

Nota técnica

Caracterización química de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía¹

Chemical characterization of new varieties of drought tolerant *Cenchrus purpureus*

José Leonardo Ledea-Rodríguez², Dani Verdecia-Acosta³, Orestes La-O-León⁴, Jorge Valentín Ray-Ramírez², Juan José Reyes-Pérez^{5,6}, Bernardo Murillo-Amador⁷

Resumen

El cambio climático ha modificado el comportamiento de las variables del clima, por esta razón, los pastos manifiestan un comportamiento productivo estacional, donde se modifica la deposición de carbohidratos estructurales, y en algunos casos la absorción de minerales. El objetivo de esta investigación fue caracterizar, en variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía, la composición química de hojas y tallos a diferentes edades de rebrote en condiciones de sequía estacional. El periodo experimental abarcó del año 2013 al 2015, en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, y se caracterizó la dinámica de la composición química de hojas y tallos de nuevas variedades de *C. purpureus*, en diferentes edades de rebrote y diferentes periodos climáticos (lluvioso y poco lluvioso) y su combinación (4 x 3 x 2). La interacción edad de rebrote con estación climática afectó la composición química de las hojas ($p \leq 0,001$), alteró el contenido de celulosa (Cel), hemicelulosa (Hcel), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), contenido celular (CC), calcio (Ca) y sílice (Si), mientras que, en los tallos esta interacción solo afectó la concentración de FDA. El efecto aislado de la estación climática modificó en hojas ($p \leq 0,01$) el contenido de fósforo (P) y lignina (Lig), en tallos el contenido de P ($p \leq 0,001$). Cuando varió la edad de rebrote, hubo una modificación de la composición química de las hojas (proteína bruta y Lig) y de los tallos (proteína bruta). Las nuevas variedades de *C. purpureus*, bajo condiciones de degradación y sequía estacional, mostraron un patrón de comportamiento químico semejante al de las gramíneas tropicales, pero con bajos contenidos de proteína y fósforo.

Palabras claves: pared celular, gramíneas, carbohidratos, plantas forrajeras.

¹ Recibido: 12 de abril, 2018. Aceptado: 5 de junio, 2018. Este trabajo formó parte de los resultados del proyecto “Rehabilitación de sistemas pastoriles de la región oriental cubana”, incluido en el programa nacional de producción de alimento animal de la República de Cuba.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. Estación Experimental de Pastos y Forrajes, km 10½, Carretera Bayamo-Tunas. Bayamo, Granma, Cuba. ledea1017@gmail.com, jray2011@gmail.com

³ Universidad de Granma. Sede Bayamo. Carretera vía Manzanillo km 17. Peralejo. Bayamo. Granma, Cuba. dverdeciaa@udg.co.cu

⁴ Instituto de Ciencia Animal. Apartado postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. olao@ica.co.cu

⁵ Universidad Técnica de Cotopaxi. Extensión La Maná. Av. Los Almendros y Pujilí, Edificio Universitario, La Maná, Ecuador.

⁶ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Walter Andrade. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. jjreyesp1981@gmail.com

⁷ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Instituto Politécnico Nacional. N° 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México. bmurillo04@cibnor.mx



Abstract

Climate change has modified the behavior of climate variables, for this reason, pastures manifest a seasonal productive behavior, where the deposition of structural carbohydrates is modified and in some cases the absorption of minerals. The objective of this study was to characterize, in varieties of *Cenchrus purpureus* tolerant to drought, the chemical composition of leaves and stems at different ages of regrowth in conditions of intense seasonal drought. The experimental period covered the years 2013 to 2015, in the Experimental Station of Pastures and Forages of the Institute of Agricultural Research "Jorge Dimitrov". In a completely randomized design with the factorial arrangement was used, and the dynamics of the chemical composition of leaves and stems of new varieties of *C. purpureus* were characterized, in different ages of regrowth and different climatic periods (rainy and not very rainy), and their combination (4 x 3 x 2). The interaction age of regrowth with climatic station affected the chemical composition of the leaves ($p \leq 0.001$), altering the content of cellulose (Cel), hemicellulose (Hcel), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), cellular content (CC), calcium (Ca) and silica (Si), while in the stems this interaction only affected the concentration of ADF. The isolated effect of the climatic season modified in leaves ($p \leq 0.01$) the content of phosphorus (P) and lignin (Lig), it stems the P content ($p \leq 0.001$). When the regrowth age varied, there was a modification of the chemical composition of the leaves (crude protein and Lig) and stems (crude protein). The new varieties of *C. purpureus* under conditions of degradation and intense seasonal drought showed a pattern of chemical behavior similar to that of tropical grasses, but with low contents of protein and phosphorus.

Keywords: cell walls, grasses, carbohydrates, feed crops, dietary fibers.

Introducción

La variabilidad de los constituyentes químicos en las gramíneas, está determinada por el estado fisiológico de las plantas (Ledeá et al., 2017), y se modifica inherentemente al desarrollo fisiológico. Estímulos externos como la temperatura, la radiación solar y las precipitaciones, fundamentalmente, aceleran o alteran los procesos de transformación de moléculas en estructuras más complejas, que forman parte de los carbohidratos estructurales (Ramírez et al., 2011; Herrera, 2015). Estos carbohidratos son depositados en la pared celular, que en las gramíneas es la estructura de mayor importancia por el aporte energético que hace a la microbiota ruminal y ella, a la economía del hospedero.

El sistema de manejo al que se someten las plantas, también modifica su composición química y acumulación de compuestos orgánicos. El factor ambiental, estado fisiológico y de manejo, contribuyen a que la planta manifieste un patrón químico que es muy poco probable que se repita en el tiempo (Ledeá et al., 2017) y, aunque todos actúen de forma independiente sus efectos solapados logran la funcionalidad y respuesta de la planta a diferentes niveles (metabólico, bioquímico y productivo). En consecuencia, cuando una variable externa limita un proceso metabólico, y el potencial genético de la planta lo permite, otra variable lo potencia, lo cual se manifiesta cuando la planta no está sometida a ningún estrés, que es otro factor que influye y determina el comportamiento químico y que provoca, además, la activación de genes específicos, con el fin de garantizar la subsistencia (Lescay, 2006). Un ejemplo de estrés, es el provocado por la sequía.

El estrés por sequía afecta los procesos bioquímicos y el potencial de la membrana, lo que se traduce en poca persistencia y afectaciones del potencial productivo (Fortes et al., 2012). La expansión celular, motivada por la disminución de la turgencia, el cierre estomático, la transpiración y la fotosíntesis, son los efectos más sensibles de la sequía sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas (Coraza y Quintero, 1991). El fenómeno de la sequía se ha incrementado en la última década, y afecta la cantidad de agua precipitada y su distribución (ONEI, 2016). El comportamiento de las precipitaciones desde 2011 y proyectado hasta 2099 en Cuba, mostró

gran variabilidad y dispersión en diferentes escenarios, suponiendo un aumento de las deficiencias hídricas para las gramíneas (Álvarez et al., 2016). Ante estas limitantes, se hace necesaria la introducción de especies de pastos, en este caso, gramíneas tropicales que garanticen la calidad química, con tenores de proteína cercanos a 10% (Fortes, 2012), de fibra en detergente ácido (FDA) y fibra en detergente neutro (FDN) que no superen el 70% (Ramírez, 2010), para que la estructura de la planta no se vea afectada de forma drástica por el comportamiento extremo de las variables climáticas y persistan en condiciones de intensa sequía estacional para la alimentación de rumiantes, principalmente.

Se han obtenido nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía por medio de herramientas biotecnológicas (Martínez et al., 1996), además con el uso de mutágenos físicos (Herrera, 2009), se obtuvieron clones de *C. purpureus* con tolerancia a la sequía, salinidad y ambas condiciones estresantes (denominados mixtos). Las nuevas variedades tolerantes a la sequía han demostrado un comportamiento agronómico positivo, y algunas (CT-601, CT-603 y CT-605) han superado a su progenitor (CT-115) en condiciones de intensa sequía estacional (Arias et al., 2018; Ray et al., 2016). Sin embargo, no existen referencias de las respuestas o modificaciones químicas de la pared celular y contenido de minerales en los diferentes órganos (hojas y tallos) de la planta en las condiciones climáticas del Valle del Cauto. Por ello, el objetivo de esta investigación fue caracterizar, en variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía, la composición química de hojas y tallos a diferentes edades de rebrote en condiciones de sequía estacional.

Materiales y Métodos

Localización, clima y suelo

El estudio abarcó las épocas lluviosa y poco lluviosa. Se comenzaron a coleccionar muestras desde noviembre del 2013 hasta diciembre del 2015, en parcelas de 200 m² ubicadas en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov” en la provincia Granma; situada en los 20° 18' 13" de latitud norte y los 76° 39' 48" de longitud oeste.

El clima donde está ubicada la estación, se clasifica como tropical relativamente húmedo (Barranco y Días, 1989). En los últimos diecisiete años han precipitado 17 730 mm, de ellos el 80% en el período mayo-octubre, identificado por la ONE (2008) como época lluviosa de Cuba y solo 17,9% para los meses noviembre-abril, denominada época poco lluviosa (ONE, 2008). Durante el período experimental las precipitaciones fluctuaron entre 719 y 256 mm en lluvias (LI) (Figura 1), con períodos de sequía y meses sin precipitaciones (noviembre-abril) en el período poco lluvioso (PLI), que representó el 16,1% del acumulado de 2013 a 2015 (3066,8 mm). En la Figura 1 se representa la distribución mensual de las lluvias durante el período experimental.

Característica del suelo

El suelo del área es del tipo fluvisol poco diferenciado (Hernández et al., 2015), presenta drenaje deficiente, es de topografía llana, de fertilidad media (1,90% MO), pH bajo (débilmente alcalino, 5,18 KCl y 6,90 H₂O) y con disponibilidad de nutrientes bajo la capa superior (Ledeo et al., 2018). La humedad se comportó en el período 2013-2015 entre 19,7% y 40,6% en los primeros 60 cm de profundidad (Ledeo et al., 2017).

Material vegetal utilizado

El material vegetal para el establecimiento de las parcelas fue proporcionado por el departamento de Pastos y Forrajes del Instituto de Ciencia Animal. Se emplearon para el estudio las variedades CT-601, CT-603 y CT-605,

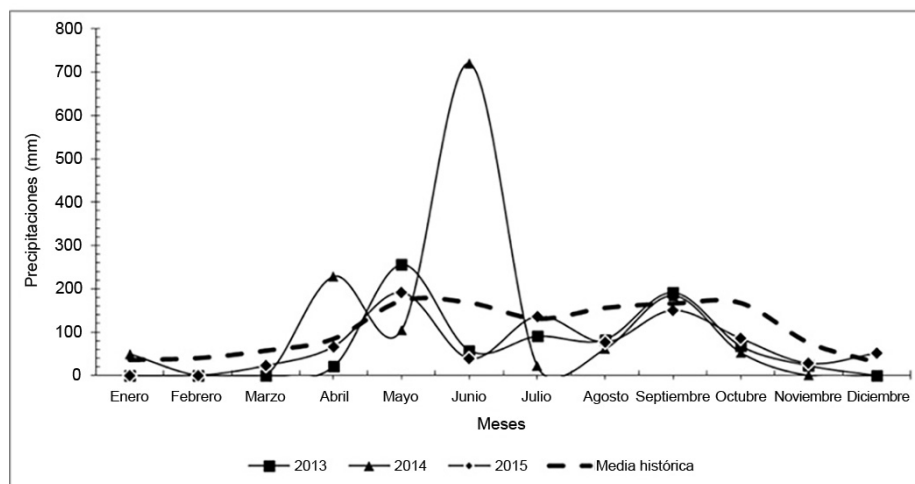


Figura 1. Comportamiento de las precipitaciones respecto a la media histórica mensual durante el período experimental. Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuaria “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

Figure 1. The behavior of rainfall respect to the monthly historical average during the experimental period. Experimental Station of Grasses and Forages of the Institute of Agricultural Research “Jorge Dimitrov”, province Granma, Cuba. 2013-2015.

obtenidas por cultivos de tejidos a partir del CT-115. Al momento del estudio, estas poseían seis años de establecidas en parcelas de 200 m², con 0,75 m entre plantas y 1 m entre surcos.

Procedimiento experimental

En el momento en que se tomaron las muestras, en cada surco se habían distribuido de forma intercalada las edades a evaluar (60, 80, 100 y 120 d). Los surcos 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, condiciones que obedecían a un estudio agronómico que se realizaba al mismo tiempo. Se tomaron de cada repetición cinco plantas íntegras en cada edad de rebrote, para un total de cuatro muestreos a los 60 días, tres a los 80 y 100 días, y dos para 120 días. En cada muestreo se tomaron 300 g en base verde de cada fracción botánica (hojas y tallos), estas se separaron con tijera de acero inoxidable y posteriormente, se sometieron a secado en estufa de aire forzado (marca MEMMERT) a 100 °C durante 1 h y después a 60 °C hasta alcanzar peso constante, según lo recomendado por Herrera (2014). En un molino de cuchillas se redujeron a 1 mm de tamaño de partícula para determinar la composición química. Los cortes efectuados para cada edad fueron homogenizados, diferenciando la estación climática en la que coincidieron.

Las muestras se trasladaron al laboratorio de química analítica del departamento de Fisiología Animal del Instituto de Ciencia Animal (ICA), Mayabeque, Cuba.

Composición química

Cada determinación de la composición química se hizo por duplicado, la proteína bruta (PB), fósforo (P) y contenido celular se determinaron mediante las técnicas de Latimer (2016), los componentes de fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina, celulosa, hemicelulosa y sílice se determinaron según Goering y Van-Soest (1970).

Tratamiento, diseño y análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial con cuatro repeticiones. Se evaluaron veinticuatro tratamientos, resultantes de la interacción de variedad (3) x edad de rebrote (4) x estación climática (2). Para el análisis estadístico se utilizó el sistema Statistics (2010) 10.1. Se comprobó la distribución normal de los datos según Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) y la homogeneidad de las varianzas según la prueba de Bartlett (1937). Se realizaron análisis de varianza multifactorial para las variables químicas estudiadas en los diferentes órganos. Las medias se compararon mediante la dócima de Keuls (1952). El modelo matemático empleado en cada uno de los ANOVAs fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + ER_i + V_j + EC_k + (ER \times V)_{ij} + (ER \times EC)_{ik} + (V \times EC)_{jk} + (ER \times V \times EC)_{ijk} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = variable respuesta; μ = 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 ($k=1, \dots, 3$); EC_k = efecto de la k -ésima estación climática ($l=1, 2$); $ER \times V_{ij}$ = efecto combinado de la i -ésima edad de rebrote en la j -ésima variedad; $ER \times EC_{ik}$ = efecto combinado de i -ésima edad de rebrote en la k -ésima estación climática; $V \times EC_{jk}$ = efecto combinado de la j -ésima variedad en la k -ésima estación climática; $ER \times V \times EC_{ijk}$ = efecto combinado de i -ésima edad de rebrote en la j -ésima variedad durante la k -ésima estación climática; e_{ijk} = error aleatorio $\sim N(0, \sigma_e^2)$.

Resultados

La interacción de segundo orden no fue significativa en ninguna de las variables químicas evaluadas, sin embargo, la de primer orden ($ER \times EC$) afectó la concentración de celulosa, que fue, de forma general, significativamente superior en el período lluvioso con respecto al poco lluvioso (Figura 2). La mayor concentración de este homopolisacárido se encontró a los 100 días (41,72%), valor que difirió con las concentraciones en las diferentes edades de rebrote dentro de la estación de lluvias y con todos los promedios en la estación de pocas lluvias. El promedio que se obtuvo a los 60 días de rebrote (36,4%) en la estación lluviosa, coincidió con los promedios a los 120 días de edad de ambas estaciones climáticas (34,8% Ll; 36,5% PLl), ambos fueron comunes al promedio de 80 días para las lluvias (38,09%), y difirieron de los promedios del resto de las edades de rebrote en estudio. La concentración a los 80 días de la estación poco lluviosa (28,8%), coincidió con la encontrada a los 100 días en la misma estación (33,29%), y el valor significativamente inferior respecto al resto de los promedios en ambas estaciones y en todas las edades, se obtuvo a los 60 días (25,8%) en la época en cuestión.

La hemicelulosa (Figura 3), mostró un rango entre 34,4 y 35,3% para la estación de lluvias y entre 39,7% y 42,7% para la estación poco lluviosa, con comportamientos no uniformes en ambas estaciones. Se obtuvo la mayor concentración a los 60 días de rebrote en la estación de pocas precipitaciones (35,5%), y esta difirió significativamente del resto de los promedios en el resto de las edades y con los valores propios en la estación de lluvias. Los promedios en esta estación climática no difirieron entre sí en ninguna de las edades, pero sí con todos los promedios de la estación poco lluviosa en las diferentes edades en evaluación; en donde el valor reflejado a los 80 días de edad (41,5%) fue común para los promedios obtenidos a los 100 y 120 días, pero difirió significativamente del promedio alcanzado a los 60 días y con todos los valores de la estación climática en cuestión. La hemicelulosa aumentó discretamente en los primeros 60 días, después descendió entre los 80 y 100 días, para finalmente, aumentar a los 120 días.

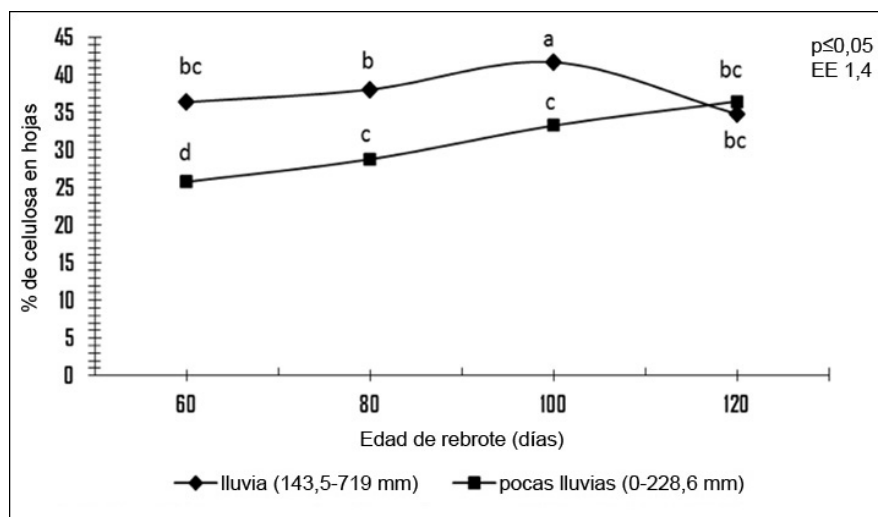


Figura 2. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de celulosa en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a, b, c, d} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 2. Effect of the age-regrowth interaction with a climatic season on the cellulose content in *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), at the Experimental Station of Pastures and Forages of the Institute of Agricultural Research “Jorge Dimitrov”, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a, b, c, d} Different letters represent differences for $p \leq 0,05$ according to Keuls (1952).

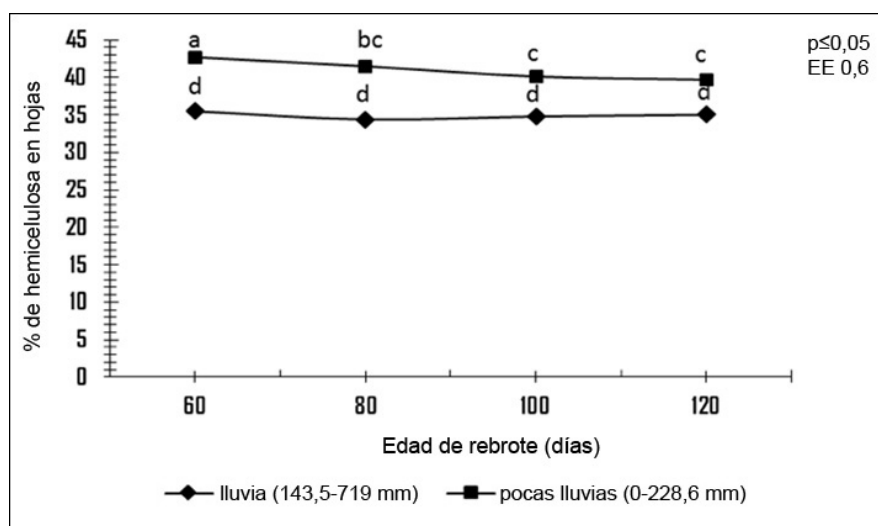


Figura 3. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de hemicelulosa en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605) en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. 2013-2015.

^{a, b, c, d} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 3. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on the hemicellulose content in *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), at the Experimental Station of Pastures and Forages of the Institute of Agricultural Research “Jorge Dimitrov”, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a, b, c, d} Different letters represent differences for $p \leq 0,05$ according to Keuls (1952).

Cuando se analizó el efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática en la concentración de fibra en detergente neutro (FDN) en hojas, se observó que la mayor concentración (80,8%), de forma significativa, se alcanzó a los 100 días de rebrote en la estación de lluvias, valor que solo difirió ($p \leq 0,001$) con el promedio obtenido a los 60 días en la estación poco lluviosa (71,3%), que coincidió con el menor valor y que difirió de forma significativa con todos los promedios representados en la Figura 4.

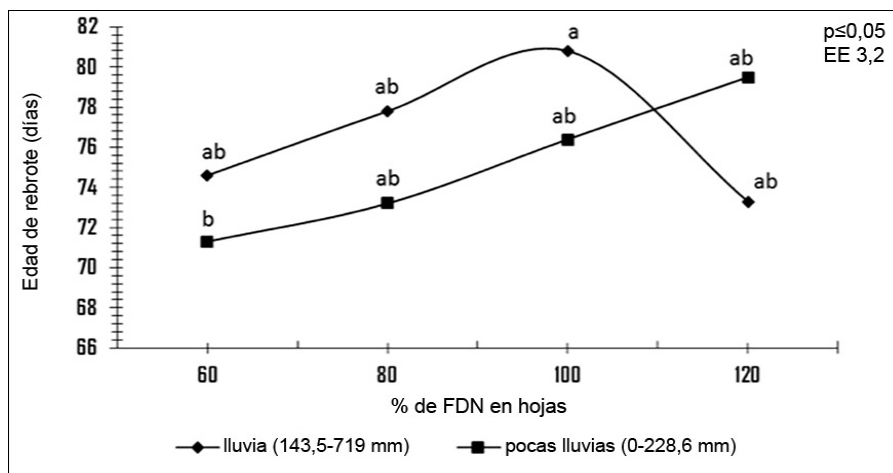


Figura 4. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de fibra en detergente neutro (FDN) en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba, 2013-2015.

^{a,b} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,001$ según Keuls (1952).

Figure 4. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on neutral detergent fiber (NDF) content in *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Experimental Station of pastures and forages of the Agricultural Research Institute “Jorge Dimitrov”, Granma Province, Cuba, 2013-2015.

^{a,b} Different letters represent differences for $p \leq 0,001$ according to Keuls (1952).

El contenido de FDN de los tallos en la interacción ERxEC también resultó modificado. El valor obtenido a los 60 días en la época de lluvias (73%) fue el único que se diferenció de forma significativa de los valores dentro de este período climático y con los abordados en la época de lluvia (Figura 5).

La concentración de fibra en detergente ácido (FDA) en hojas, fue significativamente superior en la estación de lluvias a la edad de 100 días (46,1%), y difirió del resto de las edades evaluadas en la estación lluviosa y poco lluviosa, respectivamente (Figura 6). Las concentraciones en las edades de 60 (39,7%) y 120 (38,2%) días en la estación lluviosa, no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$), tampoco con la concentración que se obtuvo para los 80 días de rebrote en la propia estación climática (41,9%), y fue común para el valor alcanzado a los 120 días en la estación de pocas precipitaciones (39,7%). En el período poco lluvioso, las concentraciones de cada edad difirieron entre sí ($p \leq 0,001$) y el menor valor de forma significativa se obtuvo a los 60 días de rebrote (28,3%).

Una estrecha relación con los compuestos analíticos FDN y FDA tuvo la sílice. Este mineral se encuentra mayormente contenido en las hojas (Figura 7) y su concentración se vio afectada por la interacción edad de rebrote con estación climática. La mayor concentración ($p \leq 0,01$) se encontró en la estación de lluvias a la edad de 100 días (4,41%), valor que difirió significativamente con el obtenido en las edades de 60 y 80 días del período poco lluvioso (3,15 y 3,25% en orden)

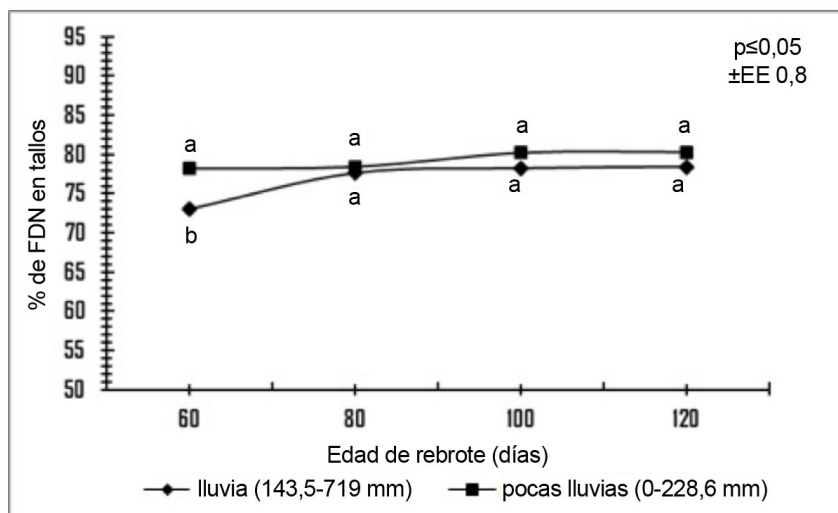


Figura 5. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de fibra en detergente neutro (FDN) en tallos de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 5. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on neutral detergent fiber (FDN) content in *Cenchrus purpureus* stems (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Different letters represent differences for $p \leq 0.05$ according to Keuls (1952).

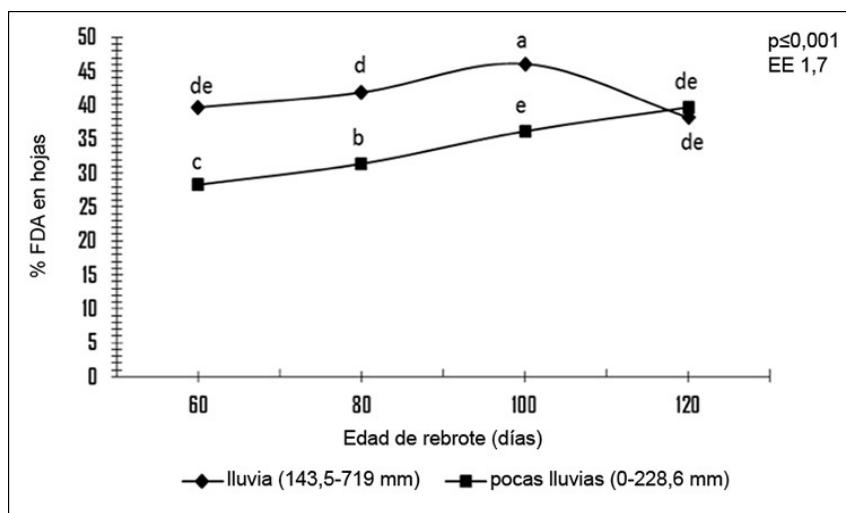


Figura 6. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de fibra en detergente ácido (FDA) en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 6. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on acid detergent fiber (ADF) content in *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Different letters represent differences for $p \leq 0.05$ according to Keuls (1952).

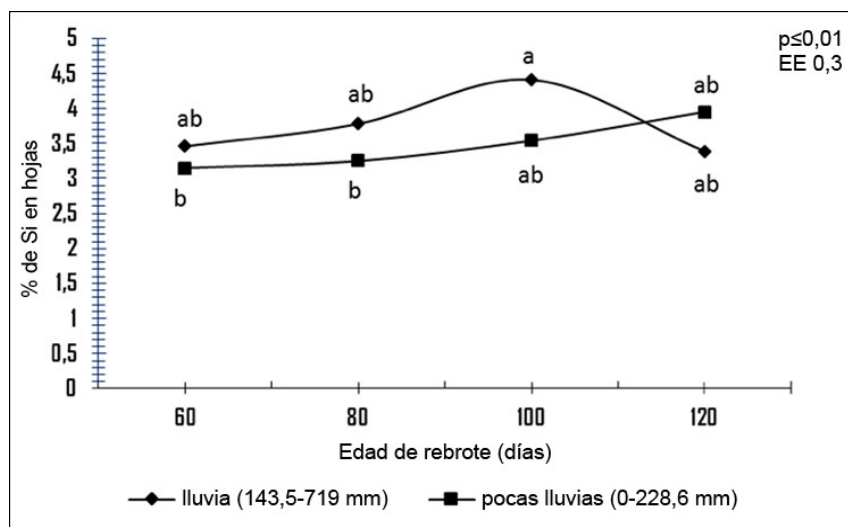


Figura 7. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido de sílice (Si) en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 7. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on silica (Si) content in *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a, b} Different letters represent differences for $p \leq 0,05$ according to Keuls (1952).

Al considerar la interacción edad de rebrote con estación climática en el contenido celular, se obtuvo la menor afectación de esta estructura ($p \leq 0,05$) a la edad de 60 días (28,1%) en la estación de pocas lluvias y fue común este comportamiento para la edad de 80 días (26,3%) en la propia estación climática y con 60 días en las lluvias (25,3%); los promedios de las edades de 60 y 80 días de la estación lluviosa fueron comunes entre sí, y el valor de los 80 días se asemejó con el promedio de la edad de 100 días de la estación poco lluviosa (19,51%). Los valores de la edad de 120 días para ambas estaciones climáticas coincidieron (27,02 LI; 20,37% PLI) y no difirieron con el resto de los promedios del resto de las edades en ambas estaciones, excepto para el valor señalado para los 100 días en la época lluviosa (Figura 8).

En el CC de las células de los tallos (Figura 9), también ocurrió una progresiva reducción del lumen celular, se diferenció significativamente el promedio a los 60 días de la estación poco lluviosa (26,9%), con respecto al resto de los valores en ambas estaciones climáticas.

Cuando se evaluaron los efectos aislados, se pudo observar que la edad de rebrote condicionó la concentración de proteína en hojas y tallos (Cuadro 1), y se constató un rápido descenso de este metabolito en ambos órganos en función de la edad, llegando al límite crítico para favorecer la degradación por parte de los microorganismos ruminales a los 80 días (Cuadro 1).

La estación climática como efecto principal, afectó la concentración de lignina en las hojas de las variedades en estudio, en las lluvias se obtuvieron concentraciones de 3,72%, mientras que en la época poco lluviosa solo alcanzó 2,71%, marcando diferencias significativas ($p \leq 0,001$) en el contenido de este compuesto fenólico,

La concentración de fósforo en hojas y tallos también se afectó por el clima. Los valores promedios de la estación poco lluviosa variaron en 0,20 y 0,25% para hojas y tallos, mientras que, en la estación lluviosa se obtuvieron valores de 0,13 y 0,14% en hojas y tallos, respectivamente, con diferencias significativas ($p \leq 0,01$ en hojas y $p \leq 0,001$ en tallos) para la concentración de este mineral por efecto de la estación climática.

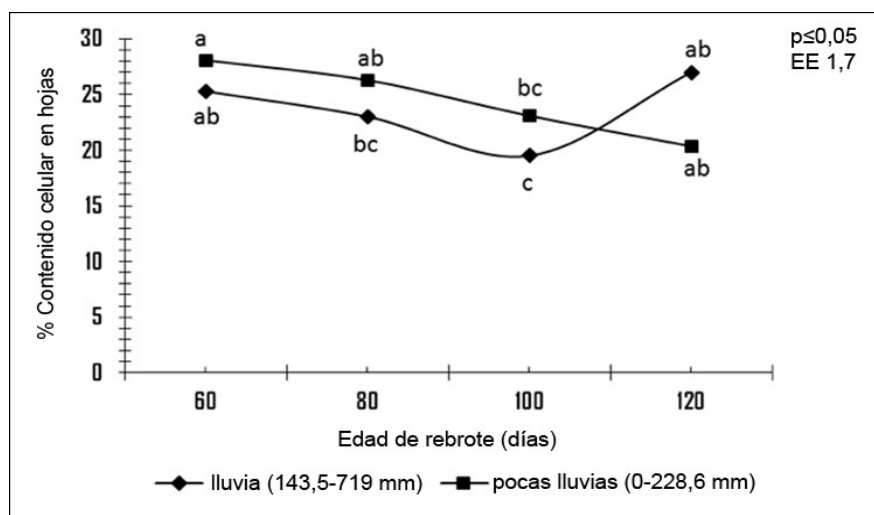


Figura 8. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido celular en hojas de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a,b,c} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 8. Effect of the age-regrowth interaction with climatic season in the cellular content on *Cenchrus purpureus* leaves (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a,b,c} Different letters represent differences for $p \leq 0,05$ according to Keuls (1952).

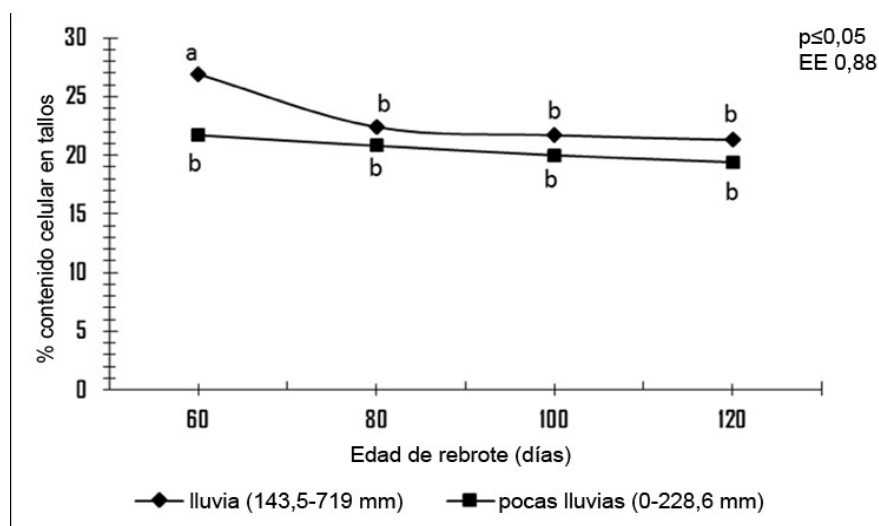


Figura 9. Efecto de la interacción edad de rebrote con estación climática sobre el contenido celular en tallos de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

^{a,b} Letras distintas representan diferencias para $p \leq 0,05$ según Keuls (1952).

Figure 9. Effect of age-regrowth interaction with a climatic season on the cellular content in *Cenchrus purpureus* stems (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

^{a,b} Different letters represent differences for $p \leq 0,05$ according to Keuls (1952).

Cuadro 1. Efecto de la edad de rebrote sobre los tenores de proteína bruta en hojas y tallos de *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, provincia Granma, Cuba. 2013-2015.

Table 1. Effect of age-regrowth on the crude protein contents in leaves and stems of *Cenchrus purpureus* (CT-601, CT-603 y CT-605), in the Pastures and Forages Experimental Station of the “Jorge Dimitrov” Agricultural Research Institute, Granma province, Cuba. 2013-2015.

Edad de rebrote	Proteína Bruta	
	Hojas (%)	Tallos (%)
60	8,90 a	6,50 a
80	7,00 b	4,10 b
100	6,30 b	3,70 b
120	5,90 b	2,80 b
±EE	0,73	1,31
Sig.	*	***

^{a, b} Letras distintas en una misma columna difieren para $p \leq 0,05^*$, $p \leq 0,001^{***}$ (Keuls, 1952) / ^{a, b} Different letters in the same column differ for $p \leq 0.05^*$, $p \leq 0.001^{***}$ (Keuls, 1952).

Discusión

El rango de valores para el contenido de celulosa (25,8-41,7%) (Figura 2), coinciden con los obtenidos por Corona et al. (2007). El incremento de la concentración a los 100 días en la época lluviosa (41,7%), pudo deberse al incremento del área foliar y, con ella un incremento de la eficiencia fotosintética y síntesis de homopolisacáridos estructurales, en su defecto la abrupta disminución de la concentración de celulosa a los 120 días de edad (34,8%) pudo deberse al proceso senescente. Este comportamiento morfológico es característico de las gramíneas tropicales en respuesta a las condiciones climáticas y al efecto de su rápido crecimiento (Pérez-Infante, 2013), esta es una de las cuestiones por la que quizás no se manifestaron diferencias entre las variedades, además de provenir de un mismo progenitor y poseer similitudes que el imponen una respuesta uniforme desde el punto de vista químico.

Las concentraciones de celulosa que se alcanzaron (Figura 2), fueron superiores a las señaladas por Domínguez et al. (2012), quienes obtuvieron valores en rangos de 11% y 30% de este homopolímero en nueve especies forrajeras en el noreste de México. Estos autores también refirieron que la síntesis de celulosas ocurre cuando prevalecen altas temperaturas, efecto que coincide con la estación lluviosa de Cuba, no así para la hemicelulosa (Figura 2) que disminuye cuando persisten estas condiciones climáticas.

Más que en el contenido o concentración de celulosa, se debe profundizar en la propia estructuración e interrelación con otros polisacáridos y compuestos fenólicos, que es lo que verdaderamente limita el aprovechamiento de esta como fuente de energía para los microorganismos ruminales y, por tanto, por los rumiantes.

Para la hemicelulosa (Figura 3), el rango de valores obtenidos en este estudio (34,4-35,3%), superaron a los referidos por Domínguez et al. (2012), quienes comunicaron 5 y 14 unidades porcentuales para gramíneas forrajeras, mientras que, el comportamiento de las concentraciones en función de la edad de rebrote y estación climática, coincidieron con las señaladas por Ramírez (2010) en condiciones del Valle del Cauto, Granma, Cuba. Este autor señaló que fue la estación climática la que determinó la variabilidad de las concentraciones de la poliosa en sus condiciones experimentales, mientras que Valenciaga (2007), en el occidente de Cuba, identificó el comportamiento de la poliosa como irregular cuando determinó su dinámica en diferentes edades, pero infirió que las variaciones obtenidas fueron estimuladas por la edad y no por la estación climática. En el presente estudio se demostró que, en

el oriente de Cuba, tanto la edad de rebrote como la estación climática afectaron la concentración de la poliosa. Este comportamiento irregular sugiere que la planta es capaz de reorganizar en condiciones específicas, determinada por la edad en algunos casos, y por las condiciones climáticas en otros, la síntesis de hemicelulosas en sus tejidos.

La hemicelulosa se caracteriza por presentar el grupo aldehído dentro de sus enlaces que se deposita durante la conformación de los grupos funcionales, regido solo por la actividad enzimática (Vázquez y Torres, 1991). Las enzimas, por lo tanto, necesitan un tiempo prudencial para la incorporación del grupo aldehído a la estructura de la molécula, Revilla y Zarra (2000) refirieron que esta efectividad en el proceso enzimático está moderada por los constituyentes de las enzimas y que la rapidez de su accionar la determina el clima y, dentro de esta variable, la temperatura (Corona et al., 2007), misma que en el Valle del Cauto manifiesta picos que superan los 32 °C en el período lluvioso, y que no supera en pocas lluvias los 28 °C, factores que predisponen la eficiencia enzimática, tal como se comentó, y puede ser esta una de las condicionantes para la irregularidad de las concentraciones en las diferentes edades y el efecto de las estaciones climáticas.

En la conformación molecular de la hemicelulosa también incide el factor genético y la localización dentro de la planta (Corona et al., 2007). Valenciaga (2007) añadió como fuentes de variación en la composición y concentración de las hemicelulosas a la especie, disponibilidad de nutrientes en el suelo, el balance hídrico en la planta y en el suelo, y la relación hoja-tallo. Más importante que su concentración es la composición y organización de los polisacáridos constituyentes (Valenciaga, 2007; Ramírez, 2010), en este sentido, Corona et al. (2007) refirieron que, los miembros individuales (aldopentosas y hexopentosas además de las pentosas y hexosas) pueden mostrar considerables variaciones en la naturaleza y proporción de unidades de azúcares que conforman las ramificaciones, y si están presentes enlaces esteres o esteres en la cadena, se modificarán las características del polímero viéndose afectadas las propiedades físicas, químicas y la funcionalidad del compuesto, por tanto, tendrá un efecto diferente en su degradación por la acción microbiana.

Las diferencias entre las concentraciones de celulosa y hemicelulosas en función de la interacción variaron significativamente, según Corona et al. (2007), la principal diferencia radica en que ambos compuestos se sintetizan por diferentes rutas metabólicas, otorgándole propiedades específicas, y con ello, distinta composición y comportamiento, coincidiendo en algún momento solo en la β -glucosa como unidad estructural común. Herrera y Ramos (2006) corroboraron lo planteado en variedades de *Cenchrus purpureus* y Ruiloba et al. (2014) en restos de cosechas, efecto que puede determinar en la calidad del forraje.

Para la concentración de FDN en hojas de las nuevas variedades (Figura 4), el efecto que provocó la interacción coincidió con lo comentado por Figueroa et al. (2016), al evaluar el forraje de *Leucaena leucecephala* asociado con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en un sistema de silvopastoreo, sin embargo, las concentraciones fueron superiores para la *Leucaena* y *Cynodon*, respectivamente. Estos autores refirieron que, aunque se incrementó la concentración de FDN, el aumento fue moderado en función del tiempo y no llegó a deprimirse la calidad química del forraje, criterio con el que coincidieron Lara et al. (2013), cuando observaron el mismo patrón en forrajes de *Leucaena* spp. y *Cynodon* spp.; sin embargo, el valor de la última edad en evaluación no coincidió con el referido por los autores mencionados, quienes adjudicaron que a medida que se extiende la edad entre cortes, se incrementa la concentración de fibra, por la lignificación de los tejidos e incremento de la fracción fibrosa de la pared celular, pero estos autores no tuvieron en cuenta el efecto de la estación climática en la variabilidad de los tenores de fibra, ni la dinámica que se establece entre las bases moleculares de la celulosa, hemicelulosa y lignina.

En las condiciones edafoclimáticas del oriente de Cuba Ledea et al. (2017), mostraron que la celulosa fue el constituyente que más influyó en el comportamiento de la FDN en hojas, al manifestar R^2 de 0,99 ($p \leq 0,001$), y que este componente disminuyó en la estación de lluvias, por eso, los tenores de FDN también disminuyeron en la misma estación a los 120 días de edad.

Para los tallos (Figura 5), las concentraciones de FDN superaron en ambas estaciones climáticas a las informadas por Caballero-Gómez et al. (2016) en cuatro variedades de *Cenchrus* en la provincia de Matanzas. En

la opinión de Pérez-Infante (2013), este comportamiento lo define las características intrínsecas de las plantas, que a su vez definen el hábito de crecimiento, respuesta adaptativa y compensativa ante las condiciones climáticas en las que se desarrollen, esto estimula que existan variaciones en la estructuración y conformación de los compuestos que definen a cada órgano (hojas y tallos).

Las concentraciones de FDA en hojas (Figura 6), fueron superiores a los comunicados por Ajayi y Babayami (2008), quienes indicaron valores de 64,28% para este compuesto en el género *Megathyrsus*. Cuadrado et al. (2005) para la edad de 75 días, obtuvieron en la estación lluviosa tenores de fibra en detergente ácido de 40,1%, mientras que, Valenciaga et al. (2001) obtuvieron concentraciones de 40,7% en condiciones climáticas del Occidente de Cuba. Los valores de FDA se mostraron similares a los informados en la literatura y coincidieron con los reportados en otras regiones de América (Venezuela), donde refieren valores de 40% (Ramírez, 2010).

Una estrecha relación con la FDA guarda la sílice (Figura 7), mineral que se almacena solamente en las hojas. Las concentraciones en hojas se encuentran dentro del rango para gramíneas (Morton y Hutras, 1974), y es este un criterio que se debe tener en cuenta, por la particularidad de ser inmovilizado una vez que se deposita, o sea que, no es removido como otros minerales cuando el órgano en el que se encuentra pierde vitalidad funcional (Da-Silva et al., 2005); un incremento de su concentración afectaría de forma marcada el consumo, porque las células silificadas se proyectan hacia el borde de las hojas y constituyen una barrera física para que el animal haga uso de ella, afectándose su palatabilidad (Shibuya, 1999).

Las diferencias en el contenido de sílice en hojas por el efecto de la estación climática, se pudieron deber a la variabilidad de la humedad del suelo para poder ser absorbido por la planta (Valenciaga, 2007), lo que está muy relacionado con el régimen pluviométrico y niveles de irradiación. En este sentido, Domínguez et al. (2012) refirieron que los niveles de sílice decrecen cuando hay alta intensidad luminosa, al igual que los de FDA y celulosa, la lignina en estas condiciones se incrementa. Este comportamiento demostró que en la estación de lluvias existieron niveles de irradiación superiores a la estación climática opuesta, que justificaron la mayor concentración de este mineral en el órgano en cuestión, excepto para la edad de 120 días, donde se supone que coincidió con una modificación de las condiciones de la atmósfera que impidió que llegara de forma directa la radiación a la tierra, y con ella a los cultivos.

El contenido celular (Figuras 8 y 9) se redujo por efecto mecánico del engrosamiento de la pared celular, aunque también se reduce cuando la planta presenta estrés hídrico (Rosabal et al., 2014), pero este hecho no estuvo manifiesto, porque la humedad del suelo se mantuvo durante todo el período experimental en el rango de 19,7% y 40,6% (Ledeá et al., 2017) y no se observaron síntomas de déficit hídrico en la planta. Esta reducción del lumen celular puede considerarse como clásico cuando se incrementa el grosor de la pared celular, en este caso, es una característica distintiva de las gramíneas tropicales que, en función de la edad de rebrote se incrementa el grosor de la pared celular, mientras que la velocidad con la que ocurre este proceso depende de las condiciones climáticas en la que se desarrolle la planta, además de las características histológicas de los órganos en estudio.

Cuando existe una alta concentración de fibra, existe una baja concentración de proteína (Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007), pues resultan ser inversamente proporcionales. En este caso la edad de rebrote predispuso una baja concentración de este metabolito (Cuadro 1). Minson (1990) catalogó como críticas concentraciones de proteínas, inferiores a 7%, por no permitir una utilización eficiente y completa de los carbohidratos del forraje por la microflora ruminal, además de afectar la tasa de pasaje de la digesta y, en consecuencia, reduce la digestibilidad y el consumo voluntario de forma significativa, con lo que se limita la productividad animal (Paneque y Calaña, 2004).

Se encontró una disminución de proteína en *Dichanthium aristatum* (Angleton) con su maduración fisiológica (Lara et al., 2010). González et al., (2011), al evaluar dos forrajes de dos especies de *Cenchrus* ssp., constataron el descenso del contenido proteico, pasando de 22,6% a los 14 días hasta 11,2% a los 70 días de edad. Al evaluar el efecto de la edad en la composición química de *Brachiaria arrecta* y maní forrajero (*Arachis pintoi*), Urbano et al. (2010) también experimentaron un descenso en función del incremento de la edad, y las concentraciones para los tallos coincidieron con los resultados emitidos por Medina-Jonapá et al. (2015) en CT-115.

La baja concentración de proteína en los tallos, se comprende a partir de las características tisulares de este órgano, donde se presentan células particulares de los tejidos conectivos en las plantas, y son denominadas tráqueas y traqueidas. Estas células poseen muy poco, o ausencia de protoplasto o contenido celular, porque la parte mayoritaria de su estructura está constituida por pared celular y se vuelve más compacta e hidrófoba en la medida que se incrementa la edad. Esta estructura, según Valenciaga y Saliba 2006, es característica de células especializadas en la conducción y el sostén.

La concentración de lignina varió por efecto de la estación climática, los promedios obtenidos fueron inferiores de los referidos por Valles et al., (2016) en varias gramíneas tropicales a diferentes edades de rebrote en clima tropical húmedo de México, estos autores obtuvieron promedios que oscilaron entre 7,5% y 9,4% y refirieron que, en las primeras edades evaluadas la calidad de los pastos no se deterioró por el efecto del clima; según Moore y Jung (2001), en las primeras edades el clima no define el comportamiento de la planta, y los cambios son atribuidos a las transformaciones fisiológicas que son inherentes al crecimiento plantar.

La estación climática también afectó la concentración de fósforo en hojas y tallos. La mayor concentración de forma significativa se obtuvo en la estación poco lluviosa, porque fue donde menor temperatura prevaleció; según Paneque y Calaña (2004), esta variable afecta la absorción de fósforo por la planta cuando es relativamente alta ($\geq 30^{\circ}\text{C}$). Las concentraciones en hojas y tallos en la estación de lluvias fueron inferiores al 0,20%, valor referido por Domínguez et al. (2012) como mínimo para que la planta pueda desarrollar sus procesos metabólicos y ocurra la activación enzimática, función elemental de este mineral (Herrera, 2008). Las concentraciones en ambas estaciones climáticas no se aproximaron a 3%, contenido requerido para nutrir a los rumiantes (Domínguez et al., 2012).

Las concentraciones de fósforo obtenidas en las hojas difirieron de las reportadas por Díaz (2007) y Herrera (2008), atribuido, según este último autor, a que la planta presenta mayor demanda de fósforo en la estación lluviosa, porque se incrementa el crecimiento, desarrollo y acúmulo de biomasa. Figueroa et al. (2016) aseveraron que, el contenido de este mineral disminuye en función de la edad de la planta, además, es un mineral móvil, por lo que, se estimula la senescencia por la influencia del clima principalmente, lo cual coincidió con la estación lluviosa de Cuba, donde disminuyó su contenido en las hojas y se incrementó en los tallos, donde es almacenado para el rebrote de las nuevas hojas. Este criterio no coincide con el planteado por Minson (1990), quien refirió que el acúmulo de fósforo en los tejidos se incrementa cuando la humedad del suelo lo permite.

Es necesario que el fósforo se encuentre en cantidad suficiente en la solución del suelo para que la planta pueda hacer uso de él (Valenciaga y Saliba, 2006). Este último factor se consideró en el estudio, y se constató en la caracterización química del suelo que la no presencia del mineral no constituyera una limitante, sin embargo, las variaciones de pH sí pudieron constituir barreras para la absorción del fósforo (Ledeo et al., 2017). En este sentido Anesin et al. (2012) refirieron que, si los rangos de acidez del suelo estuvieron por encima de 5,5-6,5, se puede afectar el proceso de absorción de minerales por parte del sistema radical de la planta al presentarse como $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$, y de esta forma no puede ser asimilado. En el suelo del área experimental en las profundidades de 0-60 cm, las variaciones del pH se encuentran entre 6,9-7,1, condición que pudo intervenir como limitante en el comportamiento del fósforo en la solución del suelo (Ledeo et al., 2017)

Conclusiones

En las condiciones del Valle del Cauto, el efecto combinado de la época climática y edad de rebrote, fueron las que modificaron las variables químicas: fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), contenido de celulosa (Cel), hemicelulosa (Hcel), contenido celular (CC) y sílice (Si) en hojas, y en tallos FDN y CC, mientras que, la edad de rebrote como efecto principal modificó la proteína bruta (PB) y la lignina (Lig) en las

hojas, y en los tallos alteró la concentración de proteína bruta (PB). La época climática afectó la concentración de P en hojas y tallos, y de Lig en las hojas de las nuevas variedades de *Cenchrus purpureus*.

Se recomienda profundizar en el estudio de la influencia del clima y la edad de rebrote en la estructuración de las cadenas que conforman la celulosa y hemicelulosa, y su repercusión en la calidad química de los pastos. Es necesario realizar estudios estequiométricos, donde se contemple la magnitud del efecto de deficiencia de fósforo en las plantas estudiadas, sobre la acción bacteriana de los microorganismos ruminales. Se debe contemplar el fraccionamiento proteico en los estudios de valor nutritivo de las gramíneas tropicales.

Literatura citada

- Ajayi, F.T., and O.J. Babayami. 2008. Comparative *in vitro* evaluation of mixtures of *Panicum maximum* vc. Ntchisi with stylo (*Stylosanthes guianensis*), Lablab (*Lablab purpureus*), entro (*Centrosema pubescens*) and Histris (*Aeschynomene histrix*). Liv. Res. Of. Rural Dev. 20(6). <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd20/6/ajay20083.htm> (accessed Oct. 16, 2017).
- Álvarez, A., G. Febles, and J.M. Fernández. 2016. Space distribution of *Pennisetum purpureum*, according to projections for climate change in Cuba. Cuban J. Agric. Sci. 50:291-303.
- Anesin, R.C., G. Fiorentini, e T.T. Berchielli. 2012. Inovações e desafios na avaliação de alimentos na nutrição de ruminantes. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. 13:938-953. doi:10.1590/S1519-99402012000400009.
- Arias, R.C., J. L. Ledea, D.G. Benítez, J.V. Ray, and J.L. Ramírez de la Rivera. 2018. Performance of new varieties of *Cenchrus purpureus*, tolerant to drought, during dry period. Cuban. J. Agric. Sci. 52(2): 1-12.
- Barranco, G., y Díaz, L. R. 1989. Clima. En: Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, editores, Nuevo Atlas Nacional de Cuba. VI. 1. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, LA Habana, CUB. p.15-20.
- Bartlett, M. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proc. Royal Soc. London. Ser. A, Mathemat. Phys. Sci. 160:268-282.
- Caballero-Gómez, A., R.O. Martínez-Zubiaur, M.B. Hernández-Chavez, y M. Navarro-Boulanger. 2016. Caracterización del rendimiento y la calidad de cinco accesiones de *Cenchrus purpureus* (Schumacher) Morrone. Pastos y Forrajes 39:94-101.
- Coraza, R., y E. Quintero. 1991. Agrometeorología. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, ESP.
- Corona, M., L. Carballo, Y. Arteaga, M. Cáceres, y Y. Hernández. 2007. Componentes químicos de la madera. Editorial Félix Varela, La Habana, CUB.
- Cuadrado, H., L. Torregroza, y J. Garcés. 2005. Producción de carne con machos de ceba en pastoreo de pasto híbrido Mulato y *Brachiaria decumbens* en el valle del Sinú. Rev. MVZ Córdoba 10:573-580. doi:10.21897/rmvz.479
- da-Silva, L., L. da-Silva, and H. Bohnen. 2005. Cell wall components and *in vitro* digestibility of rice (*Oryza sativa*) straw with different silicon concentration. Ciênc. Rural 35:1205-1208. doi:10.1590/S0103-84782005000500036
- Díaz, D. 2007. Evaluación agronómica de nuevas variedades *Pennisetum purpureum* en condiciones de sequía en el Valle del Cauto. Tesis MSc., Universidad de Matanzas, CUB.
- Domínguez, T.G., R.G. Ramírez, A.E. Estrada, L.M. Scott, H. González, y M.D.S. Alvarado. 2012. Importancia nutricional en plantas forrajeras del matorral espinoso tamaulipeco. Ciencia UANL 15(59):77-93.
- Figueroa, I., A. Lara, L.A. Miranda, M. Huerta, L. Krishnamurthy, y C.J. Muñoz-González. 2016. Composición química y mineral de *Leucaena* asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 16:3173-3183. doi:10.29312/remexca.v0i16.387

- Fortes, D. 2012. Comportamiento de algunos indicadores morfofisiológicos y de calidad de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. Tesis Dr., Instituto de Ciencia Animal, CUB.
- Fortes, D., R.S. Herrera, M. García, A.M. Cruz, y A. Romero. 2012. Composición química de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 46:321-329.
- Goering, H.K., and P. Van-Soest. J. 1970. Forage fiber analysis. Agricultural Handbook, US No 379. USDA, WA, USA.
- González, J., M. Betancourt, A. Fuenmayor, y M. Lugo. 2011. Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto elefante (*Pennisetum* sp.) en el Noroccidente de Venezuela. Zootec. Trop. 29:103-112.
- Herrera, R.S. 2008. Principios básicos de fisiología vegetal. En: E. Febles, y P. Monsonte, editores, Pastos tropicales, principios generales agrotecnia y producción de materia seca. Instituto de Ciencia Animal, y FIRA, MEX. p. 12-16.
- Herrera, R.S. 2009. Mejoramiento del *Pennisetum purpureum* en Cuba. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 43:345-349.
- Herrera, R.S. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. Avances Invest. Agropecu. 18(2):7-26.
- Herrera, R.S. 2015. Clones of *Pennisetum purpureum* for different ecosystems and productive purposes. Cuban J. Agric. Sci. 49:515-519.
- Herrera, R.S., y N. Ramos. 2006. Factores que influyen en la producción de biomasa y calidad. En: R.S. Herrera et al., editores, *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, CUB. p. 25-30
- Hernández, A., J.M. Pérez, D. Bosch, L. Rivero, e I. Camacho. 2015. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ministerio de la Agricultura, y AGRINFOR, Ciudad de La Habana, CUB.
- Juárez-Hernández, J., y E.D. Bolaños-Aguilar. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. Universidad y Ciencia 23(1):81-90.
- Keuls, M. 1952. The use of the 'studentized range' in connection with an analysis of variance. Euphytica 1:112-122. doi:10.1007/BF01908269
- Lara, C., L.E. Oviedo, y C.A. Betancur. 2010. Efecto de la época de corte sobre la composición química y degradabilidad ruminal del pasto *Dichanthium aristatum* (Angleton). Zootec. Trop. 28:275-281.
- Lara, B.A., C.A. Reyes, M.M. Martínez, R.L.A. Miranda, B.M. Huerta, y L. Krishnamurthy. 2013. Composición nutrimental de la Leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en la región huasteca potosina de México. En: A. Suárez, editor, Memorias de la XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción. Editorial EDICA, La Habana, CUB. p 50-58
- Latimer, G.W. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International, Rockville, MD, USA. <http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875> (accessed Sep. 22, 2016).
- Ledea, J.L., D.G. Benítez, y J.V. Ray. 2017. Comportamiento agronómico, químico y nutritivo de gramíneas tropicales. Editorial Académica Española, ESP.
- Ledea, J.L., J.V. Ray, R.C. Arias, J.M. Cruz, y G. Rosell. 2018. Comportamiento agronómico y productivo de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. Agron. Mesoam. 29:343-362. doi:10.15517/ma.v29i2.29107
- Lescay, E. 2006. Evaluación morfoagronómica de variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) en diferentes localidades de la región oriental de Cuba. Tesis Dr., Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, CUB.
- Martínez, R.O., R.S. Herrera, R. Cruz, y V. Torres. 1996. Cultivo de tejidos y fitotecnica de las mutaciones en pastos tropicales. *Pennisetum purpureum*: otro ejemplo para la obtención de nuevos clones. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 31(1):1-10.
- Massey, F.J. 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. J. Am. Stat. Assoc. 46:68-78.

- Medina-Jonapá, F.J., R. Pinto-Ruiz, H. Gómez-Castro, F. Guevara-Hernández, A. Hernández-López, y D. Hernández-Sánchez. 2015. Caracterización química y degradación *in situ* del pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum* L.). *Quehacer Científ. Chiapas* 10(1):9-14.
- Minson, D.J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Moore, K.J., and H.J.G. Jung. 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range Manage.* 54:420-429. doi:10.2307/4003113
- Morton, B.C., and M.W. Hutras. 1974. Silica concentrations in grazed and ungrazed forage species. *Agron. J.* 66:10-12.
- ONE (Oficina Nacional de Estadísticas). 2008. Medio ambiente. Estadísticas de la revolución. ONEI, CUB. <http://www.onei.cu/publicaciones/50aniversario/medio%20ambiente/public%20completa.pdf> (Consultado 20 oct. 2016).
- ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). 2016. Panorama ambiental Cuba 2016. ONEI, CUB. <http://www.onei.cu/publicaciones/04industria/medioambientecifras/medioamb2016.pdf> (consultado 20 set. 2017).
- Paneque, M.V., y M.J. Calaña. 2004. Abonos orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. INCA, San José de las Lajas, CUB.
- Pérez-Infante, F. 2013. Ganadería eficiente. Asociación Cubana de Producción Animal, La Habana, CUB.
- Ramírez, J.L. 2010. Rendimiento y calidad de cinco gramíneas en el Valle del Cauto. Trabajo Dr. en C., Instituto de Ciencia Animal, CUB.
- Ramírez, J.L., R.S. Herrera, I. Leonard, M. Cisneros, D. Verdecia, and Y. Álvarez. 2011. Relation between climatic factors, yield and quality of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169 in the Cauto Valley, Cuba. *Cub. J. Agric. Sci.* 45:293-297.
- Ray, J., R.S. Herrera, D. Benítez, D. Díaz, and R. Arias. 2016. Multivariate analysis of the agronomic performance and forage quality of new clones of *Pennisetum purpureum* drought tolerant in Valle del Cauto, Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 50:639-648.
- Revilla, G., e I. Zarra. 2000. La fisiología vegetal y su impacto social. La célula vegetal. En: J. Azcón-Bieto, y M Talón, editores, *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2ª ed. McGraw-Hill-Interamericana, Madrid, ESP. p. 1-16.
- Rosabal, L., L. Martínez, Y. Reyes, J. Dell'Amico, y M. Núñez. 2014. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Trop.* 35(3):24-25.
- Ruiloba, M.H., A. Vega, H. Franco, C. Solís, y R.F. García-Castillo. 2014. Efecto de la bio-degradación con cepas nativas de *Pleurotus djamor*, RN81 y RN82, sobre parámetros químicos y degradabilidad *in situ* de sustratos lignocelulósicos. *Rev. Científ. FCV-LUZ* 24:443-453.
- Shibuya, N. 1999. Comparative studies on the cell wall polymers obtained from different parts of rice grains. In: N.G. Lewis, and M.G. Paice, editors, *Plant cell wall polymers*. American Chemical Society, WA, USA. p. 332-344.
- Statistic. 2010. Statistic for windows (ver. 10.1). StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA.
- Urbano, D., C. Dávila, y F. Castro. 2010. Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre tres variedades de maní forrajero (*Arachis pintoi*) en el estado Mérida. I. Rendimiento y contenido de proteína cruda. *Zootec. Trop.* 28:449-456.
- Valenciaga, D. 2007. Caracterización química y estructural de las paredes celulares de *Pennisetum purpureum* cv. CUBA CT-115 y su digestibilidad ruminal en búfalos de río (*Bubalis bubalus*). Trabajo Dr. en C., Instituto de Ciencia Animal, CUB.
- Valenciaga, D., B. Chongo, y O. La-O. 2001. Caracterización del clon *Pennisetum* CUBA CT- 115. Composición química y degradabilidad ruminal de la materia seca. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 4:349-354.
- Valenciaga, D., y E.d.O. Saliba. 2006. La espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 40: 259.

- Valles, B., E. Castillo, y H. Bernal. 2016. Rendimiento y degradabilidad ruminal de la materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7:141-158.
- Vázquez, E., y S. Torres. 1991. *Fisiología vegetal*. 4ª reimpresión. Pueblo y Educación, La Habana, CUB.