



## COMPOSICIÓN QUÍMICA-NUTRICIONAL DE REBROTOS DE *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone DURANTE LA ESTACIÓN LLUVIOSA †

### [CHEMICAL-NUTRITIONAL COMPOSITION OF VARIETIES OF *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone DURING THE RAINY SEASON]

José Leonardo Ledea-Rodríguez<sup>1</sup>, Orestes La O-León<sup>2</sup>, Dani Verdecia-Acosta<sup>3</sup>,  
Diocles Guillermo Benítez-Jiménez<sup>4</sup> and Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional. No. 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23096, México. \*Email: lhernandez@cibnor.mx

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Loja. Facultad de Agropecuaria y Recursos Renovables. Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa", Av. Pío Jaramillo Alvarado s/n, Sector La Argelia, Loja, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad de Granma, Apartado Postal 21, Bayamo, C.P. 85 100, Granma, Cuba.

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov". Estación Experimental de Pastos y Forrajes, km 10½, Carretera Bayamo – Tunas. Bayamo, Granma, Cuba.

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** The rainfall regime and its distribution define the productivity and quality of the pastures for use as forage. **Objective:** Evaluate changes in the chemical-mineral composition and nutritional value of *Cenchrus purpureus* sprouts in the rainy season. **Methodology:** A study was developed in a completely randomized design in factorial arrangement, with varieties of *C. purpureus* (CT-601; 603 and 115 as control) at different regrowth ages (60, 80, 100 and 120 days) and their interaction 4 x 3, for a total of twelve treatments with four repetitions. **Results:** The second degree interaction affected the structural composition of the cell wall in leaves, increasing ( $P \leq 0.001$ ) the fiber concentration in acid detergent (FAD) as the age of the plant advanced, while lignin (LAD), cellulose (Cel) and hemicellulose (Hcel) showed erratic behaviors at different ages in the three varieties ( $P \leq 0.001$ ). In the whole plant (WP), the FAD and FND decreased ( $P \leq 0.001$ ) as a function of the increase in age, LAD, Cel and Hcel showed the same pattern as in leaves, differing ( $P \leq 0.001$ ) between varieties with respect to the control in the different ages. The highest *in vitro* degradability's of dry matter (IDDM) and organic (IDOM) in leaves were centered at the age of 60 days in the varieties CT-603 and 115, respectively, in WP at 100 days in CT-601 and 603 ( $P \leq 0.001$ ) compared to CT-115. **Implications:** The varieties CT-601 and CT-603 do not show affectations in the structure of the cell wall that affect the nutritional value with respect to the control treatment (variety CT-115). **Conclusions:** Varieties, depending on DR, modify the structure of the cell wall, without affecting their nutritional value.

Keywords: *Pennisetum purpureum*; tropical grasses; macroelements; chemical profile.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El régimen de precipitación pluvial y su distribución definen la productividad y calidad de los pastos para su uso como forraje. **Objetivo:** Evaluar en la estación de lluvias los cambios en la composición químico-mineral y valor nutritivo de rebrotos de *Cenchrus purpureus*. **Metodología:** Se desarrolló un estudio en un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial, con variedades de *C. purpureus* (CT-601; 603 y 115 como control) en diferentes edades de rebrote (60, 80, 100 y 120 días) y su interacción 4 x 3, para un total de doce tratamientos con cuatro repeticiones. **Resultados:** La interacción de segundo grado afectó la composición estructural de la pared celular en hojas, incrementándose ( $P \leq 0.001$ ) la concentración de fibra en detergente ácido (FDA) conforme avanzó la edad de la planta, mientras que la lignina (LDA), celulosa (Cel) y hemicelulosa (Hcel) mostraron comportamientos erráticos en las diferentes edades en las tres variedades ( $P \leq 0.001$ ). En la planta entera la FDA y la FDN disminuyeron ( $P \leq 0.001$ ) en función del incremento de la edad, LDA, Cel y Hcel mostraron el mismo patrón que en hojas, diferenciándose ( $P \leq 0.001$ ) entre variedades respecto al control en las diferentes edades. Las mayores degradabilidades *in vitro* de la materia seca (DIMS) y orgánica (DIMO) en hojas se centraron en la edad de 60 días en las variedades CT-603 y 115, respectivamente, en PI a los 100 días en CT-601 y 603 ( $P \leq 0.001$ ) respecto al CT-115. **Implicaciones:** Las variedades CT-601 y CT-603 no manifiestan afectaciones en la estructuración de la pared celular que afecten el valor nutritivo

† Submitted December 16, 2020 – Accepted February 4, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

respecto al tratamiento control (variedad CT-115). **Conclusiones:** Las variedades en función de los DR modifican la estructuración de la pared celular, sin llegar a afectar el valor nutritivo de las mismas.

Palabras claves: *Pennisetum purpureum*; gramíneas tropicales; macroelementos; perfil químico.

## INTRODUCCIÓN

El pasto *Cenchrus purpureus* anteriormente clasificado como *Pennisetum purpureum* (Mogotsi *et al.*, 2020) es una gramínea que ha sido explotada por diversos sectores, destacando a la industria energética, la cual, utiliza la biomasa de este pasto para generar biocombustible (Rueda *et al.*, 2016; Kamwean *et al.*, 2017). El sector agropecuario, también ha sido beneficiado por el cultivo de *C. purpureus* al ser utilizado como alimento para animales rumiantes (Rahman *et al.*, 2019).

La producción de biomasa de los pastos se ve afectada principalmente por las condiciones ambientales y características del suelo, lo que limita en algunas ocasiones el rendimiento por hectárea y permanencia del cultivo (Rusinowski *et al.*, 2019). Dentro de las alternativas que se utilizan para mejorar el rendimiento de *C. purpureus* está el mejoramiento genético convencional, sin embargo, los cultivares obtenidos por esta técnica generalmente se caracterizan por florecer en momentos diferentes, las flores son pequeñas y el polen es de vida corta, lo que ocasiona una baja producción de semillas con una alta infertilidad (Pongtongkam *et al.*, 2006). Otros métodos que se utilizan para el mejoramiento de los pastos son la aplicación de mutágenos químicos y físicos, uso combinado de técnicas de cultivos *in vitro*, radiación con rayos gamma, técnicas moleculares combinadas con genómica, entre otras (Fanindi *et al.*, 2019; Jensy *et al.*, 2020).

En la región tropical de América existen estudios sobre la aplicación de mutágenos físicos para el mejoramiento del *C. purpureus* con aptitudes para el corte y el pastoreo (Martínez *et al.*, 1985). En otros estudios, utilizaron la técnica de cultivos de tejidos para la obtención de clones de mayor tolerancia a la sequía y salinidad, aumentando la producción en biomasa de *C. purpureus* bajo ambientes áridos y salinos, confirmando su estabilidad genética por medio de técnicas isoenzimáticas en más de cinco generaciones (Herrera *et al.*, 2003) establecidas en el Caribe (Arias *et al.*, 2018; Ray *et al.*, 2018) y mesoamérica (Nava-Cabello *et al.*, 2013; Ramos-Trejo *et al.*, 2016).

Para la alimentación animal, además de la producción de biomasa, la composición química-mineral del pasto y su valor nutritivo es de gran utilidad, debido a que constituye la materia prima para que la microflora ruminal elabore productos de mayor valor biológico (proteína microbiana) (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018a; Al-Rowaily *et al.*, 2019). La composición de los pastos

puede verse modificada por la lluvia o sequía de la zona en que se cultiva, específicamente en el trópico, existen dos períodos diferenciados de lluvia, lo que puede influir en una mayor producción y calidad de biomasa de los pastos utilizada como alimento para rumiantes (Pratti-Daniel *et al.*, 2019). Además, la combinación de altos regímenes pluviométricos y alta intensidad de radiación solar en la estación de lluvia provoca un crecimiento acelerado de los pastos, debido al incremento de la tasa fotosintética que conlleva a la maduración prematura de los tejidos, limitando su aprovechamiento para la conversión de alimento-carne-proteína.

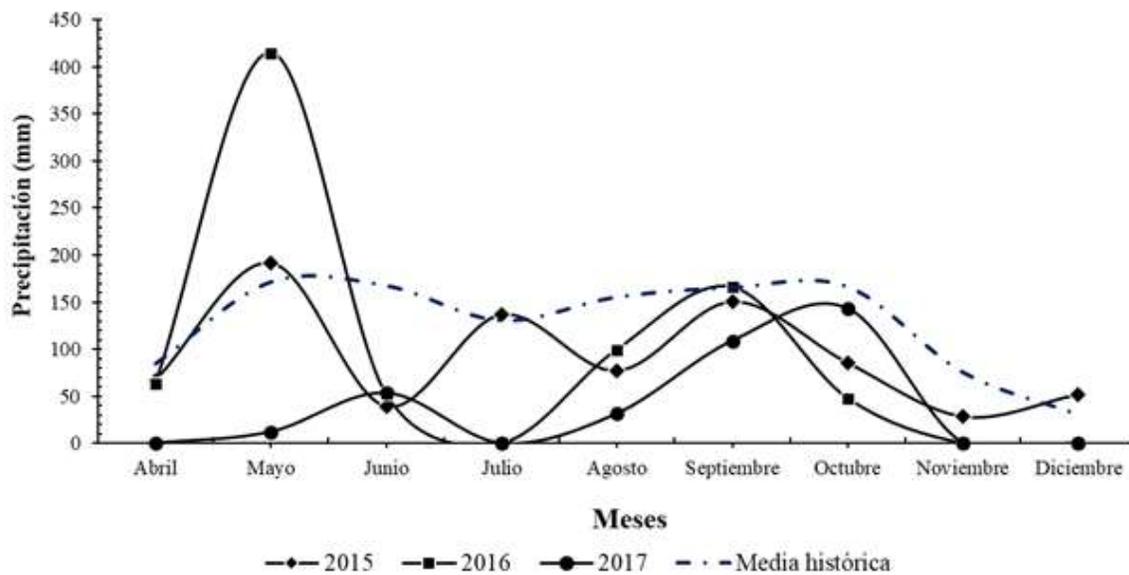
Además, las condiciones climatológicas influyen sobre el ordenamiento de la pared celular de la gramíneas (celulosa, hemicelulosa y compuestos fenólicos como la lignina) que limitan el aprovechamiento de compuestos nutritivos contenidos en el citoplasto celular (Van Soest, 2006; Ezquer *et al.*, 2020). La organización de estos compuestos estructurales también varía de acuerdo al tipo de planta, hábito de crecimiento, manejo agronómico (Costa *et al.*, 2019) y condiciones de estrés abiótico como sequía estacional, suelo con bajo contenido mineral y de materia orgánica, alto componente arcilloso, entre otros (Głazowska *et al.*, 2018). En el presente estudio se consideró como objetivo, evaluar en la estación de lluvia los cambios en la composición químico-mineral y valor nutritivo de rebrotes de variedades de *Cenchrus purpureus*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización, clima y suelo

El estudio comprendió de noviembre de 2015 a diciembre de 2017, abarcando dos estaciones lluviosas dentro del período experimental. Se utilizaron parcelas de 200 m<sup>2</sup> ubicadas en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes situada en los 20° 18' 13" de latitud norte y los 76° 39' 48" de longitud oeste, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov" en la provincia Granma, Cuba.

El clima prevaleciente en la zona de estudio se clasifica como tropical relativamente húmedo (Barranco y Díaz, 1989), la estación de lluvias está definida en el período mayo-octubre (ONEI, 2016). Durante el período experimental se registraron 2109.5 mm que representaron el 85.8% del régimen pluviométrico para la época de lluvias. Existieron fluctuaciones con valores mínimos de cero mm (Julio) y máximo de 415 mm (mayo) (Figura 1).



**Figura 1.** Dinámica pluvial y media histórica mensual para el período 2015-2017.

### Característica del suelo

El suelo del área de estudio es de tipo fluvisol poco diferenciado (Hernández *et al.*, 2015), presenta drenaje deficiente, topografía plana, fertilidad media, pH bajo (ligeramente alcalino), y con disponibilidad de nutrientes bajo la capa superior (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018b). La humedad total durante el período 2013-2015 fue del 19.7 al 40.6% en los primeros 60 cm de profundidad del suelo.

### Material vegetal

El material vegetal fue proporcionado por el departamento de Pastos y Forrajes del Instituto de Ciencia Animal, Cuba, utilizando las variedades CT-601 y CT-603 obtenidas a partir de cultivos de tejidos del progenitor CT-115. Las variedades forrajeras tenían seis años de establecidas en parcelas de 200 m<sup>2</sup>, con 0.75m entre plantas y 1 m entre surcos.

### Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo factorial, considerando como factores la variedad (CT-601, CT603 y CT-115 -como control-; edad de rebrote (60, 80, 100 y 120 días de rebrote -DR-) y su interacción (variedad x DR) para un total de doce tratamientos. Se emplearon cuatro repeticiones por tratamiento.

### Procedimiento experimental

Para la representatividad de las muestras, los surcos se distribuyeron de manera intercalada en función de las edades a evaluar (60, 80, 100 y 120 DR), estos se fraccionaron en subparcelas de 4,50 m lineales, con cuatro repeticiones y 1 m de efecto de borde al comienzo y final de cada surco, considerando a la macolla como unidad de observación y el surco de 4.5 m lineales como unidad muestral, la unidad experimental fue la parcela de 200 m<sup>2</sup>, esta estructura de muestreo se mantuvo fija durante los dos años de experimentación.

Dentro de cada repetición se tomaron cinco macollas en cada edad de rebrote. En cada muestreo, se segaron todas las plantas de cada repetición y se tomaron 300g de hojas y planta entera, separándose con tijera de acero inoxidable para posteriormente someterse a secado en estufa de aire forzado a 100°C, durante una hora y después, a 60°C hasta alcanzar peso constante. Los cortes efectuados para cada edad fueron homogenizados y, por último, en un molino de cuchillas, se redujeron a 1 mm de tamaño de partícula para determinar la composición química. Las muestras se trasladaron al laboratorio de Química Analítica del departamento de Fisiología Animal del Instituto de Ciencia Animal (ICA), Mayabeque, Cuba.

### Composición química y valor nutritivo

Las muestras de hojas y planta entera secadas previamente se destinaron para la estimación de la

composición química por triplicado. Los componentes de fibra en detergente neutro (FDN, %), fibra en detergente ácido (FDA, %), lignina detergente ácido (LDA, %), celulosa (%) y hemicelulosa (Hcel, %) se determinaron según Goering y Van-Soest (1970), proteína (%), fósforo (%), calcio (%), magnesio (%) y sílice (%) y contenido celular (CC) según las consideraciones de Latimer (2016).

La digestibilidad de la materia seca (DMS, %) se calculó como:  $DMS = 70.48 - 0.4399 * FDN$ ; (Digestibilidad de la materia orgánica, DMO, %):  $(1.013 * DMS) + (0.258 * prot) - (3.89 * 10^{-3}) * prot * DMS$ ). Energía metabolizable (EM, MJ kg MS<sup>-1</sup>) se estimó con base en la ecuación:  $ME (MJ kg MS) = (37.28 * DMO) - 148.9 / 1000$ ; ENL (Energía neta de lactación, MJ kg MS<sup>-1</sup>) =  $(26.28 * DMO) - 359$  y ENE (energía neta de engorde, MJ kg MS<sup>-1</sup>) =  $(32.52 * DMO) - 793$  según (Caceres y Gonzalez-Garcia, 2000).

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el sistema Statistics 12.0. Se comprobó la distribución normal de los datos según Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) y la homogeneidad de varianzas según la prueba de Bartlett (1937).

Se realizaron análisis de varianza multifactorial para las variables químicas estudiadas en hojas y planta

entera. Para la comparación múltiple de medias se utilizó la prueba de Keuls (1952) aun nivel de confianza del 95%. El modelo matemático empleado en cada uno de los ANOVAs fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + ER_i + V_j + (ER \times V)_{ij} + e_{ij}$$

$Y_{ijk}$  = variable respuesta;  $\mu$  = constante común para todas las observaciones;  $ER_i$  = efecto de la i-ésima edad de rebrote ( $j=1, \dots, 4$ );  $V_j$  = efecto del j-ésima variedad ( $k=1, \dots, 3$ );  $ER \times V_{ij}$  = efecto combinado de la i-ésima edad de rebrote en la j-ésima variedad;  $e_{ij}$  = error aleatorio  $\sim N(0, \sigma^2_e)$ .

## RESULTADOS

En la constitución fibrosa de la pared celular en hojas de variedades de *C. purpureus* en diferentes DR, se obtuvo que en la FDA, la variedad CT-603 a los 100 días obtuvo el mayor valor ( $P \leq 0.001$ ) respecto a sus valores propios en las edades precedentes, y respecto al CT-601 y CT-115 en las diferentes edades de rebrote, el valor significativamente ( $P \leq 0.001$ ) inferior se obtuvo en el CT-601 a los 60 días, y también difirió ( $P \leq 0.001$ ) del resto de los promedios, incluso los propios en las edades posteriores. La FDN tuvo un comportamiento similar en cuanto a variedad y DR para el valor significativamente superior, mientras que el inferior ( $P \leq 0.001$ ), respecto al control y CT-601, se observó en el CT-603 a los 60 DR (Tabla 1).

**Tabla 1. Efecto de la edad de rebrote y variedad de *C. purpureus* en el contenido de compuestos estructurales en hojas.**

DR	Variedades							
	CT-601	CT-603	CT-115	P	CT-601	CT-603	CT-115	P
	FDA <sup>1</sup> (%)				FDN <sup>2</sup> (%)			
60	39.33±0.20 <sup>e*</sup>	38.80±0.07 <sup>f</sup>	39.93±0.48 <sup>d</sup>	0.001	74.63±0.12 <sup>f</sup>	74.30±0.06 <sup>f</sup>	74.73±0.51 <sup>f</sup>	0.001
80	41.98±0.24 <sup>c</sup>	42.38±0.03 <sup>c</sup>	42.32±0.26 <sup>c</sup>		76.20±0.56 <sup>e</sup>	76.83±0.45 <sup>d</sup>	77.53±0.06 <sup>c</sup>	
100	45.83±0.13 <sup>b</sup>	46.45±0.25 <sup>a</sup>	45.73±0.19 <sup>b</sup>		80.53±0.11 <sup>b</sup>	81.73±0.22 <sup>a</sup>	80.41±0.18 <sup>b</sup>	
120	39.71±0.48 <sup>e</sup>	45.73±0.19 <sup>b</sup>	37.57±0.30 <sup>g</sup>		74.04±0.37 <sup>g</sup>	72.81±0.21 <sup>h</sup>	72.59±0.34 <sup>h</sup>	
±EE	0.04				0.45			
	LDA <sup>3</sup> (%)				Celulosa (%)			
60	3.25±0.09 <sup>f</sup>	3.19±0.23 <sup>f</sup>	3.45±0.23 <sup>e</sup>	0.001	35.98±0.19 <sup>f</sup>	35.49±0.40 <sup>f</sup>	36.58±0.70 <sup>e</sup>	0.001
80	3.54±0.24 <sup>e</sup>	4.21±0.09 <sup>c</sup>	4.17±0.03 <sup>c</sup>		38.05±0.15 <sup>d</sup>	38.45±0.26 <sup>c</sup>	37.59±1.05 <sup>d</sup>	
100	4.44±0.08 <sup>b</sup>	4.84±0.07 <sup>a</sup>	4.78±0.31 <sup>a</sup>		41.20±0.22 <sup>b</sup>	42.73±0.05 <sup>a</sup>	41.31±0.51 <sup>b</sup>	
120	3.97±0.11 <sup>d</sup>	3.17±0.07 <sup>f</sup>	3.06±0.17		35.33±0.10 <sup>f</sup>	34.71±0.18 <sup>g</sup>	34.54±0.16 <sup>g</sup>	
±EE	0.012				0.03			
	Hcel <sup>4</sup> (%)				CC <sup>5</sup> (%)			
60	35±0.24 <sup>bc</sup>	34.68±0.10 <sup>bc</sup>	35.54±0.78 <sup>b</sup>	0.001	26.97±0.37 <sup>a</sup>	26.48±0.18 <sup>a</sup>	26.79±0.14 <sup>a</sup>	0.001
80	34.13±0.34 <sup>c</sup>	35.16±0.26 <sup>bc</sup>	35.66±0.36 <sup>b</sup>		25.09±0.18 <sup>b</sup>	24.93±0.16 <sup>b</sup>	26.33±0.21 <sup>a</sup>	
100	34.56±0.11 <sup>bc</sup>	35.12±0.24 <sup>bc</sup>	34.95±0.53 <sup>bc</sup>		22.91±0.32 <sup>c</sup>	23.47±0.06 <sup>c</sup>	23.27±0.31 <sup>c</sup>	
120	36.72±0.31 <sup>a</sup>	34.95±0.36 <sup>bc</sup>	35.57±1.63 <sup>b</sup>		19.15±0.16 <sup>e</sup>	19.96±0.30 <sup>d</sup>	19.63±0.85 <sup>de</sup>	
±EE	0.04				0.18			

\*Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Keuls (1952).

DR<sup>y</sup>: Días de rebrote; ±EE: Error estándar; P: p valor; FDA<sup>1</sup>: Fibra detergente ácido; FDN<sup>2</sup>: Fibra detergente neutro; LDA<sup>3</sup>: Lignina detergente ácido; Hcel<sup>4</sup>: Hemicelulosa; CC<sup>5</sup>: Contenido celular.

La LAD manifestó un incremento progresivo a los 100 días en el control (CT-115) y CT-603, los cuales fueron distintivos ( $P \leq 0.001$ ) respecto al CT-601 y valores propios para cada variedad en edades anteriores, sin embargo, el CT-601 a los 60 días mostró, de todos los tratamientos, el menor valor ( $P \geq 0.05$ ), coincidiendo con el CT-603 y CT-115 a los 120 días.

Para el contenido celular (Tabla 1), se obtuvieron los mayores ( $P \leq 0.001$ ) valores a los 120 DR en todas las variedades, el CT-115 mostró otro pico a los 60 DR, lo que conlleva a que se superara ( $P \leq 0.001$ ) al resto de los promedios en las diferentes edades, y con los propios a los 80 y 100 días.

En relación al contenido de la constitución fibrosa de la planta integra en diferentes edades de rebrote, se obtuvieron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.001$ ) en todas las variables evaluadas (Tabla 2). En la FDA, el valor más alto se observó en CT-603 a los 100 DR y el valor más bajo fue cuantificado en CT-601 a los 120 DR. En la LDA, CT-601, CT-603 y CT-115 presentaron los valores más altos, mientras que CT-601 a los 60 y 120 DR presentó los valores más bajos, respecto al control. Para la Hcel, los valores más altos fueron para CT-603 y CT-115 a los 120 DR y el valor más bajo fue en CT-

601 a los 60 DR. En la FDN, el mayor valor fue en CT-603 a los 100 DR y los más bajos fueron en CT-601 y CT-603 a los 60 y 120 DR, respectivamente. En la celulosa, el valor más alto se cuantificó en CT-603 a los 60 DR, mientras que en CT-601 a los 120 DR se observó el valor más bajo. Para el CC, el valor más alto fue en CT-115 a los 60 DR y los valores más bajos fueron para CT-601, CT-603 y CT-115 a los 120 DR.

En el valor nutritivo de hojas en las diferentes edades de rebrotes se obtuvieron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.001$ ) en todas las variables evaluadas (Tabla 3). Para la DIMS, el valor más alto fue cuantificado en CT-603 a los 60 DR y el valor más bajo fue para la misma variedad a los 120 DR. En la EM, el CT-115 presentó el valor más alto mientras que CT-601 a los 120 DR obtuvo el valor más bajo. En relación al ENL, CT-115 presentó el valor más alto a los 60 DR y CT-601 el valor más bajo a los 120 DR. Para la DIMO, el valor más alto fue para CT-115 a los 30 DR y el valor más bajo fue observado para CT-601 a los 120 DR. En la variable ENE, el valor más alto fue para CT-115 a los 60 DR y el valor más bajo fue para CT-601 a los 120 DR. En el contenido de proteína, el valor más alto fue para CT-601 y CT-115 a los 60 DR y el más bajo fue para CT-115 a los 120 DR.

**Tabla 2. Efecto de la edad de rebrote y variedad de *C. purpureus* en el contenido de compuestos estructurales en planta entera.**

DR <sup>y</sup>	Variedades							
	CT-601	CT-603	CT-115	P	CT-601	CT-603	CT-115	P
	FDA <sup>1</sup> (%)				FDN <sup>2</sup> (%)			
60	40.43±0.89 <sup>fs</sup>	41.49±0.43 <sup>c</sup>	42.64±0.62 <sup>d</sup>	0.001	76.50±0.73 <sup>g</sup>	78.86±0.15 <sup>e</sup>	78.75±0.60 <sup>e</sup>	0.001
80	42.97±0.20 <sup>cd</sup>	40.53±0.25 <sup>f</sup>	41.22±0.15 <sup>ef</sup>		80.98±0.63 <sup>c</sup>	77.61±0.14 <sup>f</sup>	79.73±0.75 <sup>d</sup>	
100	43.92±0.21 <sup>ab</sup>	44.59±0.31 <sup>a</sup>	43.62±0.22 <sup>bc</sup>		81.94±0.27 <sup>ab</sup>	82.60±0.15 <sup>a</sup>	81.71±0.13 <sup>b</sup>	
120	37.38±0.19 <sup>h</sup>	37.79±0.41 <sup>gh</sup>	38.46±0.13 <sup>g</sup>		75.93±0.28 <sup>g</sup>	76.06±0.20 <sup>g</sup>	78±0.21 <sup>f</sup>	
±EE	0.08				0.15			
	LDA <sup>3</sup> (%)				Celulosa (%)			
60	3.22±0.23 <sup>g</sup>	3.52±0.18 <sup>fg</sup>	3.81±0.20 <sup>ef</sup>	0.001	36.40±0.81 <sup>de</sup>	39.01±0.19 <sup>a</sup>	37.64±0.59 <sup>bc</sup>	0.001
80	5.71±0.18 <sup>b</sup>	4.35±0.12 <sup>d</sup>	4.97±0.13 <sup>c</sup>		37.09±0.56 <sup>bcd</sup>	35.70±0.33 <sup>e</sup>	36±0.47 <sup>de</sup>	
100	6.54±0.17 <sup>a</sup>	6.30±0.35 <sup>a</sup>	6.51±0.12 <sup>a</sup>		36.93±0.28 <sup>cd</sup>	38.09±0.35 <sup>b</sup>	37.08±0.17 <sup>bcd</sup>	
120	3.10±0.25 <sup>g</sup>	3.48±0.21 <sup>fg</sup>	3.93±0.06 <sup>e</sup>		33.95±0.29 <sup>g</sup>	34.84±0.87 <sup>f</sup>	35.61±0.04 <sup>ef</sup>	
±EE	0.16				0.07			
	Hcel <sup>4</sup> (%)				CC <sup>5</sup> (%)			
60	35.97±0.42 <sup>f</sup>	36.77±0.45 <sup>e</sup>	37.70±0.64 <sup>cd</sup>	0.001	23.57±0.10 <sup>b</sup>	23.88±0.34 <sup>ab</sup>	24.62±0.25 <sup>a</sup>	0.001
80	38.38±0.25 <sup>abc</sup>	36.90±0.08 <sup>e</sup>	37.27±0.08 <sup>de</sup>		21.82±0.38 <sup>cd</sup>	21.74±0.83 <sup>cd</sup>	22.02±0.48 <sup>c</sup>	
100	38±0.48 <sup>bcd</sup>	38.71±0.25 <sup>ab</sup>	37.99±0.16 <sup>cd</sup>		22.50±0.22 <sup>c</sup>	20.90±0.13 <sup>d</sup>	21.40±0.09 <sup>cd</sup>	
120	38.67±0.09 <sup>ab</sup>	39.07±0.38 <sup>a</sup>	38.90±0.32 <sup>a</sup>		19.31±1.06 <sup>e</sup>	19.33±0.18 <sup>e</sup>	18.04±0.11 <sup>e</sup>	
±EE	0.04				0.03			

\*Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Keuls (1952).

DR<sup>y</sup>: Días de rebrote; ±EE: Error estándar; P: p valor; FDA<sup>1</sup>: Fibra detergente ácido; FDN<sup>2</sup>: Fibra detergente neutro; LDA<sup>3</sup>: Lignina detergente ácido; Hcel<sup>4</sup>: Hemicelulosa; CC<sup>5</sup>: Contenido celular.

**Tabla 3. Efecto de la edad de rebrote y variedad de *C. purpureus* en el valor nutritivo de hojas.**

DR <sup>y</sup>	Variedades							
	CT-601	CT-603	CT-115	P	CT-601	CT-603	CT-115	P
	DIMS <sup>1</sup> (%)				DIMO <sup>2</sup> (%)			
60	67.26±0.06 <sup>c*</sup>	78.77±0.10 <sup>a</sup>	69.01±0.06 <sup>b</sup>	0.001	51.62±0.15 <sup>f</sup>	57.45±0.33 <sup>c</sup>	62.45±0.11 <sup>a</sup>	0.001
80	56.53±0.16 <sup>h</sup>	62.73±0.21 <sup>e</sup>	58.40±0.08 <sup>g</sup>		48.83±0.09 <sup>g</sup>	53.53±0.26 <sup>e</sup>	59.48±0.15 <sup>b</sup>	
100	55.66±0.33 <sup>i</sup>	50.89±0.14 <sup>j</sup>	59.68±0.24 <sup>f</sup>		41.59±0.27 <sup>i</sup>	48.30±0.27 <sup>h</sup>	56.45±0.30 <sup>d</sup>	
120	63.83±0.21 <sup>d</sup>	40.62±0.09 <sup>k</sup>	63.02±0.06 <sup>c</sup>		38.40±0.14 <sup>j</sup>	41.54±0.23 <sup>i</sup>	45.34±0.33 <sup>i</sup>	
±EE	6.19				0.22			
	EM <sup>3</sup> (MJ kg MS <sup>-1</sup> )				ENE <sup>4</sup> (MJ kg MS <sup>-1</sup> )			
60	7.42±0.02 <sup>f</sup>	8.33±0.05 <sup>c</sup>	9.11±0.02 <sup>a</sup>	0.001	3.70±0.02 <sup>f</sup>	4.49±0.04 <sup>c</sup>	5.17±0.02 <sup>a</sup>	0.001
80	6.99±0.01 <sup>g</sup>	7.72±0.04 <sup>e</sup>	8.65±0.02 <sup>b</sup>		3.32±0.01 <sup>g</sup>	3.96±0.04 <sup>e</sup>	4.77±0.02 <sup>b</sup>	
100	5.86±0.04 <sup>j</sup>	6.90±0.04 <sup>h</sup>	8.17±0.05 <sup>d</sup>		2.34±0.04 <sup>j</sup>	3.25±0.04 <sup>h</sup>	4.36±0.04 <sup>d</sup>	
120	5.36±0.02 <sup>k</sup>	5.85±0.04 <sup>j</sup>	6.44±0.05 <sup>i</sup>		1.91±0.02 <sup>k</sup>	2.33±0.03 <sup>j</sup>	2.85±0.04 <sup>i</sup>	
±EE	0.005				0.004			
	ENL <sup>5</sup> (MJ kg MS <sup>-1</sup> )				Proteína (%)			
60	4.17±0.02 <sup>d</sup>	4.81±0.04 <sup>c</sup>	5.36±0.01 <sup>a</sup>	0.001	9.13±0.65 <sup>a</sup>	7.56±0.37 <sup>c</sup>	9.72±0.38 <sup>a</sup>	0.001
80	3.86±0.01 <sup>e</sup>	4.38±0.03 <sup>d</sup>	5.03±0.02 <sup>b</sup>		7.08±0.05 <sup>cd</sup>	6.61±0.56 <sup>de</sup>	6.27±0.04 <sup>e</sup>	
100	3.07±0.03 <sup>h</sup>	3.81±0.03 <sup>f</sup>	4.70±0.03 <sup>b</sup>		5.19±0.07 <sup>fg</sup>	5.63±0.12 <sup>f</sup>	5.36±0.16 <sup>fg</sup>	
120	2.72±0.02 <sup>i</sup>	3.06±0.03 <sup>h</sup>	3.48±0.04 <sup>g</sup>		8.87±0.41 <sup>b</sup>	5.67±0.20 <sup>f</sup>	4.80±0.33 <sup>g</sup>	
±EE	0.002				0.001			

\*Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Keuls (1952).

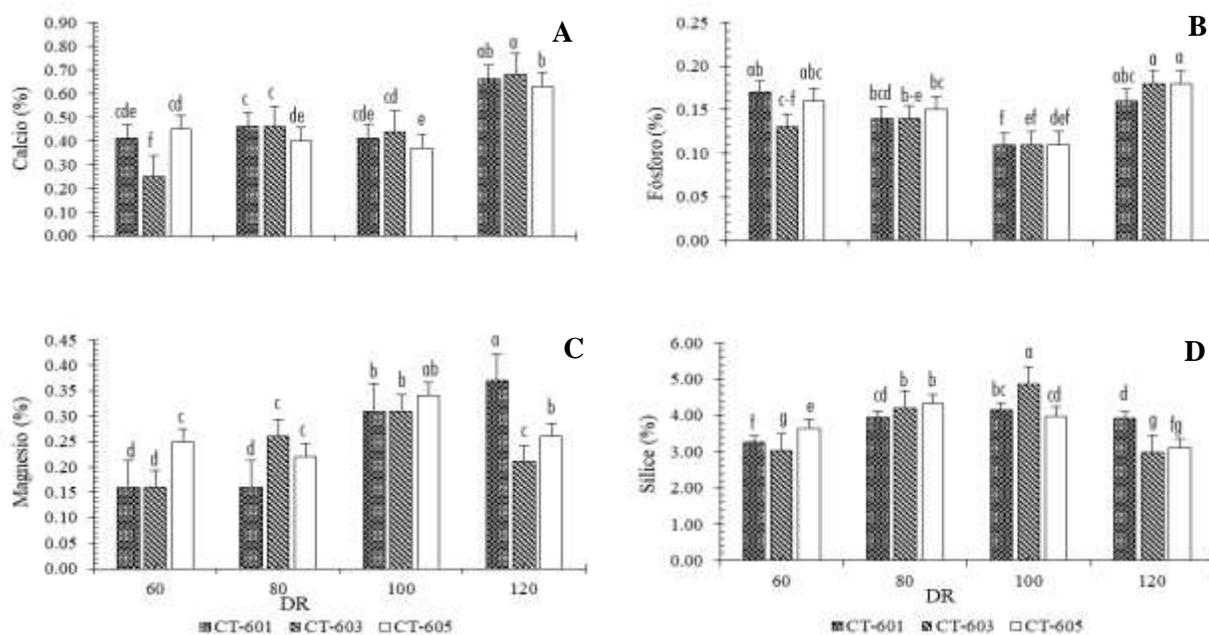
DR<sup>y</sup>: Días de rebrote; ±EE: Error estándar; P: p valor; DIMS<sup>1</sup>: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIMO<sup>2</sup>: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; EM<sup>3</sup>: Energía metabolizable; ENE<sup>4</sup>: Energía neta de engorde; ENL<sup>5</sup>: Energía neta lactación.

**Tabla 4. Efecto de la edad de rebrote y variedad de *C. purpureus* en el valor nutritivo de la planta integra.**

DR <sup>y</sup>	Variedades							
	CT-601	CT-603	CT-115	P	CT-601	CT-603	CT-115	P
	DIMS <sup>1</sup> (%)				DIMO <sup>2</sup> (%)			
60	51.05±0.03 <sup>g</sup>	66.82±0.03 <sup>a</sup>	57.34±0.20 <sup>d</sup>	0.001	46.70±0.06 <sup>g</sup>	50.53±0.15 <sup>a</sup>	45.36±0.24 <sup>c</sup>	0.001
80	61.37±0.08 <sup>c</sup>	64.06±0.03 <sup>b</sup>	56.63±0.24 <sup>e</sup>		45.25±0.27 <sup>d</sup>	49.54±0.07 <sup>b</sup>	42.66±0.19 <sup>e</sup>	
100	48.65±0.14 <sup>i</sup>	50.46±0.15 <sup>h</sup>	55.28±0.17 <sup>f</sup>		42.62±0.17 <sup>e</sup>	45.32±0.15 <sup>d</sup>	39.32±0.14 <sup>h</sup>	
120	42.35±0.14 <sup>k</sup>	46.27±0.17 <sup>j</sup>	46.22±0.10 <sup>j</sup>		40.33±0.07 <sup>g</sup>	41.32±0.16 <sup>f</sup>	35.57±0.13 <sup>i</sup>	
±EE	1.59				0.1			
	EM <sup>3</sup> (MJ kg <sup>-1</sup> )				ENE <sup>4</sup> (MJ kg <sup>-1</sup> )			
60	6.65±0.01 <sup>c</sup>	7.25±0.02 <sup>a</sup>	6.63±0.04 <sup>c</sup>	0.001	3.03±0.01 <sup>c</sup>	3.55±0.02 <sup>a</sup>	3.01±0.03 <sup>c</sup>	0.001
80	6.46±0.04 <sup>d</sup>	7.10±0.01 <sup>b</sup>	6.02±0.03 <sup>d</sup>		2.86±0.04 <sup>d</sup>	3.42±0.01 <sup>b</sup>	2.48±0.03 <sup>e</sup>	
100	6.02±0.03 <sup>e</sup>	6.44±0.16 <sup>d</sup>	5.50±0.02 <sup>h</sup>		2.48±0.02 <sup>e</sup>	2.85±0.02 <sup>d</sup>	2.03±0.02 <sup>h</sup>	
120	5.66±0.01 <sup>g</sup>	5.82±0.02 <sup>f</sup>	4.92±0.02 <sup>i</sup>		2.17±0.01 <sup>g</sup>	2.30±0.02 <sup>f</sup>	1.52±0.02 <sup>i</sup>	
±EE	0.002				0.018			
	ENL <sup>5</sup> (MJ kg <sup>-1</sup> )				Proteína (%)			
60	3.63±0.01 <sup>c</sup>	4.05±0.02 <sup>a</sup>	3.61±0.03 <sup>c</sup>	0.001	6.53±0.21 <sup>a</sup>	6±0.13 <sup>abc</sup>	5.81±0.57 <sup>abc</sup>	0.001
80	3.89±0.03 <sup>d</sup>	3.94±0.01 <sup>b</sup>	3.19±0.02 <sup>e</sup>		5.74±0.18 <sup>abc</sup>	6.07±0.33 <sup>abc</sup>	5.31±0.57 <sup>abc</sup>	
100	3.18±0.02 <sup>e</sup>	3.48±0.02 <sup>a</sup>	2.82±0.02 <sup>h</sup>		5.24±0.18 <sup>abc</sup>	5.48±0.35 <sup>c</sup>	6±0.07 <sup>abc</sup>	
120	2.93±0.01 <sup>g</sup>	3.04±0.02 <sup>f</sup>	2.41±0.01 <sup>i</sup>		5.55±0.66 <sup>bc</sup>	6.14±0.32 <sup>abc</sup>	6.39±0.20 <sup>ab</sup>	
±EE	0.001				0.04			

\*Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Keuls (1952).

DR<sup>y</sup>: Días de rebrote; ±EE: Error estándar; P: p valor; DIMS<sup>1</sup>: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIMO<sup>2</sup>: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; EM<sup>3</sup>: Energía metabolizable; ENE<sup>4</sup>: Energía neta de engorde; ENL<sup>5</sup>: Energía neta lactación.



**Figura 2.** Contenido de macroelementos en hojas de variedades de *C. purpureus*. Columnas con diferentes letras indican diferencias estadísticas ( $P \leq 0.001$ ) a un nivel confianza del 95% según Keuls (1952). Las barras indican el error estándar

En relación al valor nutritivo de la planta integra de *C. purpureus* se obtuvieron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.001$ ) en todas las variables evaluadas (Tabla 4). En la DIMS, el valor más alto fue cuantificado en CT-603 a los 60 DR y el valor más bajo fue en CT-601 a los 120 DR. Para el EM, CT-603 presentó el valor más alto a los 60 DR, mientras que la variedad CT-115 a los 120 DR presentó el valor más bajo. En relación al ENL, CT-603 presentó el valor más alto a los 60 y 100 DR y CT-115 obtuvo el valor más bajo a los 120 DR. Para la DIMO, el valor más alto fue para CT-603 a los 60 DR y el valor más bajo fue para CT-115 a los 120 DR. En la variable ENE, el valor más alto fue para CT-603 a los 60 DR y el valor más bajo fue para CT-115 a los 120 DR. En el contenido de proteína, el valor más alto fue para CT-601 a los 60 DR y el más bajo fue en CT-603 a los 100 DR.

En la cuantificación de macroelementos en hoja de *C. purpureus*, se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) en las variables evaluadas (Figura 2). En el contenido de calcio (%), el valor más alto fue cuantificado en CT-603 a los 120 DR y el valor más bajo fue para la misma variedad a los 60 DR. Para el contenido de magnesio (%), el valor más alto fue para CT-601 a los 120 DR y el más bajo fue para la misma variedad a los 60 y 80 DR y para CT-603 a los 60 DR. En el contenido de fósforo (%), los valores más altos fueron para CT-603 y CT-115 a los 120 DR y el más bajo fue para CT-601 a los 100 DR. Para el contenido de sílice (%), el valor más alto fue para CT-603 a los

100 DR y el valor más bajo fue para la misma variedad a los 60 y 120 DR.

En el contenido de macroelementos en planta integra de *C. purpureus*, se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) en las variables evaluadas (Figura 3). En el contenido de calcio (%), el valor más alto fue cuantificado en CT-603 a los 120 DR y el valor más bajo para la misma variedad a los 100 DR y para CT-601 a los 100 DR. Para el contenido de magnesio (%), el valor más alto fue para CT-603 y CT-115 a los 80 y 100 DR, respectivamente y el más bajo fue para CT-601 a los 100 DR. En el contenido de fósforo (%), los valores más altos fueron para CT-601 a los 60 y 80 DR, CT-115 a los 60 DR y CT-603 a los 120 DR. Para el contenido de sílice (%), el valor más alto fue para CT-601, CT-603 y CT-115 a los 100 DR y el valor más bajo fue para CT-601 a los 60 y 120 DR y para CT-603 a los 120 DR.

## DISCUSIÓN

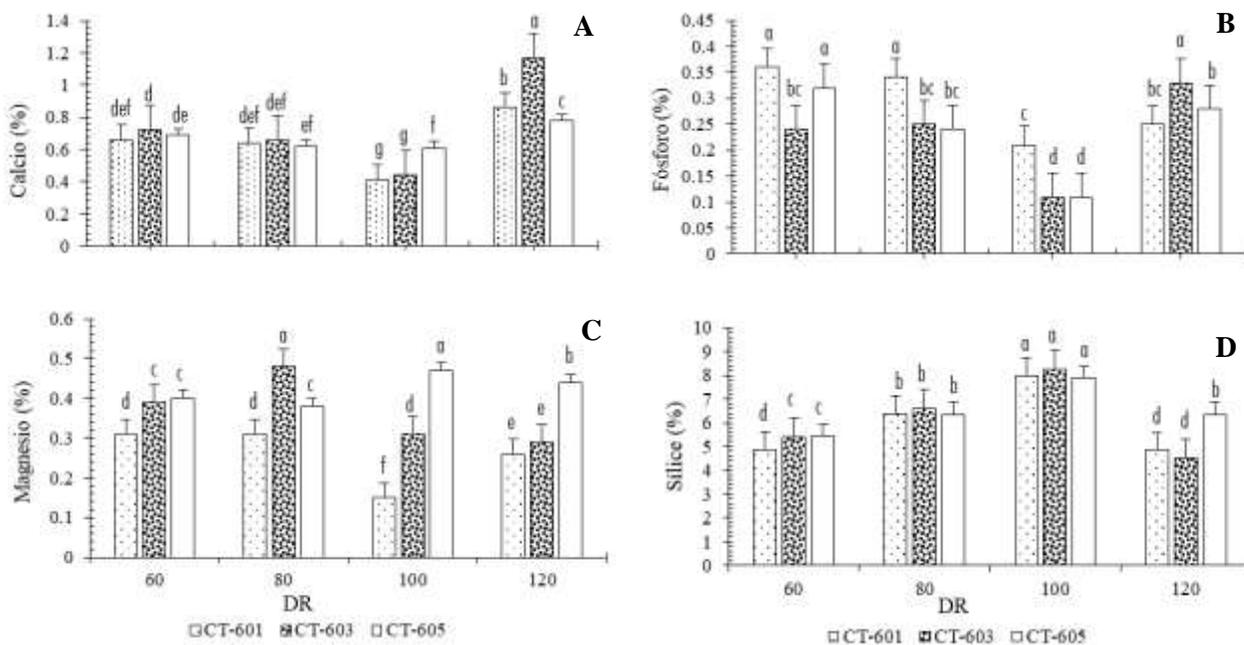
Las diferencias en el contenido de los componentes estructurales en las hojas y planta integra de *C. purpureus* en los diferentes días de rebrote está relacionado con las características fenológicas de cada variedad como la biomasa foliar, largo de la hoja, materia seca y edad de la planta, las cuales, influyen en el contenido de los componentes de la pared celular (Rueda *et al.*, 2016; Solati *et al.*, 2017). Además, diversos factores abióticos como el agua, temperatura

e intensidad luminosa pueden influir en el grosor de la pared celular de las plantas, modificando sus componentes estructurales (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018b; Arias *et al.*, 2019). Los cambios en la expresión génica de las plantas ante un estrés abiótico (por calor, frío o agua) también juega un papel importante en la modificación de los componentes de la pared celular (Behr *et al.*, 2015).

Al respecto Guerriero *et al.* (2014), comentan que existe una deposición de celulosa en las paredes celulares de las plantas como un mecanismo secundario de defensa, generando una mayor tolerancia y/o resistencia al estrés externo (Chupin *et al.*, 2020). El contenido de xilano aumenta el endurecimiento de la pared celular como respuesta a factores estresantes abióticos (Hori *et al.*, 2020). El contenido de nutrientes en el suelo y la fertilización orgánica y sintética también son factores que intervienen para la concentración de FDA y FDN en hojas (Neves *et al.*, 2018), principalmente los nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio (Yang *et al.*, 2020) y sílice (Kumar *et al.*, 2017) incrementa la disponibilidad de aminoácidos en la célula, lo cual, promueve un mayor desarrollo de paredes celulares delgadas con incremento del lumen celular (Na *et al.*, 2016). La concentración total de FDA y FDN es

catalogada como aceptable si sus valores están entre 50-60%, sin embargo, plantas u órganos con valores superiores al intervalo mencionado, son consideradas de mala calidad (Van Soest, 1982), no obstante, es importante considerar el comportamiento individual de las moléculas que se integran dentro de estas variables como la lignina, celulosa y hemicelulosa.

Gezahagn *et al.*, (2014) señalaron que, la integración no solo del tallo, si no hojas, vainas, semillas y frutos; y la superioridad en proporción de unos sobre otros (variaciones morfológicas), en la evaluación del valor nutritivo de la planta, contribuyen a importantes oscilaciones en la estimación del valor nutritivo del alimento, pero que constituirían estrategias importantes para establecer la forma de suministro (heno, forraje o ensilaje), experiencias previas en estudios agroproductivos de las presentes variedades, señalan aportes de MS de la planta entera de 1-4 t MS ha<sup>-1</sup> (Arias *et al.*, 2019), mientras que los estudios agronómicos señalaron porcentajes de tallos en el período lluvioso entre 68.3-97 %, mientras que las hojas solo entre 15 y 51% (Ledea *et al.*, 2018a), aspectos que se vinculan a la composición química de las variedades, ya que crecieron en el mismo ecosistema de las variedades del presente estudio.



**Figura 3.** Contenido de macroelementos en planta integra de variedades de *C. purpureus*. Columnas con diferentes letras indican diferencias estadísticas ( $P \leq 0.001$ ) a un nivel de confianza del 95% según Keuls (1952). Las barras indican el error estándar

Respecto a la concentración de las moléculas de forma independiente Grygierzec (2012) señaló que para plantas inmaduras la concentraciones de celulosa y compuestos no celulósicos estaría en proporciones 25 y 60%, respectivamente, mientras que en las plantas maduras podrían manifestar 38% de celulosa, 43% de polisacáridos no estructurales y 17% de lignina. Los valores observados en este estudio, indican que la celulosa se ubica en el intermedio de plantas inmaduras y maduras, mientras que la lignina, sus valores son inferiores, debido a la respuesta diferencial que existe entre plantas de un mismo género a las condiciones ambientales de la zona de estudio (Sosnowski *et al.*, 2017).

La variación en los valores de ENE, ENL y EM de *C. purpureus*, está relacionada con la producción de biomasa de las plantas, la cual, se incrementa generalmente en la época de lluvia incrementándose la fracción fibrosa si el manejo agronómico no es el adecuado (Habte *et al.*, 2020), además de que, el crecimiento, la estructuración morfológica y el patrón de distribución de los haces vasculares en las hojas y presencia de macolla, modifican el contenido de fibra en los diferentes estratos de la planta (Rincón *et al.*, 2018). El aporte energético de la planta, contenido de proteína, DIMS y DIMO, son variables que se modifican por efecto de la respuesta fenotípica y genotípica hacia factores medio-ambientales, algunas de estas variables se incrementan por algún factor abiótico como el agua, fertilización o radiación (Pequeno *et al.*, 2015; Dourado *et al.*, 2019).

El contenido mineral de hojas y planta integra de *C. purpureus* se ve afectado por diversos factores, entre ellos; clima (Darch *et al.*, 2020), microbiológico (bacterias benéficas u hongos micorrízicos arbusculares) (Jach-Smith y Jackson, 2018), físicos (propiedades del suelo), químicos (antagonismo que se establecen entre los diferentes minerales en la solución del suelo) (Kapur *et al.*, 2019) y genéticos (Soetan *et al.*, 2010). Al respecto Muñoz-González *et al.* (2014), señalan que en la estación lluviosa las plantas cambian el contenido mineral de sus hojas debido a que incrementan su tasa metabólica por el crecimiento y producción de biomasa aérea del rebrote. En relación a la calidad de *C. purpureus* para su uso como alimento animal, el contenido mineral de fósforo y calcio debe ser superior al 0.25% en materia seca y del magnesio al 6%, si el contenido de los nutrimentos es menor, deben considerarse alternativas de suplementación alimentaria para un mejor aprovechamiento animal (Cunha y McDowell, 2012). Aunque para el magnesio no existen valores de referencia para ser aprovechado para los animales rumiantes, este elemento juega un papel importante en el proceso de la fotosíntesis, translocación de iones hidrógeno, producción de ácidos grasos orgánicos, entre otros (Gelley *et al.*, 2017; da Costa Leite *et al.*, 2020). Por su parte el sílice,

es un elemento importante en el crecimiento y desarrollo de la planta, se vinculan directamente en los procesos de desintoxicación en los tejidos vegetales, además de cementante de la pared celular (Mehrabanjoubani *et al.*, 2019).

## CONCLUSIONES

Las variedades CT-601 y CT-603 de *C. purpureus* presentaron particularidades en la composición química de la fracción fibrosa dentro de las diferentes edades de rebrote que las diferenciaron del tratamiento control (variedad CT-115). La diversidad de rangos de los compuestos fibrosos en hojas estuvo entre 50-60% de FDN y  $\leq 6\%$  de LDA, lo cual no llega a afectar la calidad bromatológica. En la planta entera, sin embargo, el contenido de tallos afectó su calidad (FDN $\geq 60\%$ ). Tanto hojas como planta entera presentan afectaciones en el perfil mineral (Ca y P) y contenido de proteína que no permite la nutrición de rumiantes, por lo tanto, deben considerarse alternativas de suplementación alimentaria. El aporte energético para hojas y planta entera es aceptable.

### Agradecimientos

Al MC Ramón C. Arias Pérez e Ing. José M. Cruz Tejada, especialistas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, por su contribución en el establecimiento de las variedades en estudio, procesamiento y almacenamiento de muestras de pastos colectadas. Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, por su disposición para el desarrollo de las actividades experimentales, bajo el amparo de un proyecto nacional.

**Financiamiento.** La presente investigación fue financiada por los proyectos, PAZA-CIBNOR México y el PI31LH002.016 del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, Cuba.

**Conflicto de intereses.** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Cumplimientos de estándares de ética.** No aplica debido a la naturaleza del estudio.

**Disponibilidad de datos.** Los datos están disponibles con José L. Ledeá Rodríguez, ledea1017@gmail.com previa solicitud razonable

## REFERENCIAS

- Adler, P.R., Sanderson, M.A., Boateng, A.A., Weimer, P.J. and Jung, H.J.G., 2006. Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agronomy Journal*, 98(6), pp.1518–1525.

- Andrade, A.C., Fonseca, D.D., Queiroz, D.S., Salgado, L.T. and Cecon, P.R., 2003. Nitrogen and potassium fertilization in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum, cv. Napier). *Ciência e Agrotecnologia*, 27, pp.1643–1651.
- Anguiniano, J.M., Aguirre, J. and Palma, J.M., 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* var. *cunningham* y *Pennisetum purpureum* CUBA CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1), pp.149–160.
- Arias, R.C., Ledeá, J.L., Benítez, D.G., Ray, J. V and Ramírez De La Ribera, J.L., 2018. Performance of new varieties of *Cenchrus purpureus*, tolerant to drought, during dry period Comportamiento en el período poco lluvioso de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus*, tolerantes a la sequía. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(2), pp.1–12.
- Arias, R.C., Reyes, J.J., Ledeá, J.L., Benítez, D.G., Ray, J. V and Hernández, L.G., 2019. Respuesta agorproductiva de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus*. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 22, pp.79–86.
- Azcón-Bieto, J. and Talón, M., 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Segunda ed. *Journal of Chemical Information and Modeling*, Barcelona: McGraw-Hill.
- Barranco, G. and Díaz, L.R., 1989. Clima. In: G. Barranco, ed. *Nuevo atlas nacional*, Verde Oliv. La Habana: Instituto Geográfico, ACC, ICGC y MINFAR, pp.15–20.
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), pp.268–282.
- Behr, M., Legay, S., Hausman, J.F. and Guerriero, G., 2015. Analysis of cell wall-related genes in organs of *Medicago sativa* L. Under different abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(7), pp.16104–16124.
- Caballero-Gómez, A., Martínez-Zubiaur, R.O., Hernández-Chavez, M.B. and Navarro-Boulanger, M., 2016. Caracterización del rendimiento y la calidad de cinco accesiones de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Characterization of the yield and quality of five accessions. *Pastos y Forrajes*, 39(2), pp.94–101.
- Caceres, O. and Gonzalez Garcia, E., 2000. Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. *Pastos y Forrajes*, [online] 23(2), pp.87–103. Available at: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01190063>>.
- Chemisquy, M.A., Giussani, L.M., Scataglini, M.A., Kellogg, E.A. and Morrone, O., 2010. Phylogenetic studies favour the unification of *Pennisetum*, *Cenchrus* and *Odontelytrum* (Poaceae): A combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations in *Cenchrus*. *Annals of Botany*, 106(1), pp.107–130.
- Chupin, L., Soccalingame, L., de Ridder, D., Gineau, E., Mouille, G., Arnoult, S., Brancourt-Hulmel, M., Lapiere, C., Vincent, L., Mija, A., Corn, S., Le Moigne, N. and Navard, P., 2020. Thermal and dynamic mechanical characterization of miscanthus stem fragments: Effects of genotypes, positions along the stem and their relation with biochemical and structural characteristics. *Industrial Crops and Products*, [online] 156(January), p.112863. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112863>>.
- Costa, D.F.A., Quigley, S.P., Isherwood, P., McLennan, S.R., Sun, X.Q., Gibbs, S.J. and Poppi, D.P., 2019. Small differences in biohydrogenation resulted from the similar retention times of fluid in the rumen of cattle grazing wet season C3 and C4 forage species. *Animal Feed Science and Technology*, [online] 253(May 2018), pp.101–112. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.010>>.
- da Cunha, M.V., Lira, M. de A., dos Santos, M.V.F., de Freitas, E.V., Dubeux Junior, J.C.B., de Mello, A.C.L. and Martins, K.G.R., 2011. Associação entre características morfológicas e produtivas na seleção de clones de capim-elefante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3), pp.482–488.
- Cunha, T.J. and McDowell, L.R., 2012. *Nutrition of Ruminants in warm climates*. New York, USA.: Academic Press.
- Domínguez-Gómez, T., Ramírez-Lozano, R., Estrada-Castillón, A., Scott-Morales, L., González-Rodríguez, H. and Socorro-Alvarado, M., 2012. Importancia nutrimental en plantas forrajeras del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia XVuanl*, 15(59), pp.77–93.
- Dourado, D.L., Dubeux, J.C.B., de Mello, A.C.L., dos Santos, M.V.F., de Andrade Lira, M., de

- Freitas, E.V., de Oliveira Apolinário, V.X. and da Silva Santos, E.R., 2019. Canopy structure and forage nutritive value of elephantgrass subjected to different stocking rate and N fertilization in the 'Mata Seca' ecoregion of Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48.
- Gelley, C.H., Nave, R.L.G. and Bates, G.E., 2017. Influence of Height-Based Management on Forage Nutritive Value of Four Warm-Season Forage Grasses. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 3(1), p.cftm2016.10.0067.
- Gezahagn, K., Getnet, A., Alemayehu, M. and Fekede, F., 2014. Forage nutritive values of vetch species and their accessions grown under nitosol and vertisol conditions in the central highlands of Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, [online] 26(1). Available at: <<http://www.lrrd.org/lrrd26/1/kebe26020.htm>>.
- Grygierzec, B., 2012. The content of basic nutrients and fibre fractions in hay from extensively used *Alopecuretum pratensis* and *Holcetur lanati* communities. *Grassland Science in Poland*, 15, pp.53–65.
- Guerriero, G., Legay, S. and Hausman, J.F., 2014. Alfalfa cellulose synthase gene expression under abiotic stress: A hitchhiker's guide to RT-qPCR normalization. *PLoS ONE*, 9(8).
- Habte, E., Muktar, M.S., Abdena, A., Hanson, J., Sartie, A.M., Negawo, A.T., Machado, J.C., da Silva Ledo, F.J. and Jones, C.S., 2020. Forage performance and detection of marker trait associations with potential for napier grass (*Cenchrus purpureus*) improvement. *Agronomy*, 10(4).
- Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D., Rivero, L. and Camacho, I., 2015. *Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba*. Ministerio ed. Ciudad de La Habana: AGRINFOR.
- Herrera, R., 2008. Principios básicos de Fisiología Vegetal. In: R. Herrera, ed. *Pastos tropicales, principios generales agrotecnia y producción de materia seca*, Insituto d. La Habana: FIRA, México.p.120.
- Herrera, R.S., Chaplé, Z., Cruz, A.M., Romero, A. and García, M., 2003. Obtención de plántulas de *Pennisetum purpureum*, resistentes a la sequía y a la salinidad. Nota técnica 1. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 37(2), pp.189–191.
- Holguin-Castaño, V., Ortíz-Griales, S., Huertas, A., Fandiño, C. and Mora-Delgado, J., 2018. Consumo voluntario y ganancia de peso en corderos alimentados con ensilaje de *Cenchrus purpureus* Schum y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray Voluntary intake and weight gain in lambs fed with silage of *Cenchrus purpureus* Schum and *Tithonia diversifo*. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), pp.181–191.
- Kamwean, P., Chaisan, T., Thobunluepop, P., Phumichai, C. and Bredemeier, M., 2017. Changing of morphological characteristic and biomass properties in *Pennisetum purpureum* by colchicine treatment. *Journal of Agronomy*, 16(1), pp.23–31.
- Kapur, S., Akca, E. and Gunal, H., 2019. *The soils of Turkey*. University ed. [online] *Transforming Socio-Natures in Turkey*. Adana: Springer US. Available at: <<http://www.springer.com/series/8915>>.
- Keuls, M., 1952. The use of the 'studentized range' in connection with an analysis of variance. *Euphytica*, 1(2), pp.112–122.
- Latimer, W.G., 2016. *Official Methods of Analysis of AOAC International 20th Ed., 2016 Two-Volume Set*. 20th ed. [online] AOAC International. Available at: <<https://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>.
- Ledeá-Rodríguez, J.L., Ray-Ramírez, J.V., Arias-Pérez, R.C., Cruz-Tejeda, J.M., Rosell-Alonso, G. and Reyes-Pérez, J.J., 2018a. Comportamiento agronómico y productivo de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. *Agronomía Mesoamericana*, [online] 29(2), p.375. Available at: <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromes/o/article/view/29546>>.
- Ledeá-Rodríguez, J.L., Verdecia-acosta, D., La O, O., Valentín, J., Reyes, J.J. and Murillo-amador, B., 2018b. Caracterización química de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), pp.1–18.
- Ledeá Rodríguez, J.L., 2016. *Caracterización químico-nutritiva de nuevas variedades de Cenchrus purpureus tolerantes a la sequía*. Universidad de Granada.
- Ledeá Rodríguez, J.L., Ray Ramírez, J.V., La O León, O. and Reyes Pérez, J.J., 2018. Ruminant degradability of organic matter of varieties of drought tolerant *Cenchrus purpureus*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(1),

- pp.25–34.
- López, G., Nuñez, J., Aguirre, L. and Flores, E., 2018. Dinámica de la producción primaria y valor nutritivo de tres gramíneas tropicales (*Melinis minutiflora*, *Setaria sphacelata* y *Brachiaria mutica*) en tres estados fenológicos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(2), p.396.
- Martínez, R.O., Herrera, R.S. and Arteaga, M., 1985. Selección y clonaje de mutantes utilizando el cultivo de tejidos y otras técnicas mutagénicas. In: R. Martínez, ed. La Habana: Instituto de Ciencia Animal (ICA), p.10.
- Massey, F.J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, [online] 46(253), pp.68–78. Available at: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1951.10500769>>.
- Muñoz-González, J.C., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R., Lara-Bueno, A. and De la Rosa-Arana, J.L., 2014. Evaluación mineral de forrajes del trópico húmedo mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, pp.285–287.
- Na, C.I., Sollenberger, L.E., Fedenko, J.R., Erickson, J.E. and Woodard, K.R., 2016. Seasonal changes in chemical composition and leaf proportion of elephantgrass and energycane biomass. *Industrial Crops and Products*, [online] 94, pp.107–116. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.009>>.
- Nava-Cabello, J.J., Gutiérrez-Ornelas, E., Zavala-García, F., Olivares-Sáenz, E., Treviño, J.E., Bernal-Barragán, H. and Herrera García, R.S., 2013. Establecimiento del pasto ‘CT-115’ (*Pennisetum purpureum*) en una zona semiárida del noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), pp.239–244.
- Neves, T.I., Uyeda, C.A., de Souza Silva, C. and Abrahão, R., 2018. Production and Bromatological Characteristics of Elephant Grass—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—Planted Under Application of Industrial Biosolid and Chemical Fertilization. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(4).
- ONEI, 2016. *Anuario Estadístico de Cuba 2015*. [online] La Habana. Available at: <<http://www.onei.cu>>.
- Pascual, J.J., Fernández, C., Díaz, J.R., Garcés, C. and Rubert-Alemán, J., 2000. Voluntary intake and in vivo digestibility of different date-palm fractions by Murciano-Granadina (*Capra hircus*). *Journal of Arid Environments*, 45(2), pp.183–189.
- Pequeno, D.N.L., Pedreira, C.G.S., Sollenberger, L.E., de Faria, A.F.G. and Silva, L.S., 2015. Forage accumulation and nutritive value of brachiariagrasses and Tifton 85 bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. *Agronomy Journal*, 107(5), pp.1741–1749.
- Pongtongkam, P., Peyachoknagul, S., Arananant, J., Thongpan, A. and Tudsri, S., 2006. Production of salt tolerance dwarf Napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) using tissue culture and gamma irradiation. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 40(3), pp.625–633.
- Pratti-Daniel, J.L., Bernardes-Fernandes, T., Cabreira-Jobim, C., Schmidt, P. and Nussio, L.G., 2019. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), pp.188–200.
- Rahman, M.M., Syafieqa, N.E., Mohd Diah, N.A.B., Gondo, T., Khalif, R.I.A.B.R. and Akashi, R., 2019. Growth characteristics, biomass yield and mineral concentrations in seven varieties of Napier grass (*Cenchrus purpureus*) at establishment in Kelantan, Malaysia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(5), pp.538–543.
- Ramos-Trejo, O., Canul-Solis, J.R. and Ku-Vera, J.C., 2016. Forage yield of *Gliricidia sepium* as affected by harvest height and frequency in Yucatan, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 4(2), pp.116–123.
- Ray, J., Herrera, R.S., Benítez, D., Díaz, D. and Arias, R., 2016. Multivariate analysis of the agronomic performance and forage quality of new clones of *Pennisetum purpureum* drought tolerant in Valle del Cauto, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(4), pp.639–648.
- Reyes-Pérez, J.J., Méndez-Maartínez, Y., Luna-Murillo, R.A., Verdecia, D.M., Macias-Pettao, R. and Herrera, R.S., 2019. Quality of three *Brachiaria* varieties in Guayas area, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(2), pp.177–187.
- Rincón, Á., Flórez, H., Ballesteros, H. and León, L.M., 2018. Effects of fertilization of *Brachiaria humidicola* cv. Llanero on pasture productivity in the foothills region of the Llanos Orientales, Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 6(3),

- pp.158–168.
- Rueda, J.A., Ortega-Jiménez, E., Hernández-Garay, A., Enríquez-Quiroz, J.F., Guerrero-Rodríguez, J.D. and Quero-Carrillo, A.R., 2016. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 88, pp.59–65.
- Ruiz, T.E., Martínez, C.E., Álvarez, D., Mejías, R. and Diaz, H., 2017. Effect of plantation method and biomass production of *Cenchrus purpureus* cv. Cuba CT-115 Efecto del método de plantación y producción de biomasa de *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1), pp.101–106.
- Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M. and Smith, F.A., 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology*, 156(3), pp.1050–1057.
- Van Soest, P.J., 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. [online] New York: Cornell University Press. Available at: <[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TlluDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Nutritional+ecology+of+the+ruminant&ots=lnDgGmrRgE&sig=eeT-h7qBjO3waMFmLXFpVzSX\\_OE#v=onepage&q=Nutritional ecology of the](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TlluDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Nutritional+ecology+of+the+ruminant&ots=lnDgGmrRgE&sig=eeT-h7qBjO3waMFmLXFpVzSX_OE#v=onepage&q=Nutritional+ecology+of+the+ruminant&f=false)>.
- Van Soest, P.J., 2006. Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Animal Feed Science and Technology*, 130(3–4), pp.137–171.
- Soetan, K.O., Olaiya, C.O. and Oyewole, O.E., 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4(May), pp.200–222.
- Sosnowski, J., Matsyura, A., Jankowski, K. and Przytuła, M., 2017. Cell wall fractions in the biomass of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1), pp.66–70.
- Sutcliffe, J.F., 2013. *Mineral salts absorption in plants*. ELSEVIER ed. New York, USA.: ELSEVIER.
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. *Fisiología vegetal I*. III ed. [online] Sunderland. Available at: <[https://books.google.es/books?id=7QIbYg-OC5AC&lpg=PR7&ots=njtM3V7yzi&dq=Taiz+Zeiger&hl=es&pg=PA317#v=onepage&q=Taiz y Zeiger&f=false](https://books.google.es/books?id=7QIbYg-OC5AC&lpg=PR7&ots=njtM3V7yzi&dq=Taiz+Zeiger&hl=es&pg=PA317#v=onepage&q=Taiz+Zeiger&f=false)>.
- Valenciaga, D., Chongo, B., Herrera, R.S., Torres, V., Oramas, A., Cairo, J.G. and Herrera, M., 2009. Efecto de la edad de rebrote en la composición química de *Pennisetum purpureum* vc. CUBA CT-115. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(1), pp.73–79.