

Relation between some climatic factors and the chemical composition of *Tithonia diversifolia*

Relación entre algunos factores climáticos y la composición química de *Tithonia diversifolia*

R. S. Herrera¹, D. M. Verdecia², J. L. Ramírez², M. García¹ and Ana M. Cruz¹

¹Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, Mayabeque, Cuba

²Universidad de Granma, Carretera de Manzanillo, km 17½, Apartado Postal 85100, Bayamo, Cuba

Email: rherrera@ica.co.cu

During two years the relation between some climatic factors and the chemical composition of *Tithonia diversifolia* was studied, using a completely randomized design and five replications, in brown soil with carbonate. The chemical composition indicators consisted of: NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, organic matter, ashes, N, Si, P, Ca and Mg; while the climatic factors were the maximum, minimum and average temperatures, rain and number of rainy days. The results are expressed by the Pearson correlation coefficient in each seasonal period. In the rainy season, high and positive correlation coefficients were found between total rain and NDF, ADF, lignin and organic matter (0.87-0.97) and were negative for cellulose, cell content, ashes and N (between -0.88 and -0.97). The relation with the temperatures were variable and the highest value ($r = 0.92$) was recorded between the P and the average temperature. For the number of rainy days, there was a similar performance to that described above, but the coefficients were higher. In the dry season, there was a positive correlation between total rain and NDF, ADF, lignin, hemicellulose, ashes, P and Ca (0.52-0.88) and were negative with cellulose, cell content, organic matter and N (between -0.55 and -0.88). For the number of rainy days there was similar performance, but the coefficients were higher and there was relation with the Si ($r = -0.45$). The linear multiple equations were established between the chemical composition indicators and some climatic factors, with high values of the determination coefficient, low standard error and high significance. The chemical composition indicators showed a specific response to climatic factors in each seasonal period, but the higher effect, expressed by the correlation coefficient, is related to the amount and distribution of precipitation. It is recommended to determine the mathematical model that allows to predict the performance of each indicator of the chemical composition with the climatic factors, as well as to perform this study in other plants of economic importance for animal feeding and to extend it to the secondary metabolites or antinutritional factors.

Key words: *temperature, rain, nitrogen, fiber*

The plants productivity is determined by a group of factors inherent to the plant and external factors. In the first one are its biological characteristics and the second, the soil, climate and management.

In crops used for animal nutrition and especially grasses and forages, in addition to their productivity, it is necessary to consider their quality and nutritional value. For this, it is fundamental for its exploitation and use to find the balance between yield and its content of nutritive substances.

These aspects are currently particularly important,

Durante dos años se estudió la relación entre algunos factores climáticos y la composición química de *Tithonia diversifolia*, mediante un diseño completamente al azar y cinco réplicas, en suelo pardo con carbonato. Los indicadores de la composición química consistieron en: FDN, FAD, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular, materia orgánica, cenizas, N, Si, P, Ca y Mg; mientras que los factores climáticos fueron las temperaturas máximas, mínimas y media, lluvia y número de días con lluvia. Los resultados se expresan mediante el coeficiente de correlación de Pearson en cada período estacional. En el período lluvioso, se encontraron altos y positivos coeficientes de correlación entre la lluvia total y la FDN, FDA, lignina y materia orgánica (0.87-0.97) y resultaron negativos para la celulosa, contenido celular, cenizas y N (entre -0.88 y -0.97). Las relaciones con las temperaturas fueron variables y el mayor valor ($r = 0.92$) se registró entre el P y la temperatura media. Para el número de días con lluvia, hubo similar comportamiento al antes descrito, pero los coeficientes fueron mayores. En el período poco lluvioso, hubo correlación positiva entre la lluvia total y la FDN, FDA, lignina, hemicelulosa, cenizas, P y Ca (0.52-0.88) y fueron negativas con la celulosa, contenido celular, materia orgánica y N (entre -0.55 y -0.88). Para el número de días con lluvia hubo similar comportamiento, pero los coeficientes fueron mayores y se encontró relación con el Si ($r = -0.45$). Se establecieron las ecuaciones múltiples lineales entre los indicadores de la composición química y algunos factores climáticos, con elevados valores del coeficiente de determinación, bajo error estándar y alta significación. Los indicadores de la composición química mostraron respuesta específica ante los factores climáticos en cada período estacional pero, el mayor efecto, expresado mediante el coeficiente de correlación, está relacionado con la cantidad y distribución de las precipitaciones. Se recomienda determinar el modelo matemático que permita predecir el comportamiento de cada indicador de la composición química con los factores climáticos, así como hacer este estudio en otras plantas de importancia económica para la alimentación animal y extenderlo a los metabolitos secundarios o factores antinutricionales.

Palabras clave: *temperatura, lluvia, nitrógeno, fibra*

La productividad de las plantas está determinada por un grupo de factores inherentes al vegetal y externos. En el primero se encuentran sus características biológicas y el segundo, el suelo, clima y manejo.

En los cultivos utilizados para la nutrición animal y, en especial, los pastos y forrajes, además de su productividad es preciso considerar su calidad y valor nutritivo. Por ello, es fundamental para su explotación y empleo encontrar el equilibrio entre el rendimiento y su contenido de sustancias nutritivas.

Estos aspectos cobran en la actualidad particular

due to the high price of raw materials for the production of concentrated foods and fertilizers (Friedrich 2014). This has determined that trees, shrubs and legumes play a leading role in animal nutrition, due to its multiple advantages (Verdecia 2014).

Tithonia is originally from Central America. It is characterized by its ecological plasticity, when adapting and producing under different climate and soil conditions, due to its genetic variability (Ruiz *et al.* 2010). This determines the wide variation in the yield and chemical composition of its varieties (Holguín-Castaño *et al.* 2015 and Mejía-Díaz *et al.* 2017), which motivates interest in this plant, especially as a source of animal food.

The objective of this study was to determine the effect of some climate factors on the chemical composition of *Tithonia diversifolia* in both climatic seasons.

Materials and Methods

Location, soil and climate. The research was carried out in the experimental area of the Universidad de Granma, Cuba, in brown soil with carbonate (Hernández *et al.* 1999), pH 6.2, contents of P_2O_5 , K_2O and N of 2.4, 33.4 and 3.0 mg/100g of soil, respectively and 3.6 % of organic matter. In the rainy season, average rainfalls were 812.6 mm. The average, minimum and maximum temperatures were 26.73, 22.31 and 33.92 °C, respectively, while in the dry season the values were in the previous order of 270 mm, 24.05 °C, 18.29 °C and 31.58 °C. These values are in the historical range of the region (Verdecia 2014).

Design, procedure and sampling. The *Tithonia diversifolia* was used with two establishment years, in plots of 0.5 ha in a completely randomized design and five replications. A homogeneity cut was conducted, and from there the samplings were carried out every 60, 120 and 180 d of regrowth in 10 plants at random, cut at 15 cm above the soil level. All sampled material was mixed until an homogeneous sample was obtained by replication. The sample was dried in a forced air circulation oven for 72 h at 65 °C and milled to a particle size of 1 mm. The experiment lasted two years and no irrigation nor fertilization was applied.

Chemical analysis of samples. The content of organic matter, ashes, N, P, Ca and Mg was determined, according to AOAC (2016), and of NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, according to Goering and van Soest (1970). All analyzes were expressed on a dry basis and performed in duplicate in each replication.

Statistical analysis. Pearson correlation coefficients (Visauta 1998) were determined between chemical composition (NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, organic matter, ashes, N, P, Ca, Mg and Si and some climatic factors (maximum, minimum and average temperature, number of rainy days and total rain). The results are showed in each

importancia, debido al elevado precio de las materias primas para la producción de alimentos concentrados y de los fertilizantes (Friedrich 2014). Esto ha determinado que los árboles, arbustos y leguminosas desempeñen una función protagónica en la nutrición animal, debido a sus múltiples ventajas (Verdecia 2014).

Tithonia es originaria de Centroamérica. Se caracteriza por su plasticidad ecológica, al adaptarse y producir en condiciones diversas de clima y suelo, debido a su variabilidad genética (Ruiz *et al.* 2010). Esto determina la amplia variación en el rendimiento y composición química de sus variedades (Holguín-Castaño *et al.* 2015, y Mejía-Díaz *et al.* 2017), lo que motiva el interés por esta planta, especialmente, como fuente de alimento animal.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de algunos factores climáticos en la composición química de *Tithonia diversifolia* en ambas estaciones climáticas.

Materiales y Métodos

Localización, suelo y clima. La investigación se realizó en el área experimental de la Universidad de Granma, Cuba, en suelo pardo con carbonato (Hernández *et al.* 1999), pH 6.2, contenidos de P_2O_5 , K_2O y N de 2.4, 33.4 y 3.0 mg/100g de suelo, respectivamente y 3.6 % de materia orgánica. En el período lluvioso, las precipitaciones promedio ascendieron a 812.6 mm. Las temperaturas media, mínima y máxima fueron 26.73, 22.31 y 33.92 °C, respectivamente, mientras que en el período poco lluvioso los valores fueron en el orden anterior de 270 mm, 24.05 °C, 18.29 °C y 31.58 °C. Estos valores se encuentran en el rango histórico de la región (Verdecia 2014).

Diseño, procedimiento y muestreo. Se utilizó la *Tithonia diversifolia* con dos años de establecimiento, en parcelas de 0.5 ha en un diseño completamente al azar y cinco réplicas. Se realizó un corte de homogeneidad, y a partir de ahí los muestreos se realizaron cada 60, 120 y 180 d de rebrote en 10 plantas al azar, cortadas a 15 cm sobre el nivel del suelo. Todo el material muestreado se mezcló hasta obtener una muestra homogénea por réplica. La muestra se secó en estufa de circulación de aire forzado durante 72 h a 65 °C y se molinó hasta alcanzar tamaño de partícula de 1 mm. El experimento duró dos años de duración y no se aplicó riego ni fertilización.

Análisis químico de las muestras. Se determinó el contenido de materia orgánica, cenizas, N, P, Ca y Mg, según AOAC (2016), y de FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular y, de acuerdo con Goering y van Soest (1970). Todos los análisis se expresaron en base seca y se realizaron por duplicado en cada réplica.

Análisis estadístico. Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson (Visauta 1998) entre la composición química (FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular, materia orgánica, cenizas, N, P, Ca, Mg y Si, y algunos factores climáticos (temperatura máxima, mínima y media, número de días con lluvias y

seasonal period (rainy and dry), and only coefficients higher than 0.40 are reported, with probability equal to or higher than 95%. From the relations found, the linear multiple equations that best correlated the chemical composition indicators with the climatic factors that showed high Pearson coefficients were determined. The equations were selected when considering high determination coefficients, fitted determination coefficient, low standard error of terms and prediction, high statistical probability and significant contribution of terms and equation (Guerra *et al.* 2003 and Rodríguez *et al.* 2013).

Results

In the rainy season, the highest ($P < 0.05$) Pearson correlation coefficient was found between the maximum temperature and P ($r = 0.79$) and, conversely, with cellulose ($r = -0.67$). With the minimum temperature, only relation with P ($r = -0.69$, $P < 0.05$) and Mg ($r = -0.74$, $P < 0.05$) were found, while for the mean the highest relation was with P ($r = 0.92$, $P < 0.001$). For total rain and for the number of rainy days, there were no relation for hemicellulose, P and Mg, while for the rest of the chemical composition indicators the coefficients were elevated, especially with the number of rainy days (table 1).

lluvia total). Los resultados se presentan en cada período estacional (lluvioso y poco lluvioso), y solo se informan los coeficientes mayores de 0.40, con probabilidad igual o mayor de 95 %. A partir de las relaciones encontradas, se determinaron las ecuaciones múltiples lineales que mejor relacionaron los indicadores de la composición química con los factores climáticos que presentaron altos coeficientes de Pearson. Las ecuaciones se seleccionaron al considerar elevados coeficientes de determinación, coeficiente de determinación ajustado, bajo error estándar de los términos y de predicción, alta probabilidad estadística y aporte significativo de los términos y de la ecuación (Guerra *et al.* 2003 y Rodríguez *et al.* 2013).

Resultados

En el período lluvioso, el mayor ($P < 0.05$) coeficiente de correlación de Pearson se encontró entre la temperatura máxima y el P ($r=0.79$) y, en sentido inverso, con la celulosa ($r=-0.67$). Con la temperatura mínima, solo se encontró relación con el P ($r=-0.69$, $P<0.05$) y Mg ($r=-0.74$, $P<0.05$), mientras que para la media la mayor relación fue con el P ($r=0.92$, $P<0.001$). Para la lluvia total como para el número de días con lluvias no se encontraron relaciones para hemicelulosa, P y Mg, mientras que para el resto de los indicadores de la composición química los coeficientes fueron elevados,

Table 1. Pearson correlation coefficients between chemical composition and some climatic factors during the rainy season

Dependent variables	Independent variables				
	Temperature, °C			Rain, mm	
	Maximum	Minimum	Average	Total	Number of days
NDF	0.48*			0.87**	0.94***
ADF				0.94***	0.96***
Lignin	0.54*			0.87**	0.93***
Cellulose	-0.67*		-0.51*	-0.73*	-0.82**
Hemicellulose	0.62**		0.70*		
Cell content	-0.54*			-0.88**	-0.93***
Organic matter				0.97***	0.97***
Ashes				-0.97***	-0.98***
N				-0.93***	-0.95***
Si				0.68*	0.73*
P	0.79*	-0.69*	0.92***		
Mg	0.63*	-0.74*	0.58*		

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ *** $P < 0.001$

NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; N: nitrogen; Si: silica;

P: phosphorus; Mg: magnesium

In the dry season, the highest ($P < 0.001$) Pearson correlation coefficient was found between the maximum temperature and the hemicellulose ($r = 0.91$) and, in the opposite direction, with the cellular content and the N, both with $r = -0.72$ ($P < 0.05$). The minimum temperature was not related to hemicellulose, organic matter, ashes, N, Ca, P and Mg, but with the rest of

en especial, con el número de días con lluvias (tabla 1).

En el período poco lluvioso, el mayor ($P < 0.001$) coeficiente de correlación de Pearson se encontró entre la temperatura máxima y la hemicelulosa ($r=0.91$) y, en sentido opuesto, con el contenido celular y el N, ambos con $r = -0.72$ ($P < 0.05$). La temperatura mínima no se relacionó con la hemicelulosa, materia orgánica, cenizas,

the chemical indicators. The Pearson coefficient was relatively low between the average temperature and the hemicellulose, OM, ashes and N. The correlations with the rain indicators were high, especially with the number of rainy days that reached coefficients with values up to 0.99 (table 2).

N, Ca, P y Mg, pero sí con el resto de los indicadores químicos. El coeficiente de Pearson fue relativamente bajo entre la temperatura media y la hemicelulosa, MO, cenizas y N. Las correlaciones con los indicadores de las lluvias fueron elevadas, en especial con el número de días con lluvias que alcanzaron coeficientes con valores

Table 2. Pearson correlation coefficients between chemical composition and some climatic factors during the dry season

Dependent variables	Independent variables				
	Temperature, °C			Rain, mm	
	Maximum	Minimum	Average	Total	Number of days
NDF	0.77*	-0.52*		0.85**	0.97***
ADF	0.64*	-0.61*		0.72*	0.96***
Lignin	0.57*	-0.87**		0.52*	0.76*
Cellulose	-0.61*	0.85**		-0.55*	-0.71*
Hemicellulose	0.91***		0.57*	0.88**	0.80**
Cell content	-0.72*	0.43*		-0.88**	-0.99***
Organic matter	-0.54*		-0.55*	-0.73*	-0.89**
Ashes	0.54*		0.56*	0.72*	0.58*
N	-0.72*		-0.45*	-0.86**	-0.99***
Si		-0.45*			-0.45*
Ca	0.81**		0.71*	0.72**	0.86**
P				0.54*	0.64*

*P<0.05 **P<0.01 ***P<0.001

NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; N: nitrogen; Si: silica;

P: phosphorus; Ca: calcium

In the rainy season, only linear multiple equations could be established for NDF, ADF, lignin, cellulose and cell content, where the climatic elements of higher preponderance were maximum temperature, total rain and rainy days. It should be noted its high determination coefficients and statistical probability, as well as their low estimation error (table 3).

de hasta 0.99 (tabla 2).

En el período lluvioso, solo se pudieron establecer ecuaciones múltiples lineales para la FDN, FDA, lignina, celulosa y contenido celular, donde los elementos climáticos de mayor preponderancia fueron la temperatura máxima, lluvia total y días con lluvias. Es de señalar sus elevados coeficientes de determinación y probabilidad

Table 3. Linear multiple equations between some indicators of chemical composition and the climatic factors in the rainy season

Equation	SE±	R ²	P
NDF = -59.26 + 2.89 (±0.62) maximum temperature + 0.1 (±0.01) LI	0.68	0.97	0.001
ADF = 22.09 + 0.03 (±0.01) LI + 1.26 (±0.08) dLI	1.12	0.93	0.01
L = -370.05 + 10.96 (±2.15) maximum temperature + 0.04 (±0.0004) LI	2.35	0.98	0.001
Cellulose = 255.68 - 8.84 (±1.55) average temperature - 0.01 (±0.001) LI	0.85	0.98	0.01
CC = 167.78 - 3.14 (±0.46) maximum temperature - 0.01 (±0.001) LI	0.50	0.99	0.0001

LI, rain; dLI, number of rainy days

In the dry period, the linear multiple equations of best fit were for NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, organic matter, ashes, nitrogen and magnesium. The climatic elements of higher preponderance were the maximum, minimum and average temperature, as well as the total rain and the number of rainy days. These equations were characterized by their high determination coefficient and

estadística, así como su bajo error de estimación (tabla 3).

En el período poco lluvioso, las ecuaciones múltiples lineales de mejor ajuste fueron para FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular, materia orgánica, cenizas, nitrógeno y magnesio. Los elementos climáticos de mayor preponderancia fueron la temperatura máxima, mínima y media, así como la lluvia total y el número de días con lluvias. Estas ecuaciones se

statistical probability, except cellulose and magnesium (table 4).

caracterizaron por su alto coeficiente de determinación y probabilidad estadística, excepto la celulosa y el

Table 4. Linear multiple equations between some indicators of chemical composition and the climatic factors in the dry season

Equation	SE±	R ²	P
NDF = 40.27 +0.003 (±0.001) LI + 0.63 (±0.20) dLI	1.04	0.94	0.01
ADF = 25.24 - 0.006 (±0.002) LI + 0.55 (±0.11) dLI	0.56	0.95	0.001
L = 270.06 +0.05 (±0.01) LI - 14.06 (±1.18) Tmin	3.12	0.96	0.01
Cel = 22.91 + 0.01 (±0.01) LI -0.84 (±0.07)dLI	4.13	0.52	0.05
Hemicel = 11.19 +0.009 (±0.002) LI - 0.1 (±0.02) dLI + 1.40 (±0.18) maximum temperature - 1.60 (±0.37) average temperature	0.18	0.99	0.0001
CC = 58.13 - 0.006 (±0.001) LI - 0.37 (±0.02) dLI - 0.71 (±0.06) maximum temperature +1.18 (±0.06) minimum temperature	0.07	1.00	0.0000
OM = 99.22 + 0.004 (±0.002) LI - 0.27 (±0.04) dLI + 0.62 (±0.19) maximum temperature - 1.54 (±0.38) average temperature	0.19	0.98	0.001
Ashes = - 1.26 - 0.63 (±0.13) maximum temperature - 0.004 (±0.001) LI + 0.275 (±0.30) dLI + 1.63 (±0.26) average temperature	0.13	0.99	0.001
N = 6.76 - 0.04 (±0.02) maximum temperature - 0.18 (±0.01) dLI	0.07	0.99	0.0001
Mg = - 6.18 - 0.42 (±0.14) maximum temperature - 0.32 (±0.12) minimum temperature +1.07 (±0.35) average temperature	0.05	0.85	0.05

NDF, neutral detergent fiber ; ADF, acid detergent fiber ; L, lignin; Cel, cellulose; Hemicel, hemicellulose; CC, cell content ; OM, organic matter ; As, ashes; N, nitrogen; Mg, magnesium; LI, rain; dLI, number of rainy days

Discussion

This research was performed in an area of *Tithonia*, with two establishment years to eliminate the effect produced by soil preparation and juvenile vigor, which originates from the use of quality seed, planted in recently tilled soil. The experiment lasted two years to guarantee a higher volume of information about the performance of the chemical composition as well as the climatic factors.

It was decided to report Pearson correlation coefficients higher than 0.40, since growth modeling researches of different meadow grasses reported determination coefficients (R²) higher than 0.40 (Tonato *et al.* 2010, Araujo *et al.* 2013 and Andrade *et al.* 2015).

Lower values show very low relation between the studied variables, with limited mathematical and biological value. In addition, with this plant there is no history of this type of study.

The national literature points out the differences that exist in the performance of grasses and forages, attributable to climatic seasons. Several studies on meadow grasses (*Pennisetum purpureum*, *Brachiaria decumbens* and *Megathyrsus maximus*, among others) reported specific results inherent to the variety for each seasonal period (Ramírez *et al.* 2011, 2012, 2015, 2016 and Herrera *et al.* 2013). In addition, mathematical expressions that correlate yield and chemical composition with some elements of the climate, such as rain and temperature were established (Ramírez *et al.* 2016b).

These mathematical expressions were obtained under specific edaphoclimatic conditions. Their terms

magnesio (tabla 4).

Discusión

Esta investigación se desarrolló en un área de *Tithonia*, con dos años de establecimiento para eliminar el efecto producido por la preparación del suelo y el vigor juvenil, que se origina por la utilización de semilla de calidad, plantada en suelo de reciente laboreo. El experimento tuvo una duración de dos años para garantizar mayor volumen de información acerca del comportamiento de la composición química como de los factores climáticos.

Se decidió informar coeficientes de correlación de Pearson superiores a 0.40, pues trabajos de modelación del crecimiento de diferentes gramíneas pratenses informaron coeficientes de determinación (R²) superiores a 0.40 (Tonato *et al.* 2010, Araujo *et al.* 2013 y Andrade *et al.* 2015). Valores inferiores indican muy baja relación entre las variables estudiadas, con limitado valor matemático y biológico. Además, en esta planta no existen antecedentes de este tipo de estudio.

La literatura nacional señala las diferencias que existen en el comportamiento de los pastos y forrajes, atribuibles a las estaciones climáticas. Diversos estudios realizados en gramíneas pratenses (*Pennisetum purpureum*, *Brachiaria decumbens* y *Megathyrsus maximus*, entre otras) informaron resultados específicos inherentes a la variedad para cada período estacional (Ramírez *et al.* 2011, 2012, 2015, 2016 y Herrera *et al.* 2013). Además, se establecieron expresiones matemáticas que relacionan el rendimiento y la composición química con algunos elementos del clima, como la lluvia y la temperatura (Ramírez *et al.* 2016b).

showed significant contributions to the expression. The standard errors (of terms and equation) were low and their determination coefficients were high. These elements showed the high precision of the expressions, but they have not been proven or endorsed in other climatic conditions, reason why their value is only determined for the region and the management conditions of the grass in which they were obtained.

This type of study is not easily found in the national literature, with respect to legumes of importance for cattle feeding. However, Verdecia *et al.* (2013) established the differences that present the nutritional value of *Neonotonia wightii* in both seasonal periods; Verdecia *et al.* (2012) performed a similar study in *Leucaena leucocephala*, but with emphasis on secondary metabolites, and Herrera *et al.* (2016) established the effect of some climate indicators on digestibility and secondary metabolites, as well as on their relations in the same species. The results showed the specificity of the response of each variety in the studied climatic periods (rainy and dry).

In other species, such as *Erythrina variegata*, *Glycricidia sepium* and *Teramnus labialis*, the researchers were carried out, using multivariate and cluster analysis, to establish the similarity of chemical composition and secondary metabolites according to the regrowth age of in each climatic season (Verdecia 2014).

Tithonia diversifolia is a plant with great ecological plasticity (Pérez *et al.* 2009 and Holguín-Castaño *et al.* 2015) with forage potential for feeding and cattle production (Ferreira 2013 and Gallego-Castro *et al.* 2014) with acceptable quality and high protein value (Medina *et al.* 2009, and Mauricio *et al.* 2014), but their chemical composition is variable (Mejía-Díaz *et al.* 2017). In Cuba, Ruiz *et al.* (2010) evaluated 29 materials of *Tithonia diversifolia*, collected in the center-west of the country and reported variability in their characteristics. After a selection they also reported their potential for animal production (Ruiz *et al.* 2014).

Tithonia has secondary metabolites that may negatively influence on its digestibility (Verdecia 2014). However, Lezcano *et al.* (2012), also studied the secondary metabolites of this plant, but did it through qualitative analysis and this depends on the sensitivity of the reagents used, the plant age, the content of secondary metabolites and the leaf-stem ratio, among other factors. Therefore, it offers information of a certain value, but with less precision than when the quantitative determination of those substances is carried out.

The results presented in this research evidenced that the members of the chemical composition of *Tithonia* have a specific and peculiar relation with the climatic indicators considered in the study. In

Estas expresiones matemáticas se obtuvieron en condiciones edafoclimáticas específicas. Sus términos mostraron aportes significativos a la expresión. Los errores estándar (de los términos y de la ecuación) resultaron bajos y sus coeficientes de determinación fueron altos. Estos elementos indicaron la alta precisión de las expresiones, pero no han sido comprobadas ni avalas en otras condiciones climáticas, por lo que su valor solo está determinado para la región y las condiciones de manejo del pasto en que se obtuvieron.

Este tipo de estudio no se encuentra con facilidad en la literatura nacional, en lo que respecta a las leguminosas de importancia para la alimentación del ganado vacuno. Sin embargo, Verdecia *et al.* (2013) establecieron las diferencias que presenta el valor nutritivo de la *Neonotonia wightii* en ambos períodos estacionales; Verdecia *et al.* (2012), realizaron similar estudio en *Leucaena leucocephala*, pero con énfasis en los metabolitos secundarios, y Herrera *et al.* (2016) establecieron el efecto de algunos indicadores del clima en la digestibilidad y metabolitos secundarios, así como en sus relaciones en esta misma especie. Los resultados indicaron la especificidad de la respuesta de cada variedad en los períodos climáticos estudiados (lluvioso y poco lluvioso).

En otras especies, como *Erythrina variegata*, *Glycricidia sepium* y *Teramnus labialis*, las investigaciones realizadas se encaminaron, mediante análisis multivariado y de conglomerado, a establecer la similitud de la composición química y los metabolitos secundarios de acuerdo con la edad de rebrote en cada estación climática (Verdecia 2014).

Tithonia diversifolia es una planta de gran plasticidad ecológica (Pérez *et al.* 2009 y Holguín-Castaño *et al.* 2015) con potencial forrajero para la alimentación y producción del ganado vacuno (Ferreira 2013 y Gallego-Castro *et al.* 2014), con aceptable calidad y alto valor proteico (Medina *et al.* 2009 y Mauricio *et al.* 2014), pero su composición química es variable (Mejía-Díaz *et al.* 2017). En Cuba, Ruiz *et al.* (2010) evaluaron 29 materiales de *Tithonia diversifolia*, recolectados en el centro-oeste del país e informaron variabilidad en sus características. Después de una selección informaron además su potencialidad para la producción animal (Ruiz *et al.* 2014).

Tithonia presenta metabolitos secundarios que pueden influir negativamente en su digestibilidad (Verdecia 2014). No obstante, Lezcano *et al.* (2012), también estudió los metabolitos secundarios de esta planta, pero lo realizó mediante análisis cualitativo y esto depende de la sensibilidad de los reactivos utilizados, de la edad de la planta, del contenido de metabolitos secundarios y de la relación hoja:tallo, entre otros factores. Por ello, ofrece información de cierto valor, pero con menor precisión que cuando se realiza la determinación cuantitativa de dichas sustancias.

Los resultados presentados en esta investigación evidenciaron que los integrantes de la composición química de la *Tithonia* tienen una relación específica y peculiar con los indicadores climáticos considerados en el estudio. En el

the rainy season, for example, only the maximum temperature was correlated ($r = 0.48$, $P < 0.05$) with the NDF, while in the dry season this occurred with the maximum temperature ($r = 0.77$, $P < 0.05$) and minimum temperature ($r = -0.52$, $P < 0.05$). This happens with the rest of the members of the chemical composition, but with an inherent response in relation to the climatic factors evaluated.

When the members of the chemical composition were related to rain indicators (total rain and number of rainy days), the Pearson coefficients were higher and superior to those recorded with the temperatures.

If the results of this study are compared with those previously reported in relation to the species from the genus *Pennisetum*, *Brachiaria*, *Megathyrsus* and *Leucaena*, among others, there are notable differences. The mentioned species have high relations with the expressions of temperature, which does not occur in the *Tithonia*. In this last one, the relations with the rains and their occurrence frequency are higher. This is a possible index of the response of this species to precipitation, especially in drought periods.

The above allows establishing several hypotheses: a) everything seems to indicate that the changes in the chemical composition are less sensitive to the temperature variations; B) the rain distribution is more important than the total rain in the variability of the chemical composition.

In addition, if these results are compared with those obtained in the meadow grasses, as well as those obtained with *Leucaena*, are totally different, so that the third hypothesis can be established that there are variations in intensity and elements involved in the synthesis of the mentioned compounds. As a hypothesis, they need specific research to explain this performance.

When the linear multiple equations were established, only five (NDF, ADF, lignin, cellulose and cell content) of the 13 chemical composition indicators (NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, organic matter, ashes, N, P, Ca, Mg and Si) were fitted to these models in the rainy season, whose independent variables were maximum temperature, total rain and number of rainy days. However, in the dry season, the number of chemical composition indicators increased to 10 (NDF, ADF, lignin, cellulose, hemicellulose, cell content, organic matter, ashes, N and Mg) when related to maximum, minimum and average temperatures, as well as with total rain and the number of rainy days.

This could be related to the performance of climatic factors in each seasonal period. In the rainy season is the stage of higher temperatures, solar radiation, duration of light and rains, so that conditions are conducive to the growth and development of plants; from the metabolic point of view there are no limiting factors for the

período lluvioso, por ejemplo, solo la temperatura máxima se correlacionó ($r=0.48$, $P<0.05$) con la FDN, mientras que en el poco lluvioso esto ocurrió con la temperatura máxima ($r=0.77$, $P<0.05$) y la temperatura mínima ($r=-0.52$, $P<0.05$). Esto sucede con el resto de los integrantes de la composición química pero, con respuesta inherente en relación con los factores climáticos evaluados.

Cuando los integrantes de la composición química se relacionaron con los indicadores de las lluvias (lluvia total y número de días con lluvia), los coeficientes de Pearson encontrados fueron elevados y superiores a los registrados con las temperaturas.

Si se comparan los resultados de este trabajo con los informados con anterioridad en relación con las especies de los géneros *Pennisetum*, *Brachiaria*, *Megathyrsus* y *Leucaena*, entre otros, se observan notables diferencias. Las especies referidas presentan altas relaciones con las expresiones de temperatura, lo que no ocurre en la *Tithonia*. En esta última, las relaciones con las lluvias y su frecuencia de ocurrencia son mayores. Esto es un posible índice de la respuesta de esta especie a las precipitaciones, en especial, en períodos de sequía.

Lo anterior permite establecer varias hipótesis: a) todo parece indicar que los cambios en la composición química son menos sensibles a las variaciones de la temperatura; b) es más importante la distribución de las lluvias que el total de ellas en la variabilidad de la composición química. Además, si se comparan estos resultados con los obtenidos en las gramíneas pratenses, así como los alcanzados con la *Leucaena* son totalmente diferentes, por lo que se pudiera establecer la tercera hipótesis de que existen variaciones en la intensidad y elementos que intervienen en la síntesis de los referidos compuestos. Como hipótesis, estas necesitan de investigaciones específicas que expliquen este comportamiento.

Al establecer las ecuaciones múltiples lineales se observó que solo cinco (FDN, FDA, lignina, celulosa y contenido celular) de los 13 indicadores de la composición química estudiados (FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular, materia orgánica, cenizas, N, P, Ca, Mg y Si) se ajustaron a los referidos modelos en el período lluvioso, cuyas variables independientes fueron la temperatura máxima, lluvia total y el número días con lluvias. Sin embargo, en el período poco lluvioso, el número de indicadores de la composición química aumentó a 10 (FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa, contenido celular, materia orgánica, cenizas, N y Mg) al relacionarse con la temperaturas máxima, mínima y media, así como con la lluvia total y el número de días con lluvias.

Lo anterior pudiera estar relacionado con el comportamiento de los factores climáticos en cada período estacional. En el lluvioso es la etapa de mayores temperaturas, radiación solar, duración de la luz y lluvias, por lo que las condiciones son propicias para el crecimiento y desarrollo de las plantas; desde el punto

photosynthesis. However, the dry season is characterized by lower temperatures (including the minimum), solar radiation, duration of light and rains. This imposes limiting factors for growth, and the plant must be adapted to the stress factors that predominate in that period.

Ramírez *et al.* (2011, 2016a) studied the relation between climatic factors and quality indicators and established multiple linear models, but the regrowth age was one of its terms. This makes a difference with the results obtained in this study. For this reason, due to the complexity of the subject, future researches that will contribute to deepen into this topic are needed.

These results are the first to be reported in the national literature and should be considered to design local management strategies that allow obtaining biomass with a high quality index. As they were expressions obtained under certain edaphoclimatic conditions, it is necessary to be evaluated in other environments. In addition, it is necessary to study other mathematical expressions that relate climatic factors to chemical composition indicators, as well as to use these results to design mathematical models that predict the effect of climatic factors on the chemical composition of the *Tithonia*. It would also be of importance to carry out this study in other plants of economic importance for animal feeding and to extend it to the secondary metabolites or antinutritional factors.

Acknowledgments

Thanks to the Universidad de León, Spain, for carrying out the chemical analyzes of the samples.

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 51, Number 2, 2017.

de vista metabólico no hay factores limitantes para la fotosíntesis. Sin embargo, el período poco lluvioso se caracteriza por las menores temperaturas (incluida la mínima), radiación solar, duración de la luz y lluvias. Esto impone factores limitantes para el crecimiento, y la planta se debe adaptar a los factores de estrés que predominan en el referido período.

Ramírez *et al.* (2011, 2016a) estudiaron la relación entre los factores climáticos y los indicadores de la calidad y establecieron modelos múltiples lineales, pero la edad de rebrote era uno de sus términos. Esto establece una diferencia con los resultados obtenidos en este trabajo. Por ello, debido a la complejidad del tema, se precisan investigaciones futuras que contribuyan a profundizar al respecto.

Estos resultados son los primeros que se informan en la literatura nacional y se deben considerar para diseñar estrategias de manejo local que permitan obtener biomasa con elevado índice de calidad. Como fueron expresiones obtenidas en determinadas condiciones edafoclimáticas, es preciso evaluarlas en otros ambientes. Además, es necesario estudiar otras expresiones matemáticas que relacionen los factores climáticos con los indicadores de la composición química, así como utilizar estos resultados para diseñar modelos matemáticos que predigan el efecto de los factores climáticos en la composición química de la *Tithonia*. También sería de importancia hacer este estudio en otras plantas de importancia económica para la alimentación animal y extenderlo a los metabolitos secundarios o factores antinutricionales.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de León, España, por la realización de los análisis químicos de las muestras.

References

- AOAC, G. W. 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].
- Andrade, A. S., Santos, P. M., Pezzopane, J. R. M., de Araujo, L. C., Pedreira, B. C., Pedreira, C. G. S., Marin, F. R. & Lara, M. A. S. 2015. "Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application". Grass and Forage Science, 71(1): 54–65, ISSN: 1365-2494, DOI: 10.1111/gfs.12177.
- Araujo, L. C., Santos, P. M., Rodríguez, D., Pezzopane, J. R. M., Oliveira, P. P. A. & Cruz, P. G. 2013. "Simulating Guinea Grass Production: Empirical and Mechanistic Approaches". Agronomy Journal, 105(1): 61–69, ISSN: 1435-0645, DOI: 10.2134/agronj2012.0245.
- Ferreira, L. H. 2013. Productividade e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* para rumiantes. M.Sc. Thesis, Universidad Federal São João del Rei, Minas Gerais, Brazil.
- Friedrich, T. 2014. "Production of animal origin feed. Current events and perspectives". Cuban Journal of Agricultural Science, 48(1): 5–6, ISSN: 2079-3480.
- Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala, J. 2014. "Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras". Agronomía Mesoamericana, 25(2): 393–403, ISSN: 2215-3608.
- Goering, H. K. & Van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analysis: Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications. (ser. Agriculture handbook, no. ser. 379), Washington D.C.: USDA, 20 p., Google-Books-ID: _9WcmgEACAAJ, Available: <https://books.google.com/cu/books?id=_9WcmgEACAAJ>, [Consulted: July 17, 2017].
- Guerra, C. W., Cabrera, A. & Fernández, L. 2003. "Criteria for the selection of statistical models in scientific research". Cuban Journal of Agricultural Science, 37(1): 3–10, ISSN: 2079-3480.
- Hernández, J. A., Pérez, J. M., Bosch, D., Rivero, L., Camacho, E., Ruiz, J., Salgado, E. J., Marsán, R., Obregón, A., Torres, J. M., Gonzáles, J. E., Orellana, R., Paneque, J., Ruiz, J. M., Mesa, A., Fuentes, E., Durán, J. L., Pena, J., Cid, G., Ponce de León, D., Hernández, M., Frómata, E., Fernández, L., Garcés, N., Morales, M., Suárez, E. & Martínez, E. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana, Cuba: AGROINFOR, 64 p., ISBN: 959-246-022-1.

- Herrera, R. S., García, M., Cruz, A. M. & Romero, A. 2013. "Relación entre algunos factores climáticos y el rendimiento de seis variedades de pastos". In: XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal - IV Congreso Internacional de Producción Animal Tropical, La Habana, Cuba: EDICA, p. 4, Available: <<http://www.congressesincuba.com/congresos-y-eventos/alpa2013.html>>, [Consulted: July 17, 2017].
- Herrera, R. S., Verdecia, D. M., Ramírez, J. L., García, M. & Cruz, A. M. 2016. "Relación entre metabolitos secundarios de *Leucaena leucocephala* con algunos elementos del clima, diferentes expresiones de digestibilidad y metabolitos primarios". In: IV Convención Internacional Agrodesarrollo, Matanzas, Cuba: Estación Experimental 'Indio Hatuey'.
- Holguín-Castaño, V., Ortiz-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, DOI: 10.15446/rfmvz.v62n2.51995.
- Lezcano, Y., Soca, M., Sánchez, L. M., Ojeda, F., Olivera, Y., Fontes, D., Montejó, I. L. & Santana, H. 2012. "Caracterización cualitativa del contenido de metabolitos secundarios en la fracción comestible de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray". Pastos y Forrajes, 35(3): 283–291, ISSN: 0864-0394.
- 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, DOI: 10.17138/tgft(2)82-84.
- Medina, M. G., García, D. E., González, M. E., Cova, L. J. & Moratinos, P. 2009. "Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento". Zootecnia Tropical, 27(2): 121–134, ISSN: 0798-7269.
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala, J. 2017. "*Tithonia diversifolia*: specie for grazing in silvopastoral systems and methods for estimating consumption". Mesoamerican Agronomy, 28(1): 289–302, ISSN: 2215-3608, DOI: 10.15517/am.v28i1.22673.
- Pérez, A., Montejó, I., Iglesias, J. M., López, O., Martín, G. J., García, D. E., Milián, I. & Hernández, A. 2009. "*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray". Pastos y Forrajes, 32(1): 1–1, ISSN: 0864-0394.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Cisneros, M., Verdecia, D. & Álvarez, Y. 2011. "Relation between climatic factors, yield, and quality of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169 in the Cauto Valley, Cuba". Cuban Journal of Agricultural Science, 45(3): 293–298, ISSN: 2079-3480.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D. & Álvarez, Y. 2012. "Rendimiento y calidad de *Brachiaria decumbens* en suelo fluvial del Valle del Cauto, Cuba". REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 13(4), ISSN: 1695-7504.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D., Álvarez, Y. & Arceo, Y. 2015. "Relación de la calidad con los factores del clima en tres variedades de *Megathyrsus maximus* en la región oriental de Cuba". In: V Congreso de Producción Animal Tropical, La Habana, Cuba: EDICA, pp. 287–290, ISBN: 978-959-7171-70-6.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D., Álvarez, Y., Arceo, Y. & Uvidia, H. 2016a. "Influencia del clima en la calidad de dos variedades de *Megathyrsus maximus* en ecosistemas frágiles y degradados de Cuba". In: IV Convención Internacional Agrodesarrollo, Matanzas, Cuba: Estación Experimental 'Indio Hatuey'.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D., Álvarez, Y., Arceo, Y. & Uvidia, H. 2016b. "Rendimiento y calidad del *Cenchrus purpureus* Cuba CT-169 en ecosistemas degradados de la región oriental de Cuba". In: IV Convención Internacional Agrodesarrollo, Matanzas, Cuba: Estación Experimental 'Indio Hatuey'.
- Rodríguez, L., Larduet, R., Martínez, O., Torres, V., Herrera, M., Medina, Y. & Noda, A. C. 2013. "Modeling of the biomass accumulation dynamics in *Pennisetum purpureum* cv. king grass in the Western region of Cuba". Cuban Journal of Agricultural Science, 47(2): 119–124, ISSN: 2079-3480.
- 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 Journal of Agricultural Science, 48(1): 79–82, ISSN: 2079-3480.
- Ruiz, T. E., Febles, G., Torres, V., González, J., Achang, G., Sarduy, L. & Díaz, H. 2010. "Assessment of collected materials of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray in the center-western region of Cuba". Cuban Journal of Agricultural Science, 44(3): 291–296, ISSN: 2079-3480.
- Tonato, F., Barioni, L. G., Pedreira, C. G. S., Dantas, O. D. & Malaquias, J. V. 2010. "Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais". Pesquisa Agropecuária Brasileira, 45(5): 522–529, ISSN: 1678-3921.
- Verdecia, D. M. 2014. 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, H., Ramírez, J. L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Arceo, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F. J. & López, S. 2012. "Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios". REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 13(11), Available: <<http://www.redalyc.org/html/636/63624842011/>>, [Consulted: July 17, 2017].
- Verdecia, D. M., Herrera, R. S., Ramírez, J. L., Leonard, I., Bodas, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., González, J. S., Arceo, Y., Álvarez, Y. & López, S. 2013. "Effect of the re-growth age on the nutritive quality of *Neonotonia wightii* in the Cauto valley, Cuba". Cuban Journal of Agricultural Science, 47(1): 89–95, ISSN: 2079-3480.
- Visauta, V. B. 1998. Análisis estadístico con SPSS para Windows: estadística multivariante. Madrid, España: McGraw-Hill, 358 p., ISBN: 978-84-481-2074-0.