

Evaluación de dos métodos de secado sobre la composición nutricional del heno de follaje de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.)

Evaluation of two drying methods on the nutritional composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) foliage hay

Ernesto Hernández-Pérez y Luis Miguel Ramírez-Nader*

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Autor para correspondencia: lramirez@unal.edu.co

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.420>

Recibido: 09.08.2016 Aceptado: 29.10.2016

Resumen

Se evaluó la composición nutricional del Heno de Follaje de Yuca; (HFY) (*Manihot esculenta* Crantz), var. MPER183, con base en la comparación de dos (2) métodos de secado: natural, (SN) y artificial (SA). En cada uno de ellos, se utilizaron dos (2) cargas de follaje verde, (FV) (7,5 y 15,0 K.m²) y tres (3) frecuencias de corte. El FV se cosechó cada 14 días, a partir de las 16 y 18 semanas para el SN y el SA respectivamente. El contenido de humedad se midió de las 0 a las 48 horas en el SN y en el SA, cada dos horas (0 a 8 horas). El SA se realizó en un secador de capa fija dividido en compartimientos, el cual genera aire caliente forzado a (40°C), utilizando para ello un motor accionado con gas propano como combustible. Se determinó la materia seca (MS) a 60°C por 48 horas. Los contenidos de humedad, de composición nutricional y de ácido cianhídrico (HCN), se analizaron con modelos estadísticos de análisis de varianza diferenciados, según los procesos en evaluación mediante diseños completamente al azar con diferentes arreglos cada uno. Los resultados indicaron que el método de secado, la carga y la frecuencia de corte no afectaron significativamente la composición nutricional del HFY. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza entre los métodos de secado y a excepción de la MS, no se observaron diferencias significativas para las variables materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), hemicelulosa, celulosa y lignina. Para el SA, el HCN total y liberado fue mayor en relación con el SN. Los costos unitarios de producción por K de HFY, fueron 61,5%, mayores con el SA (COP. \$221), en relación con el SN (COP. \$136).

Palabras clave: Ácido cianhídrico, frecuencias de corte, secado artificial, secado natural.

Abstract

There was evaluated the nutritional composition of the Hay of Foliage of Yucca, (HFY) (*Manihot esculenta* Crantz), var. MPER183, with base in the comparison of two (2) methods of Dried: natural, (ND) and Artificial, (AD). In each of them, there were in use two (2) loads (charges) of Green Foliage (GF) (7.5 and 15.0 K.m²) and three (3) cutting frequencies. The FV was harvested every 14 days, starting at 16 and 18 weeks for the ND and the AD respectively. The content of dampness was evaluated from 0 to 48 hours in the ND and in the AD, every two hours (0 at 8 hours). The AD realized in a dryer of fixed cap divided in compartments that it works which generates warm air forced to (40°C), using for it, an engine driven with propane as combustible gas. There measured the Dry Matter (MS) to 60°C for 48 hours. The contents of dampness, of nutritional composition, and of hydrocyanic acid (HCN). Were analyzed by statistical models of differentiated variance analysis, according to the processes in evaluation, by means of randomized completely design by different arrangements each one. The results indicated the dried method, load and cutting frequency did not affect significantly the nutritional composition of the HFY. In agreement to the results of variance analysis between the dried methods and with the exception of the MS, significantly differences did not observe for the variables organic matter (OM), crude protein (PC), detergent neutral fiber (DNF), detergent acid fiber (DAF), hemicellulose, cellulose and lignin. For the AD, the total and liberated HCN was higher in relation than the ND. The unitary costs of production for K of HFY, were 61.5 %, major with the AD (COP. \$ 221), in relation with the ND (COP. \$ 136).

Key Words: Hydrocyanic acid, cutting frequency, artificial drying, natural drying.

INTRODUCCIÓN

La producción de follaje de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) para la alimentación de aves, bovinos y cerdos representa una alternativa como fuente de proteína, vitaminas y minerales que puede ser utilizada durante épocas críticas (sequía o excesos de humedad) como complemento al déficit de cantidad y calidad de forraje en estos periodos, o como suplemento estratégico en condiciones climáticas normales ((López, Albán & Becerra, 2008).

Una de las alternativas para la conservación de forrajes, es el heno. El propósito de hacer heno es aprovechar el excedente de forraje producido en la época de la abundancia y suplementar el ganado con este material durante épocas críticas (sequía o exceso de lluvia). El heno es el producto del secado del forraje, lo cual reduce su humedad de un nivel de 70 a 90% al tiempo de corte, a un nivel de entre 12 y 20% al momento de almacenar, permitiendo de esta forma la conservación segura por un largo período de tiempo (Ospina *et al.*, 2002).

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) es una planta perenne, perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*. Crece en una variada gama de condiciones tropicales, y aunque prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos más rentables es su capacidad para crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos periodos de sequía; sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo. Es un cultivo de amplia adaptación, ya que se siembra desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m. a temperaturas comprendidas entre 20 y 30°C con una óptima de 24°C, una humedad relativa entre 50 y 90% con una óptima de 72% y una precipitación anual entre 600 y 3000 mm con una óptima de 1500 mm (López, Albán & Becerra, 2008). Por otra parte, el manejo económico de la producción pecuaria depende en alto grado, del costo de la alimentación de los animales.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta investigación fue evaluar la factibilidad técnica y económica de la henificación de follaje de yuca (HFY) (*Manihot esculenta* Crantz.), en el aprovechamiento de la oferta estacional de dicho material como forraje para ganado bovino, a partir de comparar dos métodos de secado: Natural secado al sol en bandejas inclinadas (SN) vs Artificial (SA) utilizando un secador de capa fija con quemador a gas propano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La siembra y multiplicación con material vegetativo de yuca, variedad MPER-183, se llevó a cabo en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira - CEUNP, localizado en el corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria, departamento del Valle del Cauca (3° 24' N y 76° 26'O), a una altitud de 980 m.s.n.m, temperatura promedio de 24°C, humedad relativa de 69% y precipitación promedio anual de 1.009 mm.

Siembra y plan de manejo del cultivar de yuca MPER 183

El Cultivar MPER 183, es un material de excelente producción y comportamiento en la zona del norte del departamento del Cauca, el Valle del Cauca y en la región cafetera del departamento del Quindío, con una producción aproximada de follaje de 9,64 t.ha⁻¹ (CIAT, 2002). El terreno fue arado con vertedera de disco. Las estacas empleadas como semilla vegetativa se sumergieron en 150 litros de agua disuelta que contenía un insecticida y un fungicida (Basudin® y Orthocide® al 0,2%) durante cinco minutos con posterior secado al sol antes de la siembra.

Las estacas de 20 cm de largo aproximadamente, se sembraron a una distancia de 80 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, conformándose seis parcelas de 10 m x 12 m cada una, con un intervalo de 14 días entre siembra. El primer corte se realizó a las 16 semanas para el secado natural y a las 18 semanas para el secado artificial. El control de arvenses se hizo manualmente.

Se realizó un análisis físico y químico del suelo previo a la siembra. En la siembra se fertilizaron todas las parcelas con Triple 15, en dosis aproximadas de 500kg/ha. Para estimular la producción de biomasa aérea, a los 45 días posteriores a la siembra, se aplicó Nutrifoliar® en dosis de 80cc.20L⁻¹ de agua, por planta. La principal plaga encontrada en las parcelas del cultivo de yuca fue el gusano cachón (*Erinnyis ello* L.), el cual es capaz de consumir grandes cantidades de hojas a lo largo de su ciclo de vida. Para su control, durante el crecimiento de las plantas, se aplicó un insecticida (Basudin®) en dosis de 20cc.20L⁻¹ de agua cada 15 días.

Cosecha y secado del follaje de yuca

Las cosechas se realizaron de forma manual para SN y SA a las 16 y 18 semanas de edad respectivamente. El material forrajero cosechado en cada corte, se llevó a la

planta de procesos del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA), ubicado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cada corte de FV se procesó en una máquina pica pasto para forrajes, con la cual se obtuvo un tamaño aproximado de dos cm, para facilitar el secado. Para el método de secado se realizó un proceso de deshidratación del follaje de yuca, que tiene como objetivos principales: eliminar la humedad, disminuir la concentración de ácido cianhídrico y facilitar la incorporación del producto final en raciones balanceadas (Ospina *et al.*, 2002).

Para analizar el efecto sobre los dos métodos de secado se emplearon tres factores incluidos en el modelo de Análisis de varianza: carga del FV a secar en dos categorías: 7,5 y 15,0 K.m²; tiempo de secado: 0-48 horas en SN y 0-8 horas en SA; y frecuencia de corte (tres cortes cada 14 días, empezando a las 16 semanas de edad para el SN y a las 18 semanas de edad para el SA).

Secado natural en bandejas (SN)

El SN es el método más rudimentario para deshidratar hojas o raíces de yuca. Consistió en cargar y esparcir sobre bandejas inclinadas de madera con dimensiones de 1,70 m de largo x 0,70 m de ancho y 0,05 m de profundidad; fondo de superficie plana en malla fina para permitir el paso del aire y exponer el material al sol, durante 48 horas, tiempo requerido para alcanzar una textura de material seco. Con estas dimensiones la capacidad de carga del material a secar puede estar entre 10 y 15 K.m².

Secado artificial (SA)

Para el SA se utilizó un secador de capa fija, de capacidad variable conforme al tamaño de la cámara de secado y a la potencia del motor. Este secador está dividido en compartimientos que funcionan con dos ventiladores de aire localizados en los extremos del equipo. El quemador a gas propano produce la llama dando inicio a la circulación de aire caliente forzado a 40°C, que es conducido a la cámara de secado del equipo, el cual entra por debajo del metal que mide aproximadamente de 10 a 100 mm de espesor. El FV (que incluyó hojas, peciolo y tallos), fue esparcido uniformemente sobre los compartimientos con lámina de metal durante ocho horas.

Estimación de costos de producción del HFY

Para calcular los costos unitarios de producción, se determinaron los rendimientos estimados y los costos de producción de yuca forrajera por hectárea, incluyendo el

estimativo de los costos de adquisición y depreciación de los equipos requeridos para la obtención del HFY (Gil y Cadavid, 2006).

Análisis de laboratorio

El análisis bromatológico se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal, de la Universidad Nacional de Colombia (Palmira), y se determinó: contenido de humedad, MS, cenizas y MO mediante la técnica de (AOAC, 1990); para PC se utilizó la técnica de (Microkjeldahl, 1883); para FDN, FDA, Hemicelulosa, celulosa y lignina se utilizó la tecnología Ankom. En el laboratorio de Calidad de Forrajes (CIAT-Palmira), se analizó (HCN) total y libre mediante la técnica de Essers *et al.*, 1999.

Análisis de datos

Los modelos estadísticos utilizados fueron diferentes según los procesos en evaluación, así:

Para el estudio de humedad bajo condiciones de secado natural y artificial se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, bajo un arreglo en parcelas sub-divididas. El modelo lineal general utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + E(a) + T_j + (CxT)_{ij} + E(b) + Co_k + (CxCo)_{ik} + (TxCo)_{jk} + (CxCxCo)_{ijk} + E(c)$$

donde:

Y_{ijkl} : Contenido de humedad (%)
 C_i : Carga (kg/m²)
 T_j : Tiempo de secado (horas)
 Co_k : Frecuencia de corte (días)

Composición Nutricional: Diseño de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas divididas, donde el criterio de bloqueo utilizado fue la carga. El modelo lineal general utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + E(a) + S_j + E(a) + Co_k + (SxCo)_{jk} + E(b)$$

donde:

Y_{ijk} : Variable de respuesta relacionada con la calidad nutricional del heno follaje de yuca
 C_i : Carga (K.m²)
 S_j : Método de secado
 Co_k : Frecuencia de corte (días)

Análisis de Ácido Cianhídrico: Diseño completamente al azar con tres repeticiones y un arreglo en parcelas subdivididas.

El modelo lineal general utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + E(a) + C_j + (S \times C)_{ij} + E(b) + Co_k + (S \times Co)_{ik} + (C \times Co)_{jk} + (S \times C \times Co)_{ijk} + E(c)$$

donde:

- Y_{ijkl} : Contenido de ácido cianhídrico (%)
- S_i : Método de secado
- C_j : Carga (k.m⁻²)
- Co_k : Frecuencia de corte (días)

Para cada una de las variables de respuesta hizo un análisis de varianza y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey a una $p < 0,05$. Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa SAS® versión 9.13.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis comparativo de las curvas de secado

Para las condiciones de SN y dependiente de la carga, se espera que con un tiempo de secado de 48 horas, el follaje de yuca alcance una humedad final que puede fluctuar entre 60 y 70%. Dependiendo de la frecuencia de corte se esperaba que el mismo producto alcance porcentajes de humedad entre 55.0 y 65.0%.

Los resultados (Figuras 1 y 2), indicaron que al cabo de 48 horas, para SN la humedad de la materia prima no descendió del 50%, independientemente de la carga y la frecuencia de corte. Ese contenido de humedad puede estar relacionado con la circulación del aire (viento),

la temperatura y la humedad del aire que influyeron en el proceso de secado natural, lo que restringe su uso en la época del año en la que no hay lluvia, y la radiación solar y la velocidad del viento son bajas; otro factor es el contenido de humedad del follaje fresco, que fluctúa entre 70 y 80% y depende principalmente de la edad del corte: es mayor cuando el follaje es más tierno (Ospina *et al.*, 2002)

Para las condiciones de SA, y dependiente de la carga, se espera que para un tiempo de secado de ocho horas, el follaje de yuca alcance una humedad final que fluctúe entre 15.0 y 30.0%. Dependiendo de la frecuencia de corte, se esperaba que el mismo producto alcance porcentajes de humedad que varíen entre 10,0 y 30,0%.

Las Figuras 3 y 4, muestran que transcurridas 8 horas de secado, el contenido de humedad de la materia prima se encontró menor de 30% con una carga de 15,0 k.m⁻², mientras que con la carga de 7,5 k.m⁻², la humedad alcanzó valores inferiores a 20%; por tanto, entre menor sea la carga, menor será el contenido de humedad. En relación con la frecuencia de corte, los materiales procedentes de los dos primeros cortes alcanzaron, al cabo de ocho horas de secado, contenidos de humedad que fluctuaron entre 20 y 30%. En el caso del tercer corte, alcanzó una humedad final muy próxima al 10%, con respecto a la carga; de acuerdo con estos resultados e independientemente de la carga, la calidad nutritiva del heno resultante del proceso de secado artificial podría estar determinado por factores propios del manejo del cultivo, como la frecuencia y la época de corte adecuadas, asociado a condiciones edafoclimáticas del cultivo de la yuca (Ospina *et al.*, 2002).

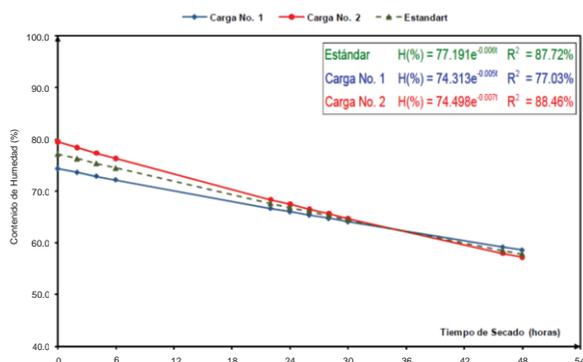


Figura 1. Curva de SN de acuerdo con la carga.

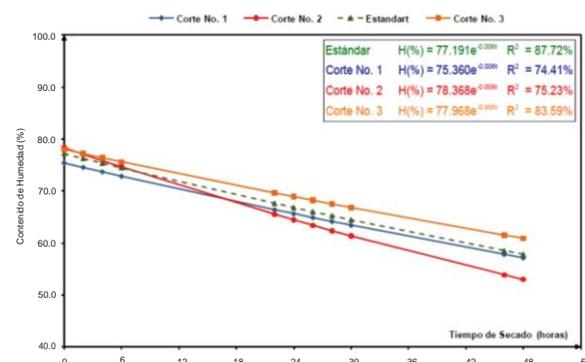


Figura 2. Curva de SN de acuerdo con la frecuencia de corte.

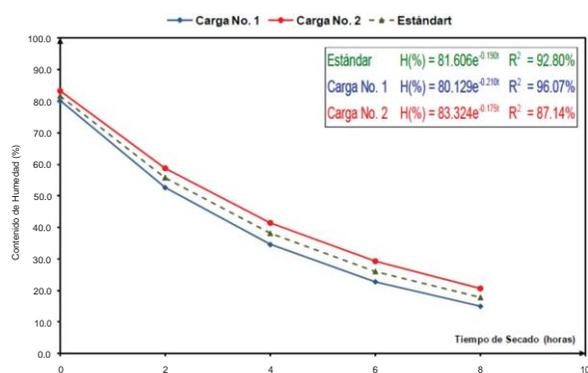


Figura 3. Curva de SA de acuerdo con la carga.

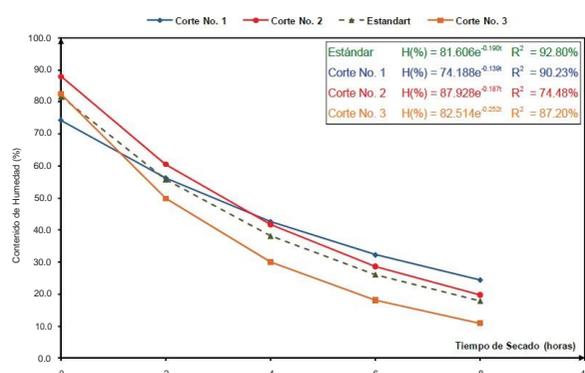


Figura 4. Curva de SA de acuerdo con la frecuencia de corte.

La frecuencia de corte de follaje en una variedad de yuca depende de la capacidad de la planta para producir el follaje y de su capacidad de rebrote. Esta capacidad depende de factores como: la variedad, la frecuencia y la cantidad de las lluvias, la altura del corte y la fertilidad del suelo donde se ha establecido el cultivo (López, Albán & Becerra, 2008).

Análisis de contenidos nutricionales

La carga y el método de secado no influyeron significativamente ($P > 0,05$) (Tabla 1) sobre los contenidos de MS, MO, PC, FDN, FDA, Hemicelulosa, Celulosa y Lignina, siendo la carga un factor asociado al manejo del follaje dentro de los ambientes que definen su pérdida de humedad.

Tabla 1. Promedios de la composición química (%) del HFY de acuerdo con la frecuencia de corte, carga y método de secado.

componente	Frecuencia de corte			Carga $k.m^2$		Método de secado	
	1	2	3	15.0	7.5	Artificial	Natural
MS	34.3 ^a	36.7 ^a	38.7 ^a	38.0 ^a	35.2 ^a	52.4 ^a	20.8 ^b
MO	90.4 ^a	90.2 ^a	89.2 ^a	89.6 ^a	90.3 ^a	90.5 ^a	89.3 ^a
PC	14.2 ^a	13.2 ^a	13.7 ^a	13.8 ^a	13.6 ^a	12.2 ^a	15.3 ^a
FDN	56.0 ^a	55.6 ^a	56.2 ^a	56.6 ^a	55.3 ^a	56.1 ^a	55.9 ^a
FDA	38.5 ^a	39.5 ^a	39.6 ^a	39.8 ^a	38.6 ^a	39.8 ^a	38.6 ^a
Hemicelulosa	17.5 ^a	16.1 ^a	16.8 ^a	16.9 ^a	16.8 ^a	16.3 ^a	17.3 ^a
Celulosa	15.4 ^a	14.8 ^a	15.2 ^a	15.2 ^a	15.0 ^a	15.9 ^a	14.3 ^a
Lignina	23.2 ^a	24.7 ^a	24.4 ^a	24.6 ^a	23.6 ^a	23.9 ^a	24.3 ^a

Valores promedios dentro de una misma fila, con igual letra no difieren estadísticamente. ($p < 0.05$)

Con los resultados consignados en el análisis de varianza (Andeva) se establecieron posibles relaciones entre la frecuencia de corte, el método de secado y la carga, con variables asociadas tanto a calidad como a cantidad de los componentes nutricionales del heno de follaje de yuca, donde la composición nutricional del mismo puede variar por factores como la edad de la planta y la relación proporcional entre hojas y tallos; así, a mayor edad de la planta, menor será su contenido de proteína y mayor el de fibra y M.S.; a mayor cantidad de hojas en relación con los tallos y peciolo, mayor será el contenido de proteína de aquellas y menor el de fibra y M.S. (Ospina *et al.*, 2002; Ramírez & Jiménez, 2007).

En relación con la frecuencia de corte, el Andeva no detectó diferencias significativas para las variables: MO, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina. Para contenido de M.S con respecto a la frecuencia de corte 1, 2 y 3, los promedios fueron: 34,3% 36,7% y 38,7%, respectivamente (Tabla 1). En el estudio de Ramírez y Jiménez (2007), quienes estudiaron frecuencias de corte, no se encontraron diferencias significativas entre contenidos de MS (18,45, 18,82, 18,57, 19,1%) en el follaje de yuca de la variedad HMC-1, aunque estos valores son menores a los obtenidos en el presente ensayo, debido probablemente a la mayor proporción de tallos y peciolo que de hojas en el follaje utilizado. Para PC (Tabla 1), referida al método de secado, varió

entre 15,3% en el SN y 12,2% en el SA, mientras que los valores relacionados con la frecuencia de corte fluctuaron entre 13,2 y 14,2%. Los resultados anteriores son inferiores al promedio de 21,4% reportado por Wanapat *et al.* (1997). También son inferiores a los reportados por Ramírez & Jiménez (2007), con valores que oscilaron entre 27,8 y 22,4% quienes los asociaron con la densidad de siembra, la frecuencia de corte, y el contenido de peciolas, tallos y hojas.

Respecto a los promedios de FDN, no se presentaron diferencias significativas asociadas a los factores en estudio; no obstante, el promedio de esta variable (56,0%) resultó superior respecto a los reportados por Gil & Cadavid (2006); Wanapat *et al.*(1997) y Ramírez & Jiménez (2007), los cuales fueron de 42,7, 34,0 y 36,2% respectivamente. Conforme a los valores de clasificación de calidad de los alimentos asignados por la *American Forage and Grassland* (Calsamiglia, 1997), el valor de FDN para segunda y tercera categoría es (47-53%) y (54-60%) respectivamente; y para FDA, para segunda y tercera categorías el valor es de (36-40%) y (41 y 42%). De acuerdo con lo anterior, y con los resultados de contenido de FDN y FDA en el heno de follaje de yuca obtenido con los dos métodos de secado, se clasifican como un producto de segunda y tercera categoría respectivamente.

Análisis de contenidos de ácido cianhídrico

Según los resultados del Andeva, (Tabla 2), se obtuvieron diferencias ($P < 0.01$), debidas al efecto del método de secado, sobre el contenido de HCN total y liberado. Los promedios para el SA, fueron de 58,5% para HCN total y 43,0% para HCN liberado, superando al SN, con promedios de 15,7% para HCN total y 8,4% para HCN liberado. Los anteriores resultados difieren con lo reportado por Devendra (1977), quien establece que si la deshidratación va acompañada de altas temperaturas, la linamarasa se inactiva, lo cual conduce a una disminución en la hidrólisis de los glucósidos cianogénicos que liberan el ácido cianhídrico. Sin embargo, el mismo autor establece que en comparación con raíces frescas, la exposición del follaje a los rayos del sol, que podría interpretarse como altas temperaturas, no conlleva necesariamente a la disminución efectiva de HCN.

Entre cargas, el análisis establece diferencias significativas ($P < 0.01$). Para la carga de 7.5 k.m² el contenido de HCN total es de 48,6% y para el liberado 31,9%; mientras que para una carga de 15.0 kg/m², los promedios de HCN total es 27,3% y HCN liberado 18,2%. De igual manera, los contenidos de HCN total y liberado pueden estar condicionados por

la frecuencia de corte. Los menores promedios de HCN total (21,0%) y liberado (10,9%), se obtuvieron durante el primer corte, mientras que los mayores se obtuvieron en el segundo corte en el caso de ácido cianhídrico total (45,2%) y liberado (27,2%) y en el tercer corte para ácido cianhídrico total (37,4% y liberado (32,0%).

Tabla 2. Prueba de Tukey comparativa entre método de secado, carga y frecuencia de corte para el contenido de HCN (%).

	HCN total Promedio	HCN liberado Promedio
Método de secado		
Artificial	58,5 ^a	43,0 ^a
Natural	15,7 ^b	8,4 ^b
Carga k.m²		
7,5	48,6 ^a	31,9 ^a
15,0	27,3 ^b	18,2 ^b
Frecuencia de corte		
1	21,0 ^b	10,9 ^b
2	45,2 ^a	27,2 ^a
3	37,4 ^a	32,0 ^a

Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadísticamente. ($Pr < 0.05$).

Análisis de costos unitarios de producción de heno de follaje de yuca

Para la estimación de los costos unitarios de producción, por k de heno producido, se realizó la estimación de los costos totales para la producción de yuca forrajera por hectárea, incluidos los costos de adquisición y depreciación de los equipos requeridos.

El costo de producción de follaje de yuca obtenido por secado natural, se estimó en COP: 4.720.974.ha⁻¹. Para una producción estimada de follaje verde de 110.000 Kg (CIAT 2002), el costo unitario por Kg de FV es de COP 42.9.K⁻¹. Para el mismo secado natural, se estimó un contenido promedio de 31,6% de materia seca, siendo el costo de kg de heno producido de COP136.K⁻¹.

Según la estructura de costos reportada por el mismo autor, el costo de producción de follaje de yuca obtenido por secado artificial, se estimó en COP 13.683.541. ha⁻¹. Para una producción estimada de follaje verde de 110.000 k, el costo unitario por kg de FV resultante es de COP 124.4. Para el secado artificial, con un estimativo de 56.4% de materia seca, el costo de FS o heno producido, resulta en COP 221.k⁻¹.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, en relación con la carga, el método de secado y la frecuencia de corte, indicaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas para las variables asociadas con la calidad y cantidad de los componentes nutricionales del heno follaje de yuca. Los contenidos de materia seca, materia orgánica, proteína cruda y de las fibras detergentes ácida y neutra, fueron inferiores como indicadores de calidad, debido posiblemente a la mayor heterogeneidad en la mezcla de los componentes del follaje de yuca (hojas, peciolo y tallos verdes) utilizados en el ensayo.

Los mejores resultados biológicos se alcanzaron con el secado artificial, porque se logró obtener la mayor cantidad de MS y mantener una mejor composición nutricional. Con el secado natural se obtuvo una mayor disminución en los contenidos de ácido cianhídrico HCN, total y libre. El resultado del análisis económico basado en la estimación del costo unitario de producción por k.ms^{-1} , mostró que en el secado artificial, el costo unitario de producción por k.ms^{-1} fue 61,5% mayor en relación con el secado natural, lo que determina que el método de SA no es factible para producir heno de follaje de yuca, a nivel de pequeña y mediana escala de producción.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de Agricultura Tropical–CIAT, Palmira, y al Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca-CLAYUCA y a su director Ing. Agr. Bernardo Ospina Patiño. A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira-DIPAL por la financiación de este proyecto.

REFERENCIAS

- AOAC (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th Ed., Arlington, Virginia, USA. p.771. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>.
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. p.150.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2002). Mejoramiento genético de la yuca en CIAT. La yuca una materia prima competitiva para la industria y una fuente confiable de ingresos para el agricultor. <http://www.clayucac.org/docs/ivcongreso/12-mejoramientogeneticoyuca.pdf>.
- Devendra, C. (1977). Cassava as a feed source for ruminants En: Nestel, B. y Grahem. M (eds). Cassava as animal feed of a workshop held at the University of GUELPH, 1977. International Development. Research Centre. Ottawa. Canada. pp.107-119. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=catalco.ost&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=042086>.
- López, A.J., Albán, T. A. A., Pérez, C. S., & Becerra, J. J. (2008). Variedades de yuca para producir forraje en tres regiones de Colombia. Cartilla divulgativa. Corpoica. <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/55390/publicacin.pdf>.
- Essers, S.A., Bosveld, M., Van Grift, R. & Voragen, A. (1993). Studies on the quantification of specific cyanogens in cassava products and introduction of a new chromogen. *J Sci Food Agri*, 63 (3), 287 – 296. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740630305>
- García, A., Gallego, S., & Lisimaco, A. (2006). Establecimiento de una planta piloto para producción continua de harina refinada de yuca. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Digital/SB211.C3_G373_Establecimiento_de_una_planta_piloto_para_producci%C3%B3n_continua_de_harina_refinada.pdf.
- Gil, J., & Cadavid, L.F. (2006). Investigación en producción de yuca forrajera en Colombia. (CIAT). <http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/luis.htm>.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung der Stickstoffs in organischen Korpern. *Z Anal Chem*, 22, 366-382.
- López, J.A., Albán, T. A., Pérez, C.S. & Becerra, J.J. (2008). Variedades de yuca para producir forraje en tres regiones de Colombia. Cartilla divulgativa. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al desarrollo de la yuca (CLAYUCA). <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/55390/publicacin.pdf>.
- Ospina, B., Ceballos, H. (2002). La yuca en el tercer milenio sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CLAYUCA. CIAT (Eds).185p.

Ramírez, N.L.M.; Ipaz, C.C.M., & Jiménez, P.A.(2007). Yuca *Manihot esculenta* Crantz; alternativa forrajera para el desarrollo sostenible de sistemas de producción ganadera en el trópico. Manual técnico. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ciencia Animal. Palmira.

Wanapat, M., Pimpa, O., Petlum, A., & Boontao, A. (1997). Cassava hay: a new strategic feed for ruminants during the dry season. In: *Better use of locally available feed resources in sustainable livestock based agricultural systems in SE Asia*. FAO Regional Project. GCP/RAS/143/JPN (Phnom Penh, Cambodia).