

Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación lluviosa

Dayleni Fortes, R.S. Herrera, Sayonara González, M. García, Aida Romero y Ana M. Cruz

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba

Correo electrónico: dfortes@ica.co.cu

Mediante un diseño completamente aleatorizado, con quince repeticiones, se estudió el efecto de la edad de rebrote (30, 45, 60, 75, 90 y 105 d) después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en el contenido de pigmentos verdes y carotenoides durante el período lluvioso, así como las relaciones de la clorofila a (Cla) y la edad con el rendimiento del rebrote. El menor contenido ($P < 0.001$) de Cla, clorofila b (Clb) y carotenoides se presentó a los 30 d de rebrote (2.07, 0.71 y 0.49 mg/dm², respectivamente). El mayor ($P < 0.001$), para la Cla, Clb y carotenoides, se obtuvo a los 105 d (3.04, 1.81 y 0.57 mg/dm², respectivamente). La suma de las clorofilas tuvo el mismo patrón de respuesta que las clorofilas, pero su relación (Cla/Clb) fue mayor ($P < 0.001$) a los 30 d. Para clorofilas/carotenoides, el mayor valor se logró a los 105 d de rebrote. Se obtuvo una ecuación de regresión múltiple para relacionar el rendimiento del rebrote con la edad y la Cla ($R^2 = 0.91$, $P < 0.01$). Se concluye que en las condiciones de este estudio, los contenidos de pigmentos fotosintéticos aumentaron con la edad y se obtuvo una regresión lineal múltiple entre la edad de rebrote, la Cla y el rendimiento del rebrote.

Palabras clave: *clorofila a, clorofila b, carotenoides, edad, Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

La productividad y rendimiento de los cultivos depende de muchos procesos fisiológicos. Entre ellos, la fotosíntesis es el principal. Está bien establecido que este proceso contribuye con 90 % del total de materia seca de la planta (Sage y Kubien 2007). Existen además, múltiples factores, como la radiación solar, temperatura, precipitaciones, edad, tipo de planta, nutrición y manejo, que influyen en su eficiencia.

La cantidad de clorofila por unidad de área de las hojas constituye uno de los indicadores de la capacidad fotosintética de las plantas, ya que representa una medida de las dimensiones del sistema fotosintético y de su eficiencia (Huang *et al.* 2004 y García *et al.* 2005). Esto determina la producción de biomasa de la planta en diferentes condiciones de explotación.

Por estas razones, el estudio de la dinámica de los pigmentos fotosintéticos a través del tiempo pudiera contribuir a esclarecer el comportamiento de las plantas, relacionado con la utilización de la energía lumínica, CO₂, agua y nutrientes durante su ciclo de desarrollo, lo que ayudaría a diseñar sistemas de manejo eficientes. Además, se podrían establecer relaciones entre el rendimiento de MS, la edad de la planta y los contenidos de pigmentos.

El objetivo de este estudio fue conocer el comportamiento de los pigmentos verdes y carotenoides, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en el período lluvioso, así como estudiar las relaciones del rendimiento de MS con la clorofila a y la edad de la planta.

Materiales y Métodos

Tratamiento y diseño. Se utilizó un diseño de muestreo completamente aleatorizado con 15 repeticiones (Fortes *et al.* 2007). Los tratamientos consistieron

en las siguientes edades de rebrote: 30, 45, 60, 75, 90 y 105 d después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

Procedimiento. El estudio se realizó en la vaquería B del Instituto de Ciencia Animal, situado en el municipio San José de las Lajas, provincia La Habana, entre los 22° 53' LN y los 82° 02' LW y a 92 m.s.n.m. Se enmarcó durante el período de acumulación de materia seca, desde agosto hasta noviembre, después del pastoreo, según la tecnología de banco de biomasa (Martínez y Herrera 2006). Como área de estudio se tomó un cuartón de 0.68 ha, plantado de Cuba CT-115, en un suelo pardo con carbonatos (Hernández *et al.* 1999).

Cada 15 d, en el cuartón con población uniforme de pasto, se tomaron 15 muestras al azar a las edades de rebrote antes señaladas. Se seleccionó la cuarta hoja completamente expandida para el análisis de pigmentos, según Silva *et al.* (2001) y del espectro de absorción de la luz en el rango 360-700 nm. El contenido de Cla, Clb y carotenoides se determinó según Lichtenthaler (1987), modificado por Fortes *et al.* (2005). Todos los análisis se realizaron por duplicado por tratamiento y repetición.

Para la determinación del rendimiento del rebrote, en el período lluvioso se seleccionaron 15 muestras (macollas como unidades experimentales) a las edades de rebrote mencionadas. Las macollas se separaron siempre en residuo (rechazo) y rebrote (hijos basales). Luego se fraccionaron en hoja, tallo y material muerto (MM) del residuo, y hoja y tallo del rebrote. Los indicadores determinados fueron el rendimiento de materia seca del residuo y el rebrote. La muestra fresca se introdujo en una estufa de circulación de aire a 60 °C hasta lograr peso constante. A partir de aquí, se determinó el rendimiento seco (MS) de cada fracción.

Análisis estadístico. Se efectuó análisis de varianza y correlación, según SPSS (1997), versión 7.5.2. En los casos necesarios, se empleó la dócima de Duncan (1955) para la comparación de las medias.

Resultados y Discusión

El contenido de Cla, Clb ($P < 0.001$) y carotenoides ($P < 0.01$) se incrementó en la medida que aumentó la edad de rebrote (tabla 1). Este comportamiento se podría deber a la necesidad de la planta de obtener energía, a partir de los carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis para su crecimiento, desarrollo y floración (Biswas *et al.* 2001), si se considera que esta planta es de largo ciclo de crecimiento y floración a partir de noviembre. Además, la cantidad de radiación solar absorbida por una hoja es, mayormente, una función de la concentración foliar de pigmentos fotosintéticos activos. Por tanto, mayores concentraciones de clorofila pueden favorecer directamente el potencial fotosintético y la producción primaria de la planta (Richardson *et al.* 2002).

Tabla 1. Contenido de pigmentos con la edad de rebrote después del pastoreo en *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115

Edad, d	Clorofila a, mg/dm ²	Clorofila b, mg/dm ²	Carotenoides, mg/dm ²
30	2.07 ^a	0.71 ^a	0.49 ^a
45	2.15 ^{ab}	0.85 ^{ab}	0.54 ^{ab}
60	2.46 ^{abc}	1.02 ^b	0.54 ^{ab}
75	2.53 ^{bc}	1.09 ^b	0.56 ^b
90	2.72 ^{cd}	1.43 ^c	0.53 ^{ab}
105	3.04 ^d	1.81 ^d	0.57 ^b
EE ±	0.09 ^{***}	0.05 ^{***}	0.01 ^{**}

^{abcd} Valores con letras no comunes por columna difieren a $P < 0.05$ (Duncan 1955)

*** $P < 0.001$

** $P < 0.01$

Los contenidos de clorofila siempre fueron superiores a los de carotenoides, lo que corrobora lo planteado por Herrera (2006). Este autor señaló que en los pastos los principales pigmentos relacionados con la absorción de la luz son la Cla y Clb, especialmente la primera por su mayor tenor. Mientras que los carotenoides son pigmentos accesorios en la captación de energía lumínica y moléculas capaces de disipar la energía de excitación excedente en forma de calor, lo que evita daños importantes a la célula (Taíz y Zeiger 2006 y Hallik *et al.* 2009). Silva *et al.* (2001) plantearon que los incrementos en la concentración de carotenoides están asociados, generalmente, con aumentos en las concentraciones de clorofila total.

La suma de las clorofilas tuvo el mismo patrón de respuesta que los pigmentos individuales, pero las relaciones Cla/Clb y clorofilas/carotenoides fueron mayores ($P < 0.001$) a los 30 y 105 d de rebrote, respectiva-

mente (tabla 2). Estas relaciones reflejan, en sentido general, la eficiencia de estos pigmentos en la fotosíntesis. Según Lauzán *et al.* (1991), cuando Cla/Clb es superior a la unidad, indica un funcionamiento adecuado de los pigmentos en el proceso de la fotosíntesis.

Tabla 2. Relaciones entre los pigmentos después del pastoreo en *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115

Edad, d	Cla+Clb	Cla/ Clb	Cla+Clb/ carotenoides
30	2.78 ^a	2.93 ^a	5.73 ^a
45	3.00 ^{ab}	2.57 ^b	5.59 ^a
60	3.48 ^b	2.41 ^b	6.39 ^b
75	3.62 ^{bc}	2.31 ^b	6.41 ^b
90	4.15 ^c	1.91 ^c	7.86 ^c
105	4.84 ^d	1.69 ^c	8.58 ^d
EE ±	0.13 ^{***}	0.06 ^{***}	0.21 ^{***}

^{abcd} Valores con letras no comunes por columna difieren a $P < 0.05$ (Duncan 1955)

*** $P < 0.001$

Herrera (2006), al estudiar la relación Cla/Clb en tres variedades de *P. purpureum* (King grass, Taiwán y Cuba CT-115), en condiciones de parcelas experimentales y de corte, encontró el mayor valor para Cuba CT-115, y lo relacionó con la individualidad bioquímica de cada planta.

Las relaciones Cla/Clb encontradas en nuestro trabajo fueron inferiores a las obtenidas por Silva *et al.* (2001) en ocho genotipos de *Pennisetum purpureum* Schum. Monteith (1978), al referir algunas características fotosintéticas de plantas del grupo C₄, informó un valor medio de $3,9 \pm 0,6$ para la relación clorofila a/b.

Una de las características fotosintéticas de los pastos tropicales es la menor cantidad de moléculas de clorofila por cloroplasto, principalmente de clorofila b, una vez que esas plantas no necesitan invertir más energía en la producción de pigmentos colectores de energía, pues se desarrollan óptimamente en un ambiente saturado de luz (Salisbury y Ross 1991).

La cantidad de luz absorbida a diferentes longitudes de onda (espectros de absorción) se muestra en la figura 1. Los mayores valores de absorción se presentaron para 440 y 660 nm, estos máximos de absorción se corresponden con lo planteado en la literatura para los pigmentos fotosintéticos (Curtis y Barnes 2000 y Starr y Ralph 2008). En general, la menor absorción de la luz se registró a los 30 d de rebrote. Los valores apenas variaron entre 90 y 105 d, siendo este último ligeramente superior. Esta respuesta resulta lógica, si se tiene en cuenta que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración, pues a mayor número de moléculas, mayor interacción de estas con la luz (Nobel 2009). Precisamente, las mayores absorciones de luz se corresponden con las mayores edades de rebrote, que fueron las que presentaron concentraciones de pigmentos superiores.

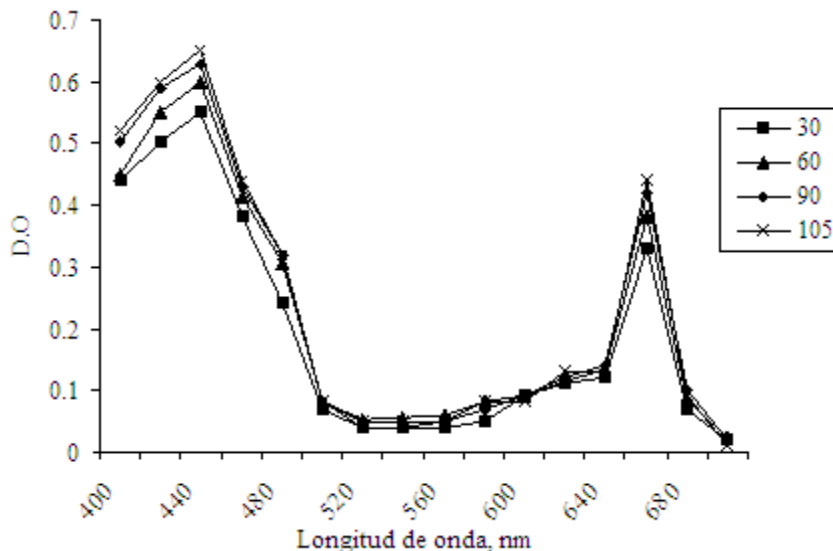


Figura 1. Espectros de absorción de la luz para diferentes edades de rebrote

Herrera *et al.* (1996), al estudiar los espectros de absorción de la luz en nueve mutantes de King grass, obtenidos por técnicas nucleares y mutágenos químicos, hallaron similar patrón de respuesta al encontrado en este estudio, aunque con valores característicos para cada mutante.

En la tabla 3 aparecen las variaciones del rendimiento de la hoja del rebrote (Rendim. Hoja Rb) con la edad.

Tabla 3. Variaciones del rendimiento de MS de las hojas del rebrote con la edad

Edad,d	Rendim. Hoja Rb, g MS/plantón
30	9.66 ^a
45	14.97 ^a
60	48.49 ^b
75	63.61 ^c
90	99.25 ^d
105	121.57 ^e
EE±	2.96 ***

^{abcd} Valores con letras no comunes por columna difieren a P < 0.05 (Duncan 1955)
 *** P < 0.001

Se observó incremento del rendimiento de hojas en el rebrote hasta los 105 d después del pastoreo. Resultados similares informaron Haddade *et al.* (2005), quienes encontraron incrementos con la edad en el número total de hojas por hijos y en el número de hijos por planta, en cuatro genotipos de *Pennisetum purpureum* Schum. (Napier, Cameroon, Pioneiro y CNPGL 91 F27 05).

La densidad de hijos y su número de hojas vivas resaltan como las principales características estructurales en un césped, ya que permiten determinar los máximos índices de área foliar y la cantidad de biomasa viva acumulada, que se corresponden con el conocimiento del

rendimiento máximo (Oliveira *et al.* 2000 y Carvalho *et al.* 2007).

Se pudiera plantear que los incrementos en el contenido de pigmentos verdes, en la medida que aumentó la edad, favorecieron el aumento del rendimiento de hojas de los hijos basales, al resultar fundamentales para la transformación de energía luminosa en energía química durante el proceso de fotosíntesis. Numerosos autores demostraron correlación positiva entre el contenido de pigmentos y la producción de materia seca en varias especies de plantas (Lauzán *et al.* 1990 y Rodríguez *et al.* 2006).

En este sentido, se encontraron relaciones entre el rendimiento del rebrote y las variables Cla y edad de la planta. Se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre estos tres indicadores. La ecuación del modelo ajustado fue:

$$\text{Rendim. Hoja Rb} = -53.21 + 1.53 (\pm 0.07) \text{ Edad} + 0.004 (\pm 0.002) \text{ Cla}$$

$$R^2 = 0.91, P < 0.01$$

$$\text{EE est. } \pm = 13$$

El coeficiente de determinación tiene valor de 0.91. Por tanto, se considera que el modelo es de buena calidad. Según la ecuación obtenida, en la medida que aumenta la edad y los tenores de Cla, se incrementan los rendimientos de hojas del rebrote.

Demétrio (2001) y Cordeiro y Demétrio (2007) destacaron el papel fundamental que tienen los residuos en la verificación de ajuste de un modelo. La figura 2 muestra la distribución de los residuos para la Cla. Como se observa, los datos de Cla tienen una distribución normal.

Se concluye que en las condiciones de este estudio, los contenidos de pigmentos fotosintéticos aumentaron con la edad de rebrote después del pastoreo hasta los

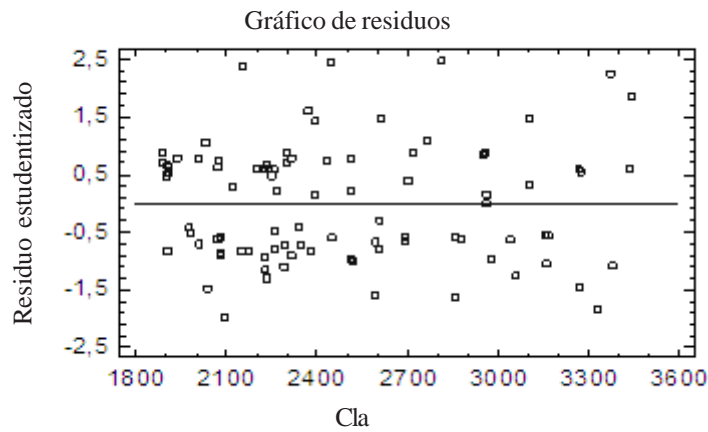


Figura 2. Distribución de los residuos para la Cla

105 d. Las relaciones entre las clorofilas indican buen funcionamiento del sistema fotosintético. Se observaron además, variaciones de los espectros de absorción de la luz con la edad de rebrote. Se encontró un modelo de regresión lineal múltiple para relacionar el rendimiento del rebrote con el tenor de Cla y la edad de la planta.

Referencias

- Biswas, D.K., Haque, M.M., Hamid, A. & Rahman, M.A. 2001. Photosynthetic Gas Exchange Characteristics, Leaf Area and Dry Matter Accumulation of Two Blackgram Cultivars. *J. Biological Sci.* 1: 951
- Carvalho, C.A.B., Rossiello, R.O.P., Paciullo, D.S.C., Sbrissia, A.F. & Deres, F. 2007. Classes de perfílios na composição do índice de área foliar em pastos de capim-elefante. *Pesq. agropec. Bras.* 42: 557
- Cordeiro, G. M. & Demétrio, C. G. B. 2007. Modelos lineares generalizados. *Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. v. 1. 165 p.
- Curtis, H. & Barnes, N.S. 2000. *Biología*. Ed. Médica Panamericana. 6ª Ed. Buenos Aires. 1498 p.
- Demétrio, C. G. B. 2001. *Modelos Lineares Generalizados em Experimentação Agronômica*. 3 Ed. Piracicaba. USP/ESALQ. Depto de Ciências Exatas. 113 p.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1
- Fortes, D., Herrera, R.S. & González, S. 2005. Modificación de una técnica para determinar pigmentos en hojas de king grass (*Pennisetum purpureum*). XVI Forum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba
- Fortes, D., Herrera, R.S., Torres, V., García, M., Cruz, A.M., Romero, A., Noda, A. & González, S. 2007. Determinación de un método de muestreo para el estudio morfofisiológico de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en pastoreo. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 41:381
- García, X., García, E., Rascón, Q., Herrera, L. & Aguado, G.A. 2005. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. *J. Plant Physiol.* 162: 650
- Haddade, I.R., Vasquez, H.M., Detmann, E., Silva, J.F.C., Smith, R.B. & Souza, P.M. 2005. Morfogênese e estruturação vegetativa em quatro genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 57: 811
- Hallik, L., Kull, O., Niinemets, U. & Anne Aan, A. 2009. Contrasting correlation networks between leaf structure, nitrogen and chlorophyll in herbaceous and woody canopies. *Basic and Applied Ecology* 10:309
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., Rivero, L., Camacho, E. & Ruíz, J. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ciudad de La Habana, MINAG p. 119
- Herrera, R. S. 2006. Fotosíntesis. En: *Pastos tropicales, contribución a la Fisiología, establecimiento, rendimiento de biomasa, producción de biomasa, producción de semillas y reciclaje de nutrientes*. Ed. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. p. 37
- Herrera, R.S., Lauzán, J.R., Cruz, R. & Martínez, R.O. 1996. Estudio de mutantes de king grass (*Pennisetum purpureum* sp.), obtenidas mediante técnicas nucleares y mutágenos químicos. V. Pigmentos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 30:211
- Huang, X.D., Alawi, Y.E., Penrose, D.M., Glick, B.R. & Greenberg, B.M. 2004. Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*. 130: 453
- Lauzan, J.R., Vento, H., Herrera, R.S., Martínez, R.O. & Cruz, R. 1990. Estudio de los pigmentos verdes y carotenoides en somaclones de king grass. II. Período seco. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 24: 233
- Lauzán, J.R., Vento, H., Herrera, R.S., Martínez, R.O. & Cruz, R. 1991. Estudio de los pigmentos verdes y carotenoides en somaclones de king grass. III. Período lluvioso. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 25: 195
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of Biomembranes. En: *Methods in Enzymology*. Ed. L. Packer & R. Doucer 148: 350
- Martínez, R.O. & Herrera, R.S. 2006. Empleo del Cuba CT-115 para solucionar el déficit de alimentos durante la seca. En: *Producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales*. Eds. M.E. Velasco, A. Hernández, R.A. Perezgrovas y B. Sánchez. Univ. Autónoma de Chiapas. México. p. 75
- Monteith, J.L. 1978. Reassessment of maximum growth rates for C3 and C4 crops. *Exp. Agric.* 14:1
- Nobel, P.S. 2009. Absorption of Light by Molecules. En: *Physicochemical and environmental plant physiology*. Fourth Ed. Academic Press/Elsevier Inc. p. 191
- Oliveira, M.A., Pereira, O.G. & Huaman, C.A.M. 2000. Características morfogénicas estructuras do capim bermuda «Tifton 85» (*Cynodon sp.*) em diferentes idades de rebrota. *Rev. Bras. Zootec.* 29:1939

- Richardson, A.D., Duigan, S. P. & Berlyn, G. P. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*. 153:185
- Rodrigues, L.R.A., Rodrigues, T.J.D., Reis, R.A. & Soares Filho, C.V. 2006. Avaliação de características fisiológicas de cinco cultivares de *Cynodon*. *Acta Sci. Anim. Sci.* 28:245
- Sage, R. F. & Kubien, D. S. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant. Cell and Environment* 30: 1086
- Salisbury, F.B. & Ross, C. W. 1991. *Plant physiology*. Wadsworth Publishing Company. 3 Ed. California, Belmont. 692 p.
- Silva, M.M., Maldonado, H., Bressan-Smith, R.E., Coelho, J.F. & D. Avila, E. 2001. Diferenças Varietais nas Características Fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Rev. Bras. Zootec.* 30:1975
- SPSS. 1997. Paquete estadístico. SPSS para Window. Versión 7.5.2
- Starr, C. & Ralph, T. 2008. *Biología. La unidad y la diversidad de la vida*. Ed. Cabañas, R. 11th. Ed. Progreso, México. p. 120
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. *Photosynthesis: The Light Reactions*. En: *Plant Physiology*. Fourth Ed. Sinauer Associates, Inc. p. 111

Recibido: 9 de diciembre de 2009