively and 3.6 % of organic matter.

During the experimental period, the climatic factors behaved as follows: during dry season, rainfall reached 253.7 mm, mean, minimum and maximum temperatures were 24.43; 19.4 and 31.53 °C, respectively and mean relative humidity of

concepto hace un llamado a ampliar la utilización de la diversidad de especies como proveedores de forrajes para el animal. Dada la diversidad de especies forrajeras, existe la necesidad urgente de estudiar y recomendar especies prometedoras para entornos agro-ecológicos específicos y sistemas de producción de biomasa, teniendo en cuenta principalmente su valor nutritivo.

Dadas las características propias de los pastos tropicales, con bajos valores de proteína digestible y alta tasa de fibra, se ha demostrado que el follaje de leguminosas arbustivas o arbóreas puede ser una estrategia nutricional en la suplementación de rumiantes en el trópico, principalmente durante los períodos de escasez de forraje (Mejía-Díaz *et al.* 2017). Muchas de estas especies tienen valores nutricionales superiores a los de los pastos y pueden producir elevadas cantidades de biomasa comestible que son más sostenidas en el tiempo que las del pasto sin fertilización (Gutiérrez *et al.* 2015).

Existen evidencias que especies de plantas no leguminosas como *Tithonia diversifolia* acumulan tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, tiene altos tenores de fósforo, gran volumen radicular, habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del suelo, amplio rango de adaptación, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, puede soportar la poda a nivel del suelo, tiene rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Ruíz *et al.* 2014). Además, se dispone de información de su empleo en la alimentación del vacuno (Mauricio *et al.* 2014) que incluye los sistemas silvopastoriles (Mejía-Díaz *et al.* 2017).

Actualmente, debido a la gran diversidad de árboles y arbustos forrajeros, el estudio de especies promisorias para entornos agroecológicos específicos y sistemas de producción pecuaria, es una necesidad, sea en función de productividad de biomasa o de su valor nutritivo, por lo que la caracterización del rendimiento y sus componentes, así como la valoración nutritiva de la *Tithonia diversifolia* en diferentes estadios de desarrollo, constituye el objetivo del presente trabajo.

### Materiales y Métodos

*Área experimental y condiciones climáticas.* El estudio se desarrolló en el Polígono de Producción Animal de la Universidad de Granma, localizada a 17 1/2 km de la ciudad de Bayamo, Cuba. Se utilizó un área de media hectárea de la especie *Tithonia diversifolia* de un año de establecida. El estudio se llevó a cabo durante los períodos poco lluvioso (noviembre-abril) y lluvioso (mayo-octubre) de los años 2006-2007. El suelo presente en el área experimental es pardo con carbonato (Hernández *et al.* 1999), con pH de 6.2; el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y N total fue de 2.4; 33.42 y 3.0 mg/100g de suelo, respectivamente y 3.6 % de materia orgánica.

Durante el período experimental los factores climáticos se comportaron de la siguiente forma: en el período poco lluvioso las precipitaciones ascendieron a 253,7 mm, las temperaturas media, mínima y máxima

78.17 %, while in the rainy season, precipitations were of 908.9 mm, with mean, minimum and maximum temperature of 26.67; 22.18 and 34.05 °C, respectively and 81.83 % of relative humidity.

*Treatments and experimental design.* A randomized block design was used, with four replications. Treatments consisted of the three regrowth ages (60, 120 and 180 days).

*Sampling.* At the beginning of the evaluation in each period, a uniformity cut was made at 15 cm of soil height (November and May for dry and rainy period, respectively). An area of 0.5 ha, divided into plots for each age of regrowth (60, 120 and 180 days), was used. The land was not irrigated nor fertilized during the experiment. Plots consisted of 99 % of the species to be evaluated and 1 % of grasses belonging to *Dichantium* genus and Ciperaceae family.

For yield components, 10 plants were taken at random for each of the ages and then the rest of the area of the plot was cut, eliminating 50 cm of border effect. After green weight of the harvested plants, leaves, petioles and stems smaller than 2.0 cm (edible biomass) and the thickest stems were separated and weighed individually. Later, plant material was homogenized and samples were taken, which were dried in an air circulation oven for 72 hours at 65 °C. For this, 200 g of each sample was used.

*Chemical analysis.* Percentages of DM, CP, OM and silica were determined according to AOAC (2000) and NDF, ADF and lignin according to Goering and van Soest (1970).

*In vitro degradability of dry matter.* The protocol recommended by the manufacturer was used for the DaisyII® incubator (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA 2000), with FN°57 bags, pore size of 25 µm and dimensions of 5 x 4 cm made of polyester/polyethylene with extruded filaments in a three-dimensional matrix, in each of which 0.25 g of sample was deposited, to obtain an effective area per bag of 36 cm<sup>2</sup> which corresponds to a relation of sample size and bag surface area of 14.4 mg / cm<sup>2</sup> and were sealed with heat. In each of the four digestion jars, a replication of each of the ages of this species was randomly incubated, including a control bag (empty and sealed bag without sample) in order to generate the correction factor for the possible entry of particles or weight loss of bags. The procedure was carried out by duplicate.

The functioning principle of the DaisyII® is to establish incubation conditions similar to *in vivo* conditions, in such a way that the procedure includes solutions composed of minerals, nitrogen sources and reducing agents that help the necessary anaerobiosis (continuously gassing with CO<sub>2</sub>). In the process, 4 glass containers of 4 L capacity were used in which 2 L of a mixture of ruminal liquid and culture medium (1: 4 v/v) were added. The ruminal fluid was extracted

fueron de 24.43; 19.4 y 31.53 °C, respectivamente y la humedad relativa promedio de 78.17 %, mientras que en el lluvioso las precipitaciones fueron de 908.9 mm, con temperatura media, mínima y máxima de 26.67; 22.18 y 34.05 °C, respectivamente y 81.83% de humedad relativa.

*Tratamientos y diseño experimental.* Se empleó un diseño de bloques al azar, con cuatro réplicas. Los tratamientos consistieron en las tres edades de rebrote (60,120 y 180 días)

*Toma de muestras.* Al inicio de la evaluación en cada período, se realizó un corte de uniformidad a 15 cm de altura del suelo (noviembre y mayo para el periodo poco lluvioso y lluvioso, respectivamente), se utilizó un área de 0.5 ha dividida en parcelas para cada edad de rebrote (60, 120 y 180 días). El terreno no se regó ni fertilizó durante el experimento. Las parcelas estaban constituidas por 99 % de la especie a evaluar y 1 % de gramíneas pertenecientes al género *Dichantium* y de la familia Ciperáceas.

Para los componentes del rendimiento se tomaron 10 plantas al azar para cada una de las edades y después se realizó el corte del resto del área de la parcela, eliminando 50 cm de efecto de borde. Con posterioridad al peso verde de las plantas cosechadas, se separaron las hojas, peciolas y los tallos menores de 2.0 cm (biomasa comestible) y los tallos más gruesos y se pesaron de forma individual, posteriormente se homogenizó el material vegetativo y se tomaron las muestras, las que se secaron en una estufa de circulación de aire durante 72 horas a 65 °C. Para esto se emplearon 200 g de cada muestra.

*Análisis químico.* Se determinaron los por cientos de MS, PB, MO y sílice según AOAC (2000) y de FDN, FDA y lignina de acuerdo con Goering y van Soest (1970).

*Degradabilidad in vitro de la Materia Seca.* Se siguió el protocolo recomendado por el fabricante para el incubador DaisyII® (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA 2000), con, bolsas FN° 57, tamaño de poro de 25 µm y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster/polietileno con filamentos extruídos en una matriz de tres dimensiones, en cada una las cuales se depositaron 0.25 g de muestra, para obtener un área efectiva por bolsa de 36 cm<sup>2</sup> lo que corresponde a una relación tamaño de la muestra y superficie de la bolsa de 14.4 mg/cm<sup>2</sup> y se sellaron con calor. En cada una de las cuatro jarras de digestión se incubaron al azar una réplica de cada una de las edades de esta especie, incluyendo una bolsa blanca (bolsa vacía y sellada sin muestra) con el fin de generar el factor de corrección para el posible ingreso de partículas o pérdida de peso de las bolsas. El procedimiento se realizó por duplicado.

El principio de funcionamiento del DaisyII® consiste en establecer condiciones de incubación semejante a las condiciones *in vivo*, de tal manera que el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a la anaerobiosis necesaria (gaseando continuamente con CO<sub>2</sub>). En el proceso se emplearon 4 recipientes de vidrio de 4 L de capacidad en los que se añadieron 2 L de una

from a group of eight adult Merino sheep, filtered through four layers of gauze, its pH was immediately determined and the mixture (equal parts) of ruminal fluid from animals that received the same ration was produced.

Samples were incubated for 48 h in the DaisyII® at  $39.2 \pm 0.5$  °C, with constant circular agitation. After incubation, bags were washed with cold water, in order to stop the fermentation, and dried in a forced air oven at 105 °C for 2 h.

**Secondary metabolites.** Quantification of total phenols (TP) and total tannins (TT) was performed by the Folin-Ciocalteu method, before and after the treatment of the extracts with Polyvinylpyrrolidone, (Makkar 2003a), while total condensed tannins (TCT), free condensed tannins (FCT) and total bound condensed tannins (TBCT) were determined by the nButanol/HCL/Fe<sub>3</sub>+ method (Porter *et al.* 1986).

**Statistical analysis.** To establish the functional relationship between the different evaluated indicators and age, the linear, quadratic, cubic and Gompertz equations were analyzed. For the selection of the best fit equation, a high value of R<sup>2</sup>, high significance, low standard error of estimation and terms, significant contribution of the terms and of the equation according to Guerra *et al.* (2003) and Rodríguez *et al.* (2013) were taken into consideration. For all the above, the SPSS program (Visauta 1998) was used.

## Results

The total biomass increased ( $P < 0.001$ ) with the plant age in the two seasonal periods and quadratic regression equations were fitted between this indicator and age. In the rainy period, values of up to 90 tGM/ha were reached at the age of 180 days, being this period the one with the highest yields (figure 1).

Dry matter yield increased ( $P < 0.001$ ) with regrowth age (figure 2) and quadratic regression equations were adjusted between the two variables for the two periods (rainy and dry). The highest values were registered in the rainy period and, after 120 days,

mezcla de líquido ruminal y del medio de cultivo (1:4 v/v). El líquido ruminal se extrajo de un grupo de ocho ovejas adultas de la raza Merina, se filtró a través de cuatro capas de gasa, se determinó inmediatamente su pH y se procedió a la mezcla (a partes iguales) del líquido ruminal procedente de los animales que recibían la misma ración.

Las muestras se incubaron por 48 h en el DaisyII® a  $39.2 \pm 0.5$  °C, con agitación circular constante. Luego de la incubación, las bolsas se lavaron con agua fría, con el fin de detener la fermentación y se secaron en estufa de aire forzado a 105 °C durante 2 h.

**Metabolitos secundarios.** La cuantificación de los fenoles totales (FT) y los taninos totales (TT) se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, antes y después del tratamiento de los extractos con Polivinilpirrolidona, (Makkar 2003a), mientras que los taninos condensados totales (TCT), taninos condensados libre (TCL) y taninos condensados ligados totales (TCLT) se determinaron por el método nButanol/HCL/Fe<sub>3</sub>+ (Porter *et al.* 1986).

**Análisis estadístico.** Para establecer la relación funcional entre los diferentes indicadores evaluados y la edad, se analizaron las ecuaciones lineales, cuadráticas, cúbicas y Gompertz. Para la selección de la ecuación de mejor ajuste se tuvo en cuenta alto valor de R<sup>2</sup>, alta significación, bajo error estándar de estimación y de los términos, aporte significativo de los términos y de la ecuación según Guerra *et al.* (2003) y Rodríguez *et al.* (2013). Para todo lo anterior se empleó el programa SPSS (Visauta 1998).

## Resultados

La biomasa total aumentó ( $P < 0.001$ ) con la edad de la planta en los dos periodos estacionales y se ajustaron ecuaciones de regresión cuadráticas entre este indicador y la edad. En el período lluvioso se alcanzaron valores de hasta 90 tMV/ha a la edad de 180 días, siendo este período el de rendimientos superiores (figura 1).

El rendimiento de materia seca se incrementó ( $P < 0.001$ ) con la edad de rebrote (figura 2) y se ajustaron ecuaciones de regresión cuadrática entre las dos variables para los dos periodos (lluvioso y poco lluvioso). Los mayores valores se registraron en el período lluvioso y a partir de 120 días se obtuvieron rendimientos superiores

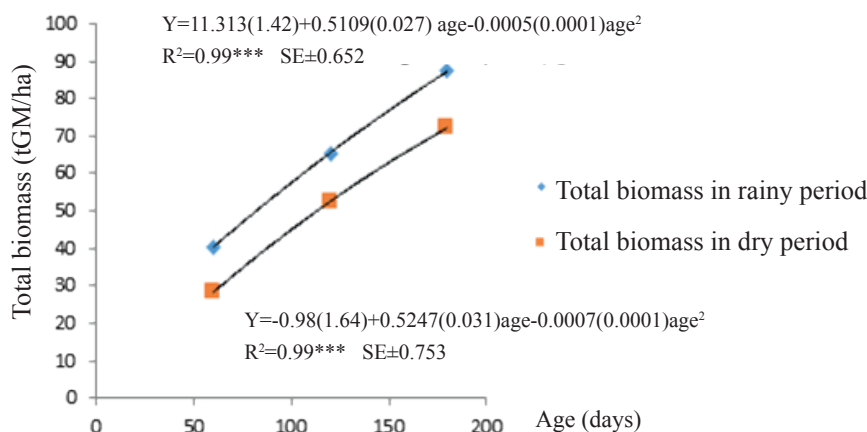


Figure 1. Total biomass of *Tithonia diversifolia* in both seasons

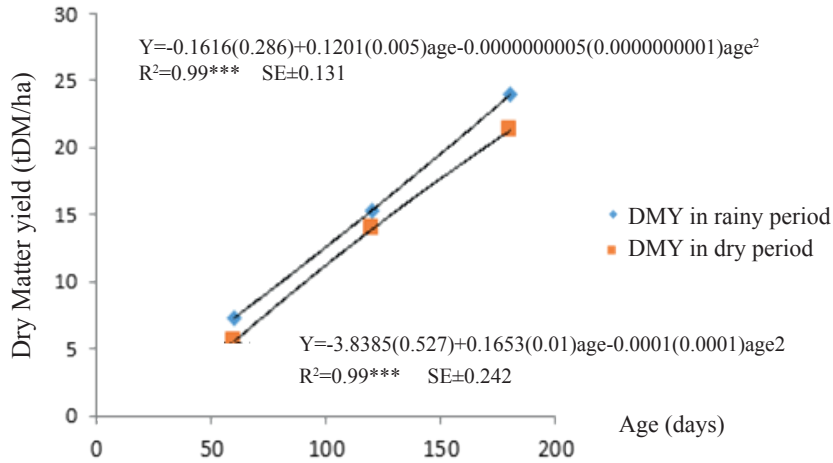


Figure.2. Dry matter yield of *Tithonia diversifolia* in both seasons

higher yields were obtained at 12 tDM/ha/cut in both seasonal periods.

Dry matter percentage increased ( $P < 0.001$ ) up to 180 regrowth days (figure 3) and quadratic regression equations were fitted between the two variables for the two periods (rainy and dry), which hardly varied between them.

In both seasonal periods, CP decreased ( $P < 0.001$ ) with the regrowth age until a value close to 14 % in the rainy period and 18.04 % for dry season, at 180 days. In both cases, quadratic regression equations were fitted between this indicator and regrowth age (figure 4).

a 12 tMS/ha/corte en ambos períodos estacionales.

El porcentaje de materia seca se incrementó ( $P < 0.001$ ) hasta los 180 días rebrote (figura 3) y se ajustaron ecuaciones de regresión cuadrática entre las dos variables para los dos períodos (lluvioso y poco lluvioso), los que apenas variaron entre sí.

En ambos períodos estacionales la PB disminuyó ( $P < 0.001$ ) con la edad de rebrote hasta valor próximo a 14 % en el período lluvioso y de 18.04 % para el poco lluvioso, a los 180 días. En ambos casos se ajustaron ecuaciones de regresión cuadráticas entre este indicador y la edad de rebrote (figura 4).

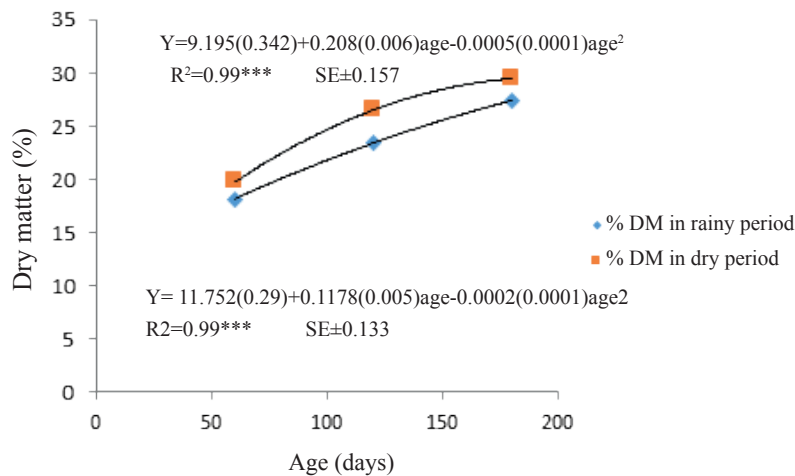


Figure 3. Dry matter percentage of *Tithonia diversifolia* in both seasons

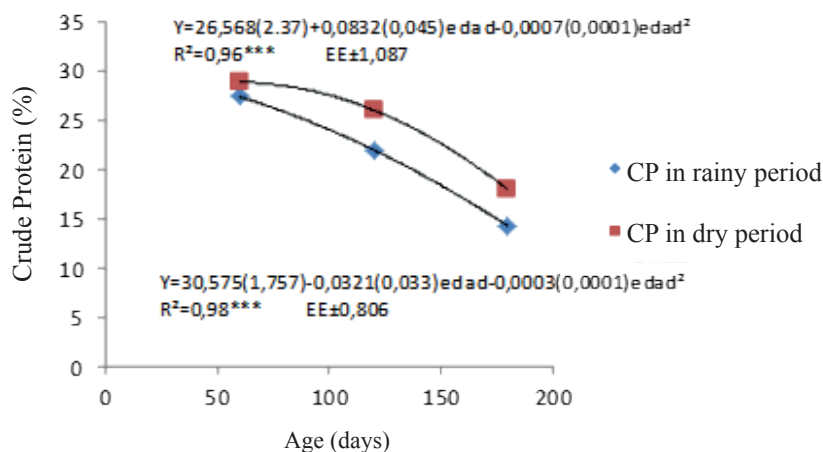


Figure 4. Crude protein of *Tithonia diversifolia* in both seasons

The content of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) were increased ( $P < 0.001$ ), in both periods, with regrowth age of and quadratic regression equations were fitted between these indicators and the age (figures 5 and 6). The high value of lignin exceeds 20 % in rainy period and 18 % in dry season, although with 180 days of regrowth.

*In vitro* degradability of dry matter (IVDDM)

El contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina ácido detergente (LAD) se incrementaron ( $P < 0.001$ ) en ambos períodos con la edad de rebrote y se ajustaron ecuaciones de regresión cuadrática entre estos indicadores y la edad (figuras 5 y 6). Sobresale el alto valor de la lignina mayor del 20 % en el período lluvioso y de 18 % en el poco lluvioso, aunque con 180 días de rebrote.

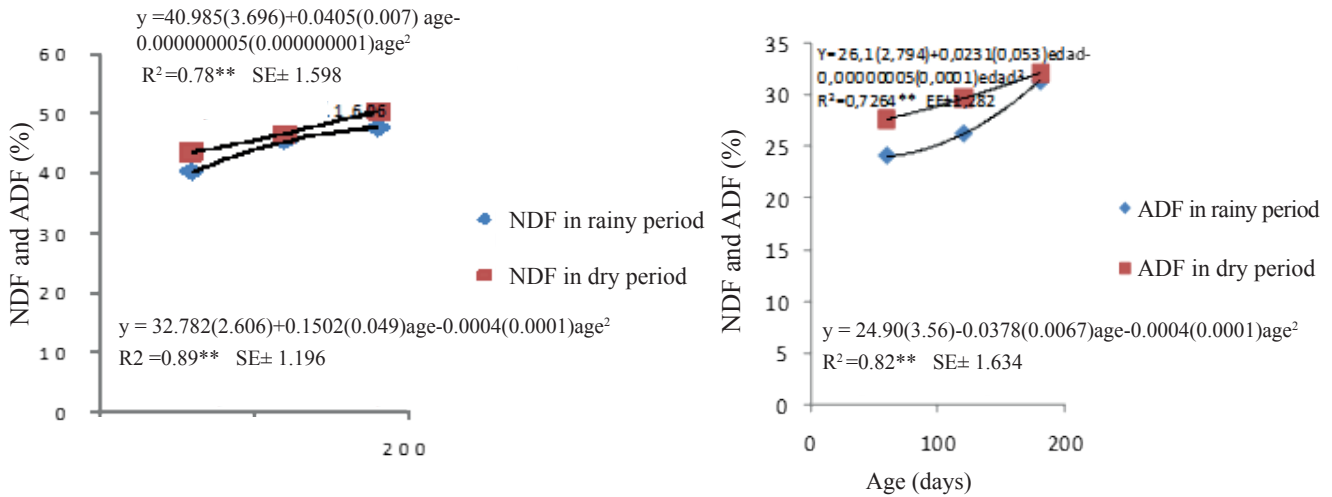


Figure 5. Neutral detergent fiber and acid detergent fiber of *Tithonia diversifolia* in both seasons

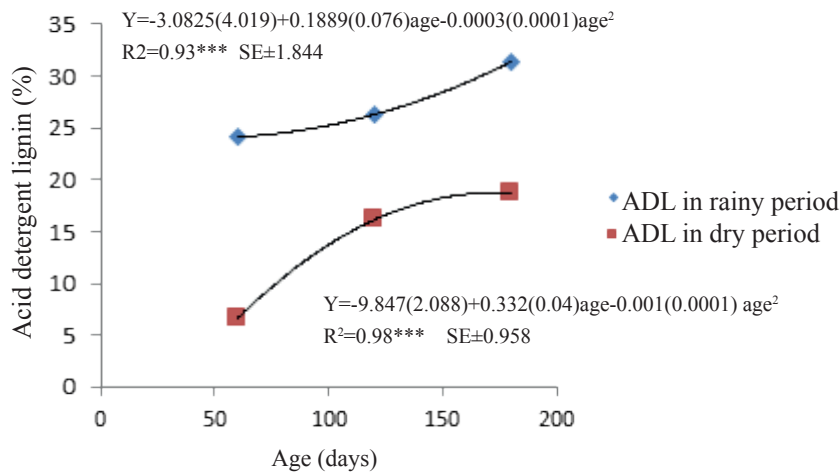


Figure 6. Acid detergent lignin of *Tithonia diversifolia* in both seasons

decreased ( $P < 0.001$ ) with the regrowth age in both seasonal periods and it is highlighted its value superior to 60%. The best percentages were obtained in dry season and quadratic equations were fitted with age (figure 7).

The content of total phenols (TP), during the rainy period, increased up to 120 days of regrowth and then decreased up to 180 days, while in dry season, they increased ( $P < 0.001$ ) with the regrowth age and the highest values were reached at 120 days in the rainy period and at 180 days in dry season (12.36 and 6.43 g/kg DM, respectively). Total tannins (TT) had similar performance to the TP, their highest concentration was obtained in the rainy period at 120 days with 5.36 g / kgDM (figure 8).

The content of total condensed tannins (TCT) did

La degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) disminuyó ( $P < 0.001$ ) con la edad de rebrote en ambos períodos estacionales y se destaca su valor superior a 60 %. Los mejores porcentajes se obtuvieron en el período poco lluvioso y se ajustaron ecuaciones cuadráticas con la edad (figura 7).

El contenido de fenoles totales (FT), durante el período lluvioso se incrementó hasta los 120 días de rebrote para después disminuir hasta los 180 días, mientras que en el poco lluvioso se incrementaron ( $P < 0.001$ ) con la edad de rebrote y los mayores valores se alcanzaron a los 120 días en el período lluvioso y a los 180 días en el poco lluvioso (12.36 y 6.43 g/kg MS, respectivamente). Los taninos (TT) totales tuvieron similar comportamiento a los FT, su mayor concentración se obtuvo en el período lluvioso a los 120 días con 5.36 g/kgMS (figura 8).

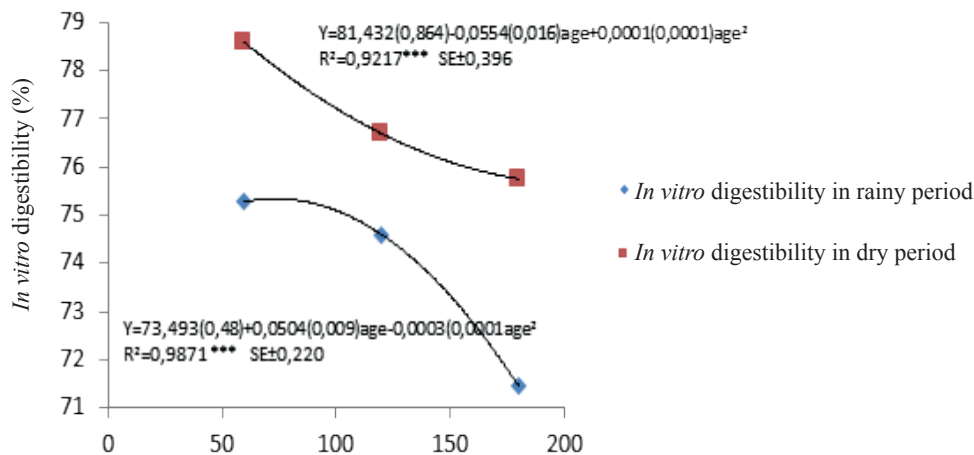


Figura 7. *In vitro* dry matter digestibility of *Tithonia diversifolia* in both seasons

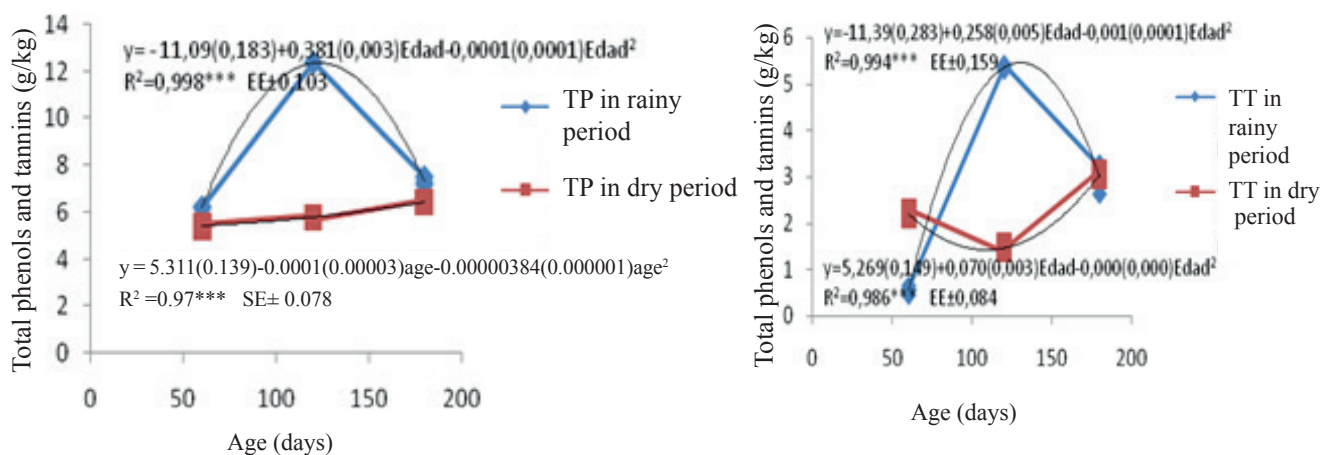


Figure 8. Total phenols and tannins of *Tithonia diversifolia* in both seasons

not vary between 60 and 120 days and then increased up to 180 days in the rainy period ( $P < 0.001$ ), while in dry season, they increased with the maturity of the plant (figure 9). The highest values (14.55 and 13.08 g/kgDM) were obtained at 180 days of regrowth in the rainy and dry season, respectively, and the quadratic equations were adjusted.

The content of free condensed tannins (FCT) increased until 120 days and then decreased until 180 days in the rainy period, while in dry season, they always increased until 180 days. The total bound condensed tannins (TBCT) decreased up to 120 days and then increased up to 180 days in rainy period and, in dry season, they increased until 180 days. Quadratic regression equations were fitted between these indicators and the age in both seasonal periods and highlights the values of 4.07 g/kgDM at 120 days for (FCT) and 11.16 g/kgDM at 60 days for (TBCT) during dry period (figure 10).

El contenido de taninos condensados totales (TCT), no varió entre 60 y 120 días para después incrementarse hasta los 180 días en el período lluvioso ( $P < 0.001$ ), mientras que en el poco lluvioso aumentaron con la madurez de la planta (figura 9). Los mayores valores (14.55 y 13.08 g/kgMS) se obtuvieron a los 60 y 180 días de rebrote en el período lluvioso y poco lluvioso, respectivamente y se ajustaron las ecuaciones cuadráticas.

El contenido de los taninos condensados libres (TCL) se incrementó hasta los 120 días y después disminuyó hasta los 180 días en el período lluvioso, mientras que en el poco lluvioso siempre aumentaron hasta los 180 días. Los taninos condensados ligados totales (TCLT) disminuyeron hasta los 120 días para después aumentar hasta los 180 días en el período lluvioso y en el poco lluvioso se incrementaron hasta los 180 días. Se ajustaron ecuaciones de regresión cuadráticas entre estos indicadores y la edad en ambos períodos estacionales y se destacan los valores de 4.07 g/kgMS a los 120 días para (TCL) y de 11.16g/kgMS a los 60 días para (TCLT) durante el período lluvioso (figura 10).

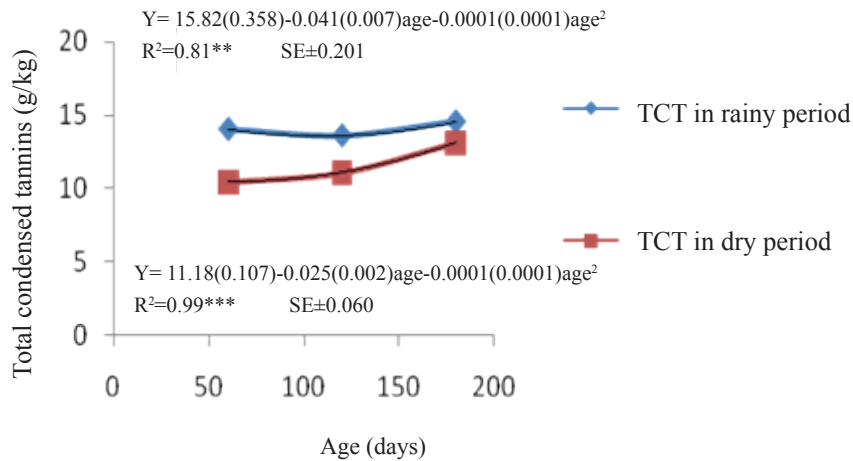


Figure 9. Total condensed tannins of *Tithonia diversifolia* in both seasons

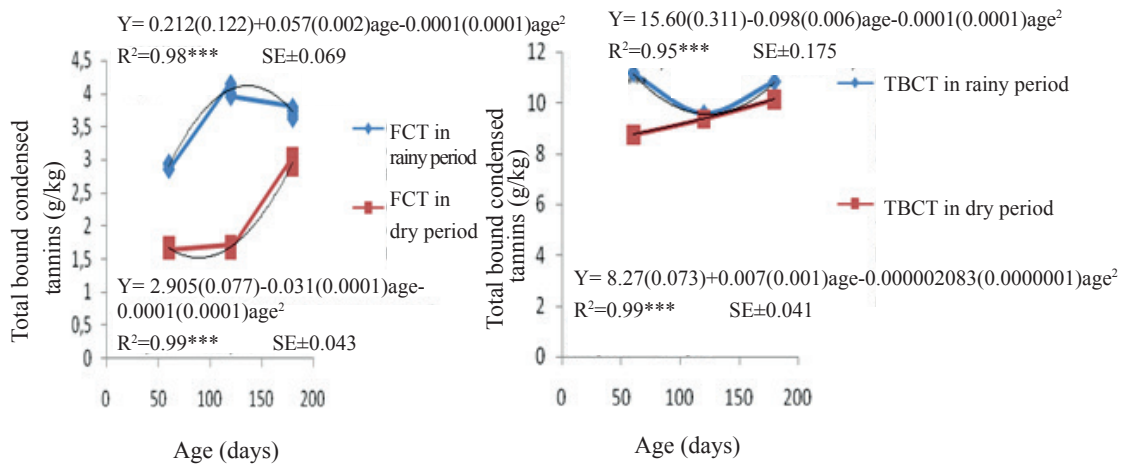


Figure 10. Free and total bound condensed tannins of *Tithonia diversifolia* in both seasons

## Discussion

The deterioration of livestock ecosystems requires profound transformations in their exploitation, based on agro-ecological principles, where livestock systems are considered as an ecosystem and not as a simple technical-economic management, in such a way that its members (plants, animals, soil, climate, humans and technologies) are synchronically connected and allow their effective, efficient and productive use with positive economic, social and environmental results. This new vision requires knowledge of the laws that govern the functioning of each of the elements and processes that make up the system, with the purpose of maximizing the energy flow and material recycling (Del Pozo *et al.* 2008 and Gallego-Castro *et al.* 2017).

*Tithonia* genus is widely distributed in countries such as El Salvador, Ceylon, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, Honduras, India, Mexico, Panama and Venezuela (Ríos 1999), which indicates its ability to adapt to different climate and soil conditions, so it is expected that due to the genotype-environment interaction different ecotypes are found.

Based on this principle, *Tithonia diversifolia* variety could be useful for the livestock systems of Granma

## Discusión

El deterioro de los ecosistemas ganaderos requiere de profundas transformaciones en su explotación, basadas en principios agroecológicos, donde los sistemas ganaderos se consideren como un ecosistema y no como una simple gestión técnico-económica, de tal forma que sus integrantes (plantas, animales, suelo, clima, hombre y tecnologías) estén entrelazados sincrónicamente y permitan su utilización efectiva, eficiente y productiva con resultados económicos, sociales y ambientales positivos. Esta nueva visión requiere del conocimiento de las leyes que rigen el funcionamiento de cada uno de los elementos y procesos que forman el sistema, con el propósito de maximizar el flujo de energía y el reciclaje de materiales (Del Pozo *et al.* 2008 y Gallego-Castro *et al.* 2017).

El género *Tithonia* tiene amplia distribución en países como El Salvador, Ceilán, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, Honduras, India, México, Panamá y Venezuela (Ríos 1999) lo cual indica su capacidad de adaptación a diferentes condiciones de clima y suelo, por lo que es de esperar que debido a la interacción genotipo-ambiente se encuentren diversos ecotipos.

Basado en este principio se estudió la *Tithonia diversifolia* variedad que pudiera ser de utilidad para los sistemas ganaderos de la provincia Granma, sobre todo



province was studied, mainly because there is not enough information available about its performance under the specific conditions of Valle del Cauto.

Ruiz *et al.* (2010) conducted a survey in six provinces of Cuba and demonstrated the variability in growth and development indicators among the 29 collections made and established four groups with similar characteristics in the components of each group. Subsequently, when studying growth dynamics of two accessions, Ruiz *et al.* (2012ab) established that green weight of the accession 23 increased up to 18 weeks of regrowth, while accession 10 increased until week 12 and then decreased.

The increase of yield and biomass of *Tithonia diversifolia* with the age of regrowth can be attributed, among other factors, to the increase of the photosynthetic process and the synthesis of metabolites necessary for growth and development of plants, which brings about accumulation of dry matter (Romero and Leyva 2014).

Gallego-Castro *et al.* (2017) obtained, in *Tithonia diversifolia*, 20.75 and 4.95 t/ha of biomass and dry matter, respectively. These values are much lower than those of this research in the three studied regrowth ages, which can be determined by differences in management and edaphoclimatic conditions prevailing in the researches.

The percent of DM increased with the regrowth age determined, among other aspects, by the increase in yield as the plant ages and, with it, the increase of structural components of the plant. The studies of Meza *et al.* (2014) showed dry matter values of 19.1 %, similar to those found in this research at the age of 60 days, although climatic and soil conditions were different, which shows good adaptation of this species to the different edaphoclimatic conditions.

On the other hand, Herrera (2005) reported that as the plant advances in maturity, a physiological process occurs in the pastures and forages related to the control of water balance in the plant, in such a way that in the presence of humidity stress, they close the stomata and transpiration is reduced to avoid water loss, with the consequent increase of dry matter content. This is likely to help explain the performance of dry matter percent in this experiment.

The decrease of protein with regrowth age could be related to the reduction of the synthesis of protein compounds and to the increase of the synthesis of structural carbohydrates (cellulose and hemicellulose), although other factors like water availability and soil nitrogen could influence this performance (Meza *et al.* 2014 and Gómez-Gurrola *et al.* 2017).

In the present research, protein values were higher than 14 %, which was encouraging since no irrigation or fertilization was used. However, Meza *et al.* (2014), in this same species, obtained values of 18 % at 120 days of regrowth in dry season. These results were

porque no se dispone de suficiente información sobre su comportamiento en las condiciones específicas del Valle del Cauto.

Ruiz *et al.* (2010) realizaron una prospección en seis provincias de Cuba y demostraron la variabilidad en los indicadores del crecimiento y desarrollo entre las 29 colectas realizadas y establecieron cuatro grupos con características similares en los componentes de cada grupo. Con posterioridad, al estudiar las dinámicas de crecimiento de dos accesiones Ruiz *et al.* (2012ab) establecieron que el peso verde de la accesión 23 se incrementó hasta las 18 semanas de rebrote, mientras que la accesión 10 lo hizo hasta la semana 12 para después disminuir.

El incremento del rendimiento y la biomasa de la *Tithonia diversifolia* con la edad de rebrote se puede atribuir, entre otros factores, al aumento del proceso fotosintético y la síntesis de metabolitos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que trae consigo acumulación de materia seca (Romero y Leyva 2014).

Gallego-Castro *et al.* (2017) obtuvieron en *Tithonia diversifolia* 20.75 y 4.95 t/ha de biomasa y materia seca, respectivamente valores estos muy por debajo de los reflejados en esta investigación en las tres edades de rebrotos que se estudiaron lo cual puede estar determinado por las diferencias en el manejo y las condiciones edafoclimáticas imperantes en las investigaciones.

El por ciento de MS aumentó con la edad de rebrote determinado, entre otros aspectos, por el incremento del rendimiento al envejecer la planta y con ello el aumento de los componentes estructurales de la planta. Los estudios de Meza *et al.* (2014) mostraron valores de materia seca de 19.1 %, similares a los encontrados en esta investigación a la edad de 60 días, aunque las condiciones climáticas y de suelo fueron diferentes, lo que demuestra buena adaptación de esta especie a las diferentes condiciones edafoclimáticas.

Por otro lado, Herrera (2005) informó que en la medida que la planta avanza en madurez se produce un proceso fisiológico en los pastos y forrajes relacionado con el control del balance hídrico en la planta, de forma tal que ante un estrés de humedad se cierran los estomas y se reduce la transpiración para evitar la pérdida de agua, con el consiguiente aumento del contenido de materia seca. Es probable que esto ayude a explicar el comportamiento del por ciento de materia seca en este experimento.

La disminución de la proteína con la edad de rebrote pudiera estar relacionada con la reducción de la síntesis de compuestos proteicos y al incremento de la síntesis de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa), aunque otros factores como la disponibilidad de agua y de nitrógeno del suelo, pudieran influir en este comportamiento (Meza *et al.* 2014 y Gómez-Gurrola *et al.* 2017).

En la presente investigación los valores de proteína fueron superiores a 14 %, lo que resultó alentador ya que no se empleó riego ni fertilización. Sin embargo, Meza *et al.* (2014) en esta misma especie obtuvieron valores de 18 % a los 120 días de rebrote en el período poco lluvioso, resultados un tanto por debajo a los

a little lower than those shown in this research due to the species, climatic and soil conditions.

The crude protein is obtained by multiplying total nitrogen content by the factor 6.25, so that this value contains all forms of nitrogen (organic and inorganic) present in the plant. Therefore, it would be essential to conduct future research to quantify the different forms of nitrogen such as  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  and true protein, among others, which would improve plant management and make diets that do not produce alterations in the animal that consumes it.

The increase of ADF and NDF with age could be related to the physiological and anatomical changes that occur when the plant ages, which causes the decrease in the proportion of cytoplasmic cellular content. The cellular lumen is reduced with its soluble components and the fibrous components are increased (Rodríguez 2017). This is accentuated much more as the yield increases, due to the water balance of the plant and the amount of nitrogen available in the soil, among other factors.

The values of these constituents were important, because at advanced ages, the NDF and ADF did not exceed 50 and 32 %, respectively. Comparing these values with those reported in *Cenchrus purpureus* (Herrera and Ramos 2015), in several grasses (Ramírez 2010) and in legumes and trees (Verdecia 2015), they are inferior and this represents an advantage of *Tithonia*, since it does not accumulate much amount of fiber in its constitution and it is likely that the chemical structure of that fiber is different, which can influence on digestive efficiency when consumed by the animal.

The increase of lignin as the plant ages may be related to the degree of stiffness of the plant, resistance of vascular tissues, conduction of solutes, water and mineral salts necessary for its survival (Gutiérrez *et al.* 2015). Herrera *et al.* (2017a) found positive and significant correlations between lignin content and maximum temperature, rainfall and its distribution. However, the values obtained in this research are higher than those reported in the literature for other grass and legume species (Ramírez 2010, Herrera and Ramos 2015 and Verdecia 2015).

Lignin is one of the plant components with high complexity and little studied from the point of view of its properties and chemical composition. However, despite its theoretical and practical importance, the monomeric composition of lignin, in most of the tropical grass and legume species, is unknown. Another important element related to lignin is its chemical structure. Valenciaga *et al.* (2009) studied the chemical components of lignin in *Pennisetum purpureum* and established that its components hydroxybenzaldehyde, vanillin and syringylaldehyde were increased with the regrowth age as well as total lignin content. In addition, they pointed out that each of them increased

mostrados en esta investigación debido al factor especie, las condiciones climáticas y de suelo.

La proteína bruta se obtiene al multiplicar el contenido de nitrógeno total por el factor 6.25, por lo que ese valor contiene todas las formas de nitrógeno (orgánicas e inorgánicas) presente en la planta. Por ello, sería de vital importancia realizar futuras investigaciones para cuantificar las diferentes formas de nitrógeno como  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y proteína verdadera, entre otros, lo que permitiría mejorar el manejo de la planta y conformar dietas que no produzcan alteraciones en el animal que la consume.

El incremento de la FDA y FDN con la edad pudiera estar relacionado con los cambios fisiológicos y anatómicos que ocurren al envejecer la planta, lo que provoca la disminución de la proporción del contenido celular citoplasmático; se reduce el lumen celular con sus componentes solubles y se incrementa los componentes fibrosos (Rodríguez 2017). Esto se acentúa mucho más al incrementarse el rendimiento, debido al balance hídrico de la planta y cantidad de nitrógeno disponible en el suelo, entre otros factores.

Resultaron importantes los valores de estos constituyentes, ya que a edades avanzadas la FDN y FDA no superaron 50 y 32 %, respectivamente. Si se comparan estos valores con los informados en *Cenchrus purpureus* (Herrera y Ramos 2015), en varias gramíneas (Ramírez 2010) y en leguminosas y arbóreas (Verdecia 2015) resultan inferiores y esto representa una ventaja de la *Tithonia*, ya que no acumula gran cantidad de fibra en su constitución y es probable que la estructura química de esa fibra sea diferente lo que puede influir en la eficiencia digestiva cuando es consumida por el animal.

El aumento de la lignina al envejecer la planta pudiera estar relacionado con el grado de rigidez de la planta, la resistencia de los tejidos vasculares, la conducción de solutos, agua y sales minerales necesarias para su supervivencia (Gutiérrez *et al.* 2015). Herrera *et al.* (2017a) encontraron correlaciones positivas y significativas entre el contenido de lignina y la temperatura máxima, las lluvias y su distribución. Sin embargo, los valores obtenidos en la presente investigación son superiores a los informados en la literatura para otras especies de gramíneas y leguminosas (Ramírez 2010, Herrera y Ramos 2015 y Verdecia 2015).

La lignina es uno de los componentes de las plantas de alta complejidad y poco estudiada desde el punto de vista de sus propiedades y composición química. Sin embargo, a pesar de su importancia teórica y práctica, se desconoce la composición monomérica de la lignina en la mayoría de las especies de gramíneas y leguminosas tropical. Otro elemento de importancia relacionado con la lignina es su estructura química. Valenciaga *et al.* (2009) estudiaron los componentes químicos de la lignina de *Pennisetum purpureum* y establecieron que sus componentes hidroxibenzaldehído, vainillina y siringilaldehído se incrementaron con la edad de rebrote al igual que el contenido de lignina total. Además,

with age in a specific way, as well as its influence on plant degradability. Considering this criterion, it is probable that monomeric composition of *Tithonia* is totally different and its constituent chain has greater length and weight. This probable hypothesis needs future research.

Total degradability of forage mass is a function of the relative proportion of each component of the plant and its individual degradability. On the other hand, the reduction of degradability with the increase of maturity is also influenced by the increase of structural components. In tropical pastures, in the first stages of growth, they present a thin cell wall, with little fiber, allowing an easy rupture and short digestion times. After maturity increases, the vascular structures of the leaves become thicker, as well as the vascular tissue and the sclerenchyma, leaves and stems are lignified and become physically stronger and difficult to reduce in size through the action of ruminal microorganisms, aspects that may be different in shrub species (Ortiz-González *et al.* 2014).

Degradability of dry matter decreased with age, although it is important to note that the values exceeded 70 % in the two seasonal periods, which undoubtedly is very important for the intake and use of animals with this forage. However, this result is not related to the contents of NDF, ADF or ADL, which are relatively high, especially lignin. Previously, the negative effect of lignin and its monomeric units on the degradability of forages had been reported (Valenciaga *et al.* 2009), which does not seem to be fulfilled in the present research. Therefore, specific future experiments are needed to clarify this performance.

Information on the content and performance of secondary metabolites in tropical forage grasses and legumes is not extensive, especially in *Tithonia*. However, in this research, a peculiar performance of TP, TT, FCT and TBCT was found in the rainy period.

Regarding secondary metabolites (figures 8, 9 and 10), the poorly defined performance of the TP, as well as TT, while TBCT had a tendency to decrease with the regrowth age during the rainy period. However, FCT and BCT showed an increase with age. This performance could be related, according to Makkar *et al.* (1988), to the link between the concentration of tannins with the increase of biomass maturity, where the values of tannins do not remain static and that, in turn, concentrations were negatively related to the natural processes of senescence.

García *et al.* (2008), when studying different ecotypes of *leucaena*, found values of TP and CT of 55.5 and 55.2 g/kg DM, respectively. These authors stated that the tannin content may be influenced by the plant genotype and the environmental factors causing stress, among which water scarcity stands out. Romero and Leyva (2014), when studying the concentration of

señalaron que cada uno de ellos se incrementó de forma específica con la edad, así como su influencia en la degradabilidad de la planta. Si se parte de este criterio es probable que la composición monomérica de la *Tithonia* sea totalmente diferente y su cadena constitutiva tenga mayor longitud y peso. Esta probable hipótesis necesita de investigaciones futuras.

La degradabilidad total de la masa forrajera es una función de la proporción relativa de cada componente de la planta y de su degradabilidad individual. Por otra parte, la reducción de la degradabilidad con el incremento de la madurez también está influida por el aumento de los componentes estructurales. En los pastos tropicales en los primeros estadios de crecimiento presentan la pared celular delgada, con poca fibra, permitiendo la fácil ruptura y tiempos cortos de digestión. Cuando incrementa la madurez, las estructuras vasculares de las hojas se hacen más gruesas, al igual que el tejido vascular y el esclerénquima, tanto las hojas como los tallos se lignifican y se hacen físicamente más fuertes y difíciles de reducir en tamaño mediante la acción de los microorganismos ruminales, aspectos estos que pueden ser diferentes en las especies arbustivas (Ortiz-González *et al.* 2014).

La degradabilidad de la materia seca disminuyó con la edad, aunque es importante destacar que los valores sobrepasaron el 70 % en los dos períodos estacionales, lo que sin duda es de gran importancia para el consumo y aprovechamiento que el animal hace de este forraje. Sin embargo, este resultado no guarda relación con los contenidos de FDN, FDA ni LAD los cuales son relativamente elevados, en especial la lignina. Con anterioridad se había informado el efecto negativo de la lignina y sus unidades monoméricas en la degradabilidad de los forrajes (Valenciaga *et al.* 2009), lo cual no parece cumplirse en toda su extensión en la presente investigación. Por ello, se precisa de experimentos específicos futuros que permitan esclarecer este comportamiento.

La información sobre el contenido y comportamiento de los metabolitos secundarios en gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales no es amplia, en especial en *Tithonia*. No obstante, en la presente investigación se encontró un comportamiento peculiar de FT, TT, TCL y TCLT en el período lluvioso.

En cuanto a los metabolitos secundarios (figuras 8, 9 y 10) el comportamiento poco definido de los FT, así como los TT, mientras que los TCLT durante el período lluvioso tuvieron una tendencia a la disminución con la edad de rebrote. Sin embargo, los TCT y TCL mostraron un incremento con la edad. Este comportamiento pudiera estar relacionado según Makkar *et al.* (1988), al nexo existente entre la concentración de los taninos con el incremento de la madurez de la biomasa, donde los valores de los taninos no permanecen estáticos y que, a su vez, las concentraciones se encontraban relacionada negativamente con los procesos naturales de senescencia.

García *et al.* (2008) al estudiar diferentes ecotipos de *Leucaena* encontraron valores de FT y TC de 55.5 y

phenols and condensed tannins in *Gliricidia sepium*, found that the effect of season varied according to the nature of tannins, with the highest values of free and bound condensed tannins to the fiber (6.25 and 7.99 g/kgDM, respectively) during the rainy season.

On the other hand, Verdecia *et al.* (2014), when studying secondary metabolites TP, TT, TCT, TBCT and FCT in *Neonotonia wightii*, found that they increased with the regrowth age, while Herrera *et al.* (2017b), in *Leucaena leucocephala*, reported significant correlations of these metabolites with maximum temperature, minimum temperature, total rainfall and their distribution. This indicates the specific performance of these metabolites before climatic factors and genotype.

The increase in total phenols, total tannins and total condensed tannins is related to the increase of maturity of biomass and to the increase of lignin concentration (Makkar 2003b). Wambui *et al.* (2006), when evaluating the chemical composition of *Tithonia diversifolia*, found values for total phenols and total tannins of 10.6 and 5.6 g/kg DM, respectively. These results are similar to those obtained in this study during the rainy season.

Miller and Ehlke (1996) and McMahon (2000), when studying the concentration of condensed tannins, argued that this compound is controlled, primarily, by genetic factors and, secondly, by environmental variations. In general, its concentration increased with maturity and is associated with the increase of lignin in the tissues, which can cause a decrease of forage degradability, when high values are reached. In forage legumes, it has been reported that, from the total of condensed tannins, 90 % are total bound tannins, and approximately 70 % are bound to the protein, since, the higher the concentration of total condensed tannins, the greater the amount of tannins coupled to proteins, due to the affinity they have for this nutrient (Jackson *et al.* 1996) and also related to the reduction of cell wall degradability. Differences presented by tannins, in general, among the experimental periods, in this study, can be attributed to the variations of environmental conditions, to plant nutrition and to probable reactions of tannins with other compounds present, among other factors.

Hydrolyzable tannins can cause gastric bleeding and damage to the kidneys, but condensed tannins are related to the probable better digestion of proteins in ruminants and can protect them against helminthiasis (Makkar 2003b). Chew *et al.* (2011) noted the antioxidant and bactericidal characteristics, among others, of some of them. In addition, Makkar *et al.* (2007) reported that secondary metabolites have aroused interest in foods for human consumption, due to its potential to prevent cancer, circulatory disorders and viral infections, antioxidants and antibacterial,

55.2 g/kgMS, respectivamente. Dichos autores plantearon que el contenido de taninos puede estar influenciado por el genotipo de planta y por los factores ambientales causantes de estrés, dentro de los cuales sobresale la escasez de agua. Romero y Leyva (2014) al estudiar la concentración de fenoles y taninos condensados en *Gliricidia sepium*, encontraron que el efecto del período del año varió según la naturaleza de los taninos, con los mayores valores de taninos condensados libres y ligados a la fibra (6.25 y 7.99 g/kgMS, respectivamente) durante el período lluvioso.

Por otro lado, Verdecia *et al.* (2014) al estudiar los metabolitos secundarios FT, TT, TCT, TCLT y TCL en *Neonotonia wightii* encontraron que estos se incrementaron con el avance de la edad de rebrote, mientras que Herrera *et al.* (2017b) en *Leucaena leucocephala* informaron correlaciones significativas de estos metabolitos con la temperatura máxima, temperatura mínima, lluvia total y su distribución. Esto indica el comportamiento específico de estos metabolitos ante los factores climáticos y el genotipo.

El aumento de los fenoles totales, taninos totales y taninos condensados totales está relacionado con el incremento de la madurez de la biomasa y con el aumento de la concentración de lignina (Makkar 2003b). Wambui *et al.* (2006), al evaluar la composición química de *Tithonia diversifolia*, encontraron valores para los fenoles totales y taninos totales de 10.6 y 5.6 g/kg MS, respectivamente. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio durante el periodo lluvioso.

Miller y Ehlke (1996) y McMahon *et al.* (2000), al estudiar la concentración de los taninos condensados argumentaron que, este compuesto está controlado, principalmente, por los factores genéticos y, en segundo término, por las variaciones ambientales. En general, su concentración aumentó con la madurez y está asociada al incremento de lignina en los tejidos, lo que puede causar la disminución de la degradabilidad del forraje, cuando alcanzan altos valores. En leguminosas forrajeras se han informado que del total de taninos condensados el 90 % son taninos ligados totales, y aproximadamente 70 % están vinculados a la proteína, ya que, a mayor concentración de los taninos condensados totales, mayor será la cantidad de estos acoplados a las proteínas, debido a la afinidad que tienen por este nutriente (Jackson *et al.* 1996) y lo relacionaron también con la reducción de la degradabilidad de la pared celular. Las diferencias que presentaron los taninos, en general, entre los períodos experimentales, en este estudio, se pueden atribuir a las variaciones de las condiciones medioambientales, a la nutrición de la planta y a las probables reacciones de los taninos con otros compuestos presentes, entre otros factores.

Los taninos hidrolizables pueden causar hemorragias gástricas y daños en los riñones, pero los taninos condensados están relacionados con la probable mejor digestión de las proteínas en los rumiantes y los pueden proteger contra la helmintiasis (Makkar 2003b). Chew *et al.* (2011) señalaron las características antioxidantes y bactericidas, entre otras, . Además, Makkar *et al.*

antiviral and antiparasitic effects, among other properties. However, their action mechanisms are not fully established. Therefore, it would be important to study these elements in plants used in Cuba for animal nutrition and human health.

### Conclusions

Regression equations were established that explain the close relationship of age with yield, chemical composition, secondary metabolites and dry matter degradability in both seasonal periods.

The values of the phenolic compounds are below those reported in the edible fraction of some legumes of the production systems in the tropics, which demonstrates the quality of this species to be used in animal feed.

Future research is needed to explain the performance of some phenolic compounds in the rainy season, as well as the relationship of these compounds with the degradability of dry matter. In addition, expand the field of research to other aspects of management and Physiology of plant, as well as other aspects related to the maximum values permissible to the diet of the animal without negative effects on the production of milk and meat, and their health.

### Acknowledgements

This research was carried out thanks to the collaboration of Secundino López Puente, PhD, of the Department of Animal Production of the University of León, Experimental Agricultural Station, CSIC of León and the Spanish Agency of International Cooperation for the financing of a grant (MAEC-AECID) for the research stay.

(2007) informaron que los metabolitos secundarios han despertado el interés en alimentos para consumo humano, debido a su potencial para prevenir cáncer, desórdenes circulatorios e infecciones virales, antioxidantes y efectos antibacterias, antiviral y antiparásitos, entre otras propiedades. Sin embargo, sus mecanismos de acción no están totalmente establecidos. Por esto, sería importante estudiar estos elementos en las plantas utilizadas en Cuba para la nutrición animal y la salud humana.

### Conclusiones

Se establecieron ecuaciones de regresiones que explican la estrecha relación de la edad con el rendimiento, composición química, metabolitos secundarios y la degradabilidad de la materia seca en ambos períodos estacionales.

Los valores de los compuestos fenólicos están por debajo de los reportados en la fracción comestible de algunas leguminosas de los sistemas de producción en el trópico, lo que demuestra la calidad de esta especie para ser utilizada en la alimentación animal.

Se precisa de futuras investigaciones que permitan explicar el comportamiento de algunos compuestos fenólicos en el período lluvioso, así como la relación de estos compuestos con la degradabilidad de la materia seca. Además, ampliar el campo de investigación hacia otros aspectos del manejo y la Fisiología de la planta, así como de otros aspectos relacionados con los valores máximos permisibles en la dieta del animal sin que se manifiesten efectos negativos en la producción de leche y carne, y su salud.

### Agradecimientos

Esta Investigación se llevó a cabo gracias a la colaboración del PhD. Secundino López Puente del Departamento de Producción Animal de la Universidad de León, Estación Agrícola Experimental, CSIC de León y a la Agencia Española de Cooperación Internacional por el financiamiento de una beca (MAEC-AECID) para la estancia de investigación.

### References

- Ankom Technology (2000). Procedures for fiber and *in vitro* analysis. Available: <http://www.ankom.com>. [Consulted: November 16, 2004]
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17 th Ed. Ass. Off. Anal. Chem. Washington, D.C. USA. 2:777-778.
- Chew, Y., Chan, E., Tan, P., Lim, Y., Stanslas, J. & Goh, J. 2011. Assessment of phytochemical content, polyphenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of Leguminosae medical plants in Peninsular Malaysia. Available:<http://www.biomedcentral.com/14726882/11/12>. [Consulted:12/12/2017].
- Del Pozo, P. P., Herrera, R. S. & Blanco, F. 2008. Bases fisiológicas del manejo de los pastos. In: Andrés Voisin. Experiencia y aplicación de su obra en Cuba Parte IV. Dinámica del pastizal. Ed. M. Milera, Matanzas, Cuba. p 371.
- Gallego-Castro, L.A., Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala, J. 2017. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1): 213-222. DOI:10.15517/am.v28i1.21671, ISSN 2215-3608.
- García D.E., Wencomo, H.B., González, M.E., Medina, M.G., Cova, L.J. & Spengler, I. 2008. Evaluación de diecinueve ecotipos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Tropical*. 26(1) 1-10.
- Goering, M.K. & P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook No. 379*, USDA, Washington DC.
- Gómez-Gurrola, A., Del Sol-García, G., Sanginés-García, L., Loya-Olguín, L., Benítez-Meza, A. & Hernández-Ballesteros, A. 2017. Rendimiento en canal de corderos de pelo, alimentados con diferentes proporciones de *Tithonia diversifolia* y

- Pennisetum spp. Abanico Veterinario. 7(2): 34-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2017.72.3>, ISSN 2448-6132.
- Guerra, C. W., Cabrera, A. & Fernández, L. 2003. Criteria for the selection of statistical models in scientific research. Cuban J. Agric. Sci. 37(1): 3–10, ISSN: 2079-3480.
- Gutiérrez, D., Borjas-Rojas, E., Rodríguez-Hernández, R., Rodríguez, Z., Stuart, R. & Sarduy, L. 2015. Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera* Avances en Investigación Agropecuaria. 19(3): 7-16, ISSN: 0188789-0.
- Hernández, A., Pérez, J.M. & Boch, O. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. AGRINFOR-MINAG, Cuba.p.64.
- Herrera, R.S. 2005. Aspectos fisiológicos del crecimiento de los pastos. In: Manual de Pastos y Forrajes. Eds. Idalmis Rodríguez y R.S. Herrera. EDICA, La Habana. CR-ROM. p. 1-103.
- Herrera, R.S. & Ramos, N. 2015. Factores que influyen en la producción de biomasa y calidad. In: Producción de biomasa de variedades y clones de *Pennisetum purpureum* para la ganadería. Ed. R.S. Herrera, EDICA, Mayabeque, Cuba. p. 87-131.
- Herrera, R.S., Verdecia, D.M. Ramírez, J. L., García, M. & Cruz, A. M. 2017b. Secondary metabolites of *Leucaena leucocephala*. Their relationship with some climate elements, different expressions of digestibility and primary metabolites. Cuban J. Agric. Sci. 51(1): 107–116. ISSN: 2079-3480.
- Herrera, R.S., Verdecia, D.M., Ramírez, J.L, García, M. & Cruz, A.M. 2017a. Relation between some climatic factors and the chemical composition of *Tithonia diversifolia*. Cuban J. Agric. Sci. 51(2):271-279. ISSN: 2079-3480.
- Holguín-Castaño, V., Ortíz-Grisalez, S., Velasco-Navia, A. & Mora-Delgado, J. R. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en Candelaria, Valle del Cauca. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. 62(2): 57–72, ISSN: 2357-3813.
- Jackson, F., Barry, T., Lascano, C. & Palmer, B. 1996. The extractable and bound condensed tannin content of leaves for tropical tree, shrub and forage legumes. J. Sci. Food Agric. 17(2):103-110
- Makkar, H.P.S. 2003a. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. p 102.
- Makkar, H.P.S. 2003b. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Ruminant Research, 49(3):241–256, ISSN: 0921-4488.
- Makkar, H.P.S., Dawra, R.K. & Singh, B. 1988. Determination of both tannin and protein in a tannin-protein complex. J. Agric. Food Chem. 36(4):523-525.
- Makkar, H. P. S., Sánchez, M. & Speedy, A. W. 2007. Feed supplementation blocks. (ser. FAO animal production and health paper, no. ser. 164), Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 248 p., ISBN: 978-92-5-105438-3.
- Mauricio, R. M., Ribeiro, R. S., Silveira, S. R., Silva, P. L., Calsavara, L., Pereira, L. G. R. & Paciullo, D. S. 2014. *Tithonia diversifolia* for ruminant nutrition. Tropical Grasslands, 2(1): 82–84, ISSN: 2346-3775.
- McMahon, L., McAllister, T., Berg, B., Majak, W., Achanrya, S. & Popp, J. 2000. A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation and bloat in grazing cattle. Can. J. Plant Sci. 80(4):469-485.
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala, J. 2017. *Tithonia diversifolia*: especie for grazing in silvopastoral systems and methods for estimating consumption. Mesoamerican Agronomy, 28(1): 289–302, ISSN: 2215-3608.
- Meza, G. A., Loor, N. J., Sánchez, A. R., Avellaneda, J. H., Meza, C. J., Vera, D. F., Cabanilla, M. G., Liuba, G. A., Meza, J. S., Meza, F. F., Ramírez, M. A., Moncayo, O. F., Cadena, D.L., Villamar, R.O., Díaz, E., Rizzo, L.M., Rodríguez, J. M. & López, F. X. 2014. Inclusión de harinas de follajes arbóreos y arbustivos tropicales (*Morus alba*, *Erythrina poeppigiana*, *Tithonia diversifolia*, *Hibiscus rosa-sinensis*) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaeus) Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. 61(3): 258-269, ISSN: 0120-2952.
- Miller, P. & Ehlke, N. 1996. Condensed tannins in birdsfoot trefoil: genetic relationships with forage yield and quality in NC-83 germplasm. Euphytica. 92 (2): 383-391.
- Ortiz-González, A., Morales-Luna, K.A., Vásquez-Torres, W. & Gutiérrez-Espinosa, M.C. 2014. Digestibilidad aparente de *Tithonia diversifolia*, *Gliricidia sepium* y *Cratylia argentea* en juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. Orinoquia Suplemento. 18(2): 2014-219.
- Porter, L., Hrstich, L. & Chan, B. 1986. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. Phychem. 25(2):223-230.
- Ramírez, J.L. 2010. Rendimiento y valor nutritivo decinco gramíneas en el Valle del Cauto.PhD Thesis. Universidad de Granma, Cuba
- Ríos C.I. 1999. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. In: Sánchez M.D. y M. Rosales (Eds.) Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal N° 143. FAO, Roma. Italia. pp. 311-325.
- Rodríguez, I. 2017. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. Livestock Research for Rural Development. 29(4): 1-25.
- Rodríguez, L., Larduet, R., Martínez, R.O., Torres, V., Herrera, M., Medina, Y. & Noda, A. C. 2013. Modelación de la dinámica de acumulación de biomasa en *Pennisetum purpureum* vc. king grass en el occidente de Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 47(2): 119-124, ISSN: 2079-3480.
- Romero, A. & Leyva, A. 2014. La biomasa de los cultivos en el agroecosistema. Sus beneficios agroecológicos. Cultivos Tropicales. 35(1): 11-20, ISSN: 1819-4087.
- Ruiz, E., Febles, G., Galindo, J., Savón, L., Chongo, B., Torres, V., Cino, D., Alonso, J., Martínez, Y., Gutiérrez, D., Crespo, G., Mora, L. M., Scull, I., La O, O., González, J., Lok, S., González, N. & Zanora, A. 2014. *Tithonia diversifolia*, its possibilities in cattle rearing systems. Cuban J. Agric. Sci. 48(1): 79–82, ISSN: 2079-3480.

- Ruiz, T. E., Febles, G., Torres, V., González, J., Chang, G., Sarduy, L. & Díaz, H. 2010. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona centro-occidental de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(3): 291-296, ISSN: 2079-3480
- Ruiz, T.E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H. & González, J. 2012a. Use of modeling to study the growth of the plant material 23 of *Tithonia diversifolia*. *Cuban J. Agric. Sci.* 46(1): 23-29. ISSN: 2079-3480
- Ruiz, T.E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H., Sarduy, L. & González, J. 2012b. Use of modeling for studying the growth of *Tithonia diversifolia* collection 10. *Cuban J. Agric. Sci.* 46(3): 237-242, ISSN: 2079-3480.
- Valenciaga, D., Herrera, R.S. Oliveira Simoes, E., Chongo, B. & Torres, V. 2009. Monomeric composition of the lignin from *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 and its variation with regrowth age. *Cuban J. Agric. Sci.* 43(3):305-310. ISSN: 2079-3480
- Verdecia, D.M. 2015. Composición química y metabolitos secundarios en seis variedades de árboles, arbustos y leguminosas volubles en el Valle del Cauto. Ph.D. Thesis, Universidad de Granma, Granma, Cuba.
- Verdecia, D.M., Herrera, R.S., Ramírez, J.L., Leonard, I., Bodas, R., Prieto, N., Andrés, S., Giráldez, F.J., González, J.S., Arceo, Y., Paumier, M., Alvarez, Y. & López, S. 2014. Effect of re-growth age in the content of secondary metabolites from *Neonotonia wightii* in the Valle del Cauto, Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 48(2): 149–154.
- Visauta, B. 1998. SPSS para Window. Estadística multivariada. Vol. II. McGraw-Hill/Interamericana de España. Sav. p.358.
- Wambui, C., Abdulrazak, S. & Noordin, Q. 2006. The effect of supplementing urea treated maize stover with *Tithonia*, *Calliandra* and *Sesbania* to growing goats. *Livestock Research for Rural Development*. 18(2): 1-12.

**Received: April 15, 2018**