EVALUACIÓN DE DOS METODOS DE SECADO Y SU EFECTO SOBRE LA COMPOSICION NUTRICIONAL DEL HENO DE FOLLAJE DE YUCA ***Manihot esculenta*** ***Crantz*** .

ERNESTO HERNANDEZ PEREZ

Director

LUIS MIGUEL RAMIREZ NADER
Zootecnista Msc

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA
2010

EVALUACIÓN DE DOS METODOS DE SECADO Y SU EFECTO SOBRE LA COMPOSICION NUTRICIONAL DEL HENO DE FOLLAJE DE YUCA *Manihot esculenta Crantz* .

ERNESTO HERNANDEZ PEREZ

Tesis de Grado Presentado Como Requisito Parcial para Optar al Título de Magíster en Ciencias Agrarias Línea de Investigación en Producción Animal Tropical

Director
LUIS MIGUEL RAMIREZ NADER
Zootecnista Msc Profesor Asociado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
COORDINACION GENERAL DE POSTGRADOS
PALMIRA
2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN ANIMAL TROPICAL

En Palmira a los 11 días del mes de noviembre de 2010, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores VICTORIA EUGENIA QUINTERO y ENRIQUE ARARAT

Para calificar la Tesis de Grado de:

ERNESTO HERNANDEZ PEREZ

Titulada:

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL HENO DE FOLLAJE DE YUCA Manihot esculenta Crantz OBTENIDO MEDIANTE DOS METODOS DE SECADO: NATURAL EN BANDEJAS vs. ARTIFICIAL EN CAPA FIJA" bajo la dirección de Luis Miguel Ramírez, M.Sc.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los docentes VICTORIA EUGENIA QUINTERO y ENRIQUE ARARAT, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA X

REPROBADA ___

Victoria E Quintero
VICTORIA E. QUINTERO

Enrique Ararat
ENRIQUE ARARAT

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en cada uno de mis días de vida.

A mi esposa Alba Nidia Sánchez Arango y a mis hijas, Briana Bolena y Nahir Xilena, por ser comprensivas durante estos dos años de mi ausencia en sus vidas, y por haberse convertido en la fuente de inspiración para el logro de esta nueva meta.

A mis Padres, Suegra, Hermanos, Primos, Sobrinos y al tío Ulpiano; por su apoyo y ser fuente de estímulos constante en la realización de este sueño anhelado.

AGRADECIMIENTOS

A CLAYUCA, en cabeza del Dr. Bernardo Ospina Patiño; por haber permitido llevar a feliz término el presente trabajo con todo su apoyo personal y logístico. Y a todo el equipo de trabajo del consorcio

A CIAT, por haber hecho realidad un objetivo personal; hacer parte de tan prestigiosa institución investigativa a nivel mundial.

Al Profesor Luis Miguel Ramírez Nader, por todos los aportes hechos es esta investigación y sus valiosas sugerencias a nivel profesional.

Al Ing. Francisco José Sánchez Marín, por su apoyo y asesoría en la interpretación de la información estadística.

A mis compañeros(as), en especial a Claudia Lorena Cerón F, por su gran colaboración y apoyo. Y aquellos que compartieron conmigo, una parte de sus vidas en esta enriquecedora experiencia.

AL Centro de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira (CEUNP), por su constante apoyo en la fase de campo.

La exitosa culminación de esta investigación se debió a la formación y seguimiento brindados por parte de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

El Autor

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCION 14

1. DEFINICION DEL PROBLEMA 15

2. HIPOTESIS GENERAL 17

3. OBJETIVOS 18

3.1 OBJETIVO GENERAL 18

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 18

4. MARCO TEÓRICO 19

4.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE YUCA 19

4.2 PRODUCCION DE FOLLAJE DE YUCA 20

4.3 METODOS DE SECADO DE FOLLAJE DE YUCA 22

4.3.1 Métodos Naturales 22

4.3.2 Métodos Artificiales 22

4.4 CALIDAD NUTRICIONAL DEL FOLLAJE DE YUCA 23

4.5 UTILIZACION DEL HENO DE FOLLAJE DE YUCA EN ALIMENTACION DEL GANADO 25

5. METODOLOGIA 28

5.1 LOCALIZACIÓN Y DURACION 28

5.1.1 Análisis de Suelo 28

5.1.2 Siembra y Plan de Manejo del Cultivar de Yuca MPER-183 29

5.2 PROCESOS PARA EL SECADO DEL FOLLAJE DE YUCA 33

5.2.1 Método de Secado Natural 33

5.2.2 Método de secado Artificial 34

5.3 Análisis de Composición Nutricional 35

5.4 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES 39

5.4.1 Secado Natural 39

5.4.2 Secado Artificial 39

5.5 DISEÑO EXPERIMENTAL 39

5.5.1 Análisis de Contenidos de Humedad 39

5.5.2 Análisis de Composición nutricional 40

5.5.3 Análisis de Acido Cianhídrico 40

5.6 ANALISIS ESTADISTICO Y ECONOMICO 41

6. RESULTADOS Y DISCUSION 42

6.1 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE SECADO 42

6.2 Análisis de Composición Nutricional 46

6.3 ANALISIS DE ACIDO CIANHIDRICO 53

6.4 ANALISIS ECONOMICO 56

6.4.1 Secado Natural 57

6.4.2 Secado Artificial 58

7. CONCLUSIONES 60

BIBLIOGRAFIA 63

ANEXOS 67

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Calidad nutricional en la parte aérea de la planta de yuca 24

Tabla 2. Consumo voluntario y digestibilidad del heno de follaje de yuca como única componente de la dieta de novillos Holstein 26

Tabla 3. Efecto del Heno de Yuca sobre el Rendimiento y Composición de la Leche en Vacas Lactantes. 27

Tabla 4. Analisis Químico Suelo CEUNP. 29

Tabla 5. Análisis de Varianza Para la Variable de Respuesta Contenido de Humedad (%), Comparativo para los dos Métodos de Secado. 46

Tabla 6. Análisis de Varianza para las Variables de Respuesta Relacionadas con la Calidad Nutricional del Forraje. 50

Tabla 7. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con la Carga. 51

Tabla 8. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con Métodos de Secado. 52

Tabla 9. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con la Frecuencia de Corte. 53

Tabla 10. Análisis de Varianza Comparativo para dos Métodos de Secado para la Variable de Respuesta Contenido de Acido. 54

Tabla 11. Prueba de Tukey Comparativo entre dos Métodos de Secado para la Variable de Respuesta Contenido de Acido Cianhídrico (%). 55

Tabla 12. Costos de Producción de Forraje de Yuca (ha/corte) - Secado Natural. 58

Tabla 13. Costos de Producción de Yuca Forrajera (ha/corte) - Secado Artificial. 59

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Cultivar de yuca MPER 183. 30

Figura 2. Semilla de Yuca MPER 183. 30

Figura 3. Siembra de Yuca MPER 183. 31

Figura 4. Secado Natural en Bandeja Follaje de Yuca. 33

Figura 5a. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca 34

Figura 5b. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca 35

Figura 5c. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca 35

Figura 6. Proceso para la Obtención de Heno de Yuca: Evaluación de los Aspectos Técnicos de la obtención de heno Follaje de Yuca. 37

Figura 7. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Naturales, de Acuerdo a la Carga. 42

Figura 8. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Naturales, de Acuerdo a la Frecuencia de Corte. 43

Figura 9. Curva de Secado Bajos Condiciones Ambientales Controladas, de Acuerdo a la Carga. 44

Figura 10. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Controladas, de Acuerdo a la Frecuencia de Corte. 45

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Costos Para el Establecimiento de una Hectárea no Mecanizada de Yuca Forrajera. 67

Anexo B. Costos Para el Establecimiento de una Hectárea Mecanizada de Yuca Forrajera. 68

Anexo C. Clasificación forrajes para ganado de leche según el Índice de Valor Relativo de acuerdo con Linn et al (1989) 69

La Facultad De Ciencias Agropecuarias y los Jurados Calificadores del Trabajo de Grado no se hacen Responsables de las Líneas Emitidas Por el Autor en esta Investigación.

Articulo 24.Resolución 04 De 1974.

RESUMEN

Para medir la calidad nutricional del Heno de Follaje de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) se evaluaron dos Métodos de Secado (Natural y Artificial), dos Cargas de follaje verde (7.5 y 15.0 Kg./m^2) y tres Frecuencias de Corte. Se utilizó la Variedad de Yuca MPER 183, la cual fue sembrada en el Centro Experimental CEUNP de la Universidad Nacional Sede Palmira. El follaje verde (Hojas, pecíolos y tallos tiernos) se cosechó a las 16 semanas en forma escalonada cada 14 días para secarse por Métodos Naturales; a las 18 semanas, también en forma escalonada cada 14 días, para secarse por Métodos Artificiales.

El montaje del experimento se realizo en CLAYUCA, el cual se localiza en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Se utilizo un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones y arreglo en Parcelas Divididas.

Los factores en estudio no afectaron tanto la cantidad como la calidad de los componentes nutricionales del heno de yuca; sin embargo los contenidos de Proteína Cruda fueron inferiores a los reportados para el mismo producto por otros autores, mientras que por los contenidos de FDN y FDA se permite clasificar el Heno de Yuca como Tipo 3. Los niveles de HCN tanto Total como Liberado se mantienen dentro del rango reportado para este material.

El análisis de costos demostró que producir un kilogramo de Follaje Seco de Heno de Yuca por Métodos Naturales tiene un costo aproximado de 135.8 pesos, mientras que hacerlo por Método Artificiales costaría aproximadamente 220.6 pesos.

Palabras clave: Follaje de yuca, Heno, Secado Natural, Secado artificial, Composición Nutricional.

SUMMARY

To measure the nutritional quality of foliage Hay, yucca (Manihot esculenta Crantz) evaluated two drying methods (natural and artificial), two charges of green foliage (7.5 and 15.0 kg/m2) and three frequency of court. The variety of Yucca MPER 183, which was planted in the CEUNP experimental center of the University National Headquarters Palmira, was used. Green foliage (sheets, petioles and stems tender) harvested at 16 weeks in a phased manner every 14 days to dry by natural methods; 18 weeks, also shaped staggered every 14 days, for drying by artificial methods, age, also in phased (3 tracks every 14 days), artificial drying.

Assembly of the experiment was conducted in CLAYUCA, which is located in the International Centre for tropical agriculture CIAT. Use a design fully random three repetitions and plots Divided arrangement.

Study factors did not affect both the quantity and quality of nutritional components of hay cassava; however Cruda protein levels were below the reported for the same product by other authors, while content FDN and FDA allows sorting the Yucca hay as type 3. Both total and released HCN levels remain within the range reported for this material.

Cost analysis showed that production of one kilogramme of MS Hay Yucca by natural methods has a cost of approximately 135.8 pesos, while do artificial method applies approximately 220.6 pesos.

Key Word: Foliage of cassava, hay, drying natural, artificial drying, nutritional composition.

INTRODUCCIÓN

La Yuca *Manihot esculenta Crantz* es una planta perenne, perteneciente a la familia Euphorbiaceae, ideal para el uso agroindustrial debido a la producción de hidratos de carbono en las raíces tuberosas y de proteína en la parte aérea.

El cultivo de la yuca se ha expandido a escala Nacional gracias a que es un cultivo que presenta ventajas como tolerancia a la sequía, produce en suelos degradados, resiste plagas y enfermedades, tolera suelos ácidos y es muy flexible al momento de su siembra y cosecha cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, pudiéndose producir bajo condiciones adversas y climáticas marginales y a la cantidad de usos potenciales que tiene. Uno de ellos es la utilización del follaje (láminas foliares, pecíolos y tallos frescos) para la alimentación de animales monogástricos (aves, cerdos) y rumiantes (bovinos). (Corpoica, 2008)

.Cuando se ha utilizado su parte aérea (laminas foliares, peciolos y tallos verdes), como forraje ha demostrado ser una excelente fuente de nutrientes, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas de alimentación, a nivel de finca o en escala industrial. El desarrollo de técnicas de conservación de Yuca (raíces y follaje), sobre la base de la explotación como un todo, considerando entre otros factores la disponibilidad de terreno, mano de obra, maquinaria y equipos, instalaciones y capital debe ser más estudiado, Con seguridad la yuca de uso forrajero puede desempeñar un papel fundamental para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción ganadera en Colombia y otros países de la franja tropical (Domínguez, 1981).

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia la alimentación del ganado bovino, presenta estacionalidad en la oferta de pastos y forrajes, debido a las fluctuaciones anuales en los periodos de lluvias y sequias , lo cual determina de igual modo fluctuaciones en la disponibilidad de materia seca y en la calidad de las pasturas ocasionando fuertes restricciones biológicas, económicas y ambientales a los sistemas de producción ganaderos que buscan la rentabilidad del productor, la calidad del producto y la sustentabilidad del ecosistema.(Ramírez *y Jimenez*., 2008)

La utilización de pastos y forrajes de buena calidad, adaptados al medio tropical y de fácil adquisición, es necesaria para la alimentación eficiente del ganado. Por tal motivo, conviene estudiar nuevas fuentes de alimentación no convencionales disponibles, que como el follaje de yuca, pueden llegar a ser alternativas viables técnica y económicamente a condición de que sean relativamente sean de fácil consecución y de un costo bajo para los productores ganaderos

La producción de Yuca forrajera se ha identificado como una de esas alternativas para la alimentación animal. La Yuca manejada como planta forrajera en sistemas integrados de producción cultivos –ganadería a gran escala y en forma continua presenta un alto potencial para la producción de proteína de alto valor nutritivo. (Domínguez, 1981). Por lo tanto, puede ser una alternativa para sustituir otras fuentes proteicas convencionales de origen vegetal como son las tortas de soya, algodón, etc.

El follaje de yuca al ser suministrado a los rumiantes en forma fresca o como heno, actúa como fuente de proteína sobre pasante, es decir como proteína que pasa al intestino y es digerida por el animal y no es consumida por las bacterias ruminales, permitiendo mejorar la utilización de la energía, así como la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia en dietas (Becerra y Castaño, 2006)

Una de las estrategias para mejorar la eficiencia de utilización de los recursos con que cuenta el productor, reducir e incrementar la eficiencia productiva y la sostenibilidad de los sistemas de producción bovina, es la conservación de forrajes (Cuesta, 1999). El proceso de conservación más difundido entre las fincas ganaderas es el heno, ya que en este proceso se pierden menos nutrientes que en otros y cuyo principio es la extracción de agua del forraje (Checa, 1998).

2. HIPOTESIS GENERAL

La obtención de heno de follaje de yuca por medio del método de secado artificial en un secador de lecho o capa fija que funciona mediante una corriente de aire caliente utilizando como combustible gas propano, permitirá obtener un método de secado más eficiente y menos costoso que el secado natural en bandejas expuestas durante el día a la radiación solar lográndose obtener un heno de follaje de optima calidad nutricional, principalmente por su aporte proteico, como reemplazo parcial de fuentes proteicas convencionales, en dietas para rumiantes

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la Henificación de follaje de yuca (Manihot esculenta, Crantz), en el aprovechamiento de la oferta estacional de dicho material como forraje para ganado bovino, mediante dos métodos de secado: Natural en Bandejas vs. Artificial en capa fija)

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la calidad nutricional del heno follaje de yuca, obtenido con los dos métodos de secado teniendo en cuenta el efecto de las factores relacionados con los procesos de transformación de follaje verde a heno, (Carga ., Tiempo de secad y Frecuencia de corte) ;mediante el análisis de la Composición Química (Humedad, H, Materia Seca, MS, Proteína Cruda, PC, Fibra en Detergente Neutro, FDN,, Hemicelulosa, Celulosa , Fibra en Detergente Acido, FDA, Lignina, Cenizas, Materia Orgánica, MO, contenido de Acido Cianhídrico, HCN, total y libre .

- Estimar los costos unitarios de producción de heno de follaje de yuca (*Manihot esculenta Crantz)* obtenido con los dos métodos de secado, a partir de la estimación de los rendimientos de producción de follaje verde por hectárea y por año *,* con o sin mecanización del cultivo y de la cosecha,

4. MARCO TEÓRICO

4.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE YUCA

La mayor parte de la yuca se produce en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales, por lo que una producción importante no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa (Ceballos, 2002). En África se siembra un 63.8% del total del área mundial y se cosecha el ,51.7% de la producción mundial, en Asia, sin embargo, se siembra el 20.6% y se produce el 31.5% del total mundial indicando una alta productividad. Sur América y el Caribe siembra el 16.5% de la superficie mundial sembrada con yuca y produce 17.2% del total mundial (FAO, 2007).

En América, Colombia ocupa el tercer lugar tanto en área sembrada con 185.000 ha, como en producción con 2.1 millón de toneladas; El primer lugar lo ocupa Brasil, que tiene 944.834 ha sembradas y produce 27.312.946 toneladas; seguido de Paraguay, con 320.000 ha sembradas y 5´100.000 toneladas de producción. Los rendimientos en estos países son aproximadamente Brasil 14 t/ha, Paraguay 15.9 t/has y Colombia 11.35 t/ha (FAO, 2007).

En Colombia las principales zonas de cultivo están en la Costa Atlántica con un 42.4% de la producción nacional, siguen los Llanos Orientales 13.2%, los Santanderes 13%, el Valle del Cauca 4.6%, Huila y Tolima 2.8% y el Eje Cafetero 2.4% (Gottret et. al, 2002).

La Costa Atlántica participa con el 54% del total Nacional., en esta región el 70% de los productores son pequeños agricultores con fincas de aproximadamente 0.5 a 2 ha; aunque el 30% restantante son productores medianos (2 a 5 ha) y grandes (más de 5 ha). En los llanos Orientales el área cultivada pasa con un 13.2% y se concentra en medianos productores con área promedio de finca entre 6 y 8 ha. En

los Santanderes, el área se registra en fincas de 0.5 a 2 ha. En Huila y Tolima y Valle del Cauca hay poca área sembrada con 3.2% y 5.1% respectivamente y se consideran áreas grandes de cultivos industriales ó muy pequeñas en laderas (Gottret et. al., 2002).

4.2 PRODUCCION DE FOLLAJE DE YUCA

Como la variedad de yuca forrajera se siembra para producir follaje, la producción de raíces es de poca importancia. Por esta razón, el suelo puede ser de menor profundidad que el suelo que se utiliza para producir raíces; sin embargo su fertilidad debe ser adecuada teniendo en cuenta la alta extracción de nutrientes que se produce por el corte sucesivo del follaje. La preparación del suelo puede hacerse con arada y rastrillada. Para producir follaje, debe sembrarse entre 4 y 10 veces la cantidad de semilla que se siembra normalmente para producir raíces de yuca (CORPOICA, 2008).

La altura de corte depende de la variedad, ya que unas rebrotan más rápido que otras. En cualquier caso el corte de follaje, se debe hacer a una altura donde se conserven las reservas de la planta para el siguiente rebrote. Se recomienda realizar el corte a la altura del tallo donde se inicia el tallo de color verde (30-40 cm del suelo). La obtención continúa de follaje sembrando a densidades de siembra superiores a 40000 plantas por hectárea, puede causar un agotamiento de la fertilidad y capacidad productiva del suelo. Para evitar este agotamiento, es necesario devolver al suelo los nutrientes que la planta extrae., (CORPOICA, 2008).Se puede aplicar fertilización convencional, integrada con abonos orgánicos como bovinaza. La cantidad de cada componente dependerá del análisis del suelo en cada finca. En general, si es necesario aplicar cal agrícola, debe hacerse 15 o 30 días antes de la siembra.

La aplicación de abonos químicos se debe distribuir a través del ciclo del cultivo. Si se planea la producción de follaje a un año; se debe asegurar el suministro de los fertilizantes al momento de la siembra y luego después de cada corte (2-3 meses), para garantizar el crecimiento de nuevos tallos y hojas. Independiente de la fuente de nitrógeno, se recomienda aplicar el 40 % en la siembra, 20% en el segundo corte, 20 % en el tercer corte y 20 % en el cuarto y último corte (CORPOICA, 2008).

Respecto a potasio y fósforo, se recomienda aplicar el 60 % en la siembra y el resto 40% en el segundo corte (6 meses). La aplicación del fertilizante se puede hacer en banda sencilla, a lo largo del surco y con posterior tapada del fertilizante para evitar pérdidas (CORPOICA, 2008).

Un aspecto importante es que la planta de yuca tenga una buena retención de hojas durante todo el ciclo del cultivo; esto es, que no presente defoliación. También es necesario que la variedad sea resistente a las enfermedades y plagas que reduzcan la producción de hojas. Con esto se logra aplicar menos insecticidas a un cultivo más y amigable con el medio ambiente.

La frecuencia de los cortes 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 distribución y cantidad de las lluvias, la altura de corte y de la fertilidad del suelo donde se ha establecido el cultivo (CORPOICA, 2008).

4.3 METODOS DE SECADO DE FOLLAJE DE YUCA

4.3.1 Métodos Naturales

Un método que ha dado buenos resultados es el utilizado por campesinos de (Ciénaga de Oro Colombia) para secar los pedazos de raíces de yuca. (Comunicación Personal de Cruz Arroyo, citado por Gómez, 2007) que consiste en extender carpas de polietileno negro y depositar los pedazos; en el caso del forraje se pica y se deposita con una densidad de 8 kg/m^3 y en caso de lluvias simplemente se doblan los pliegues de la carpa y así se protege el material de la lluvia. Se recoge con un porcentaje de humedad alrededor del 12% obteniéndose cuando el forraje crepita como papa frita u Hoja seca (Gómez, 2007).

Otro método es la deshidratación del follaje de yuca por medio de la energía solar. Lográndose un secamiento perfecto con unas pocas horas de exposición. Este sistema no ofrece peligro sobre la disponibilidad de la lisina de otros nutrientes mayores; sin embargo, un proceso de deshidratación muy lento puede afectar el contenido de caroteno en el follaje. (Escobar M. I. B., 1979).

4.3.2 Métodos Artificiales

Durango et al (2003), realizó un análisis y caracterización de las variables que inciden en el proceso de secado artificial de raíces de yuca en un modelo de secador de flujo radial; que consiste en el diseño y construcción de un horno secador de yuca. Se pudo establecer que los factores que inciden en el proceso de secado artificial de yuca son: Tamaño y forma de la yuca, temperatura del aire en recirculación, contenido inicial de humedad de la yuca, flujo de aire en recirculación y humedad relativa del aire en recirculación.

No obstante, surge la necesidad de llevar acabo pruebas experimentales que conduzcan a establecer de que forma estas variables afectan el desempeño del equipo y que tipo de relación existe entre ellas, es decir, que repercusiones representan para el equipo y el proceso de secado ,variabilidad de algunas de ellas; de manera que se tenga la información necesaria para estimar el comportamiento del mismo bajo diferentes condiciones de carga, temperatura del aire, tamaño de los pedazos de yuca y flujo de aire en recirculación.

Un estudio del secado artificial de yuca en la Costa Atlántica, resalta que el secado artificial es de importancia en algunas regiones donde tienen problemas ambientales y se debe utilizar necesariamente un secado artificial. En estas el uso de secadores por tandas, con aire ambiental o aire caliente, o con una combinación de ambos, en circulación directa a través de una capa o lecho fijo, es una alternativa económicamente más favorable para América Latina, para el empleo de secadores artificiales continuos y de gran capacidad (Alonso et al, 1987).

4.4 CALIDAD NUTRICIONAL DEL FOLLAJE DE YUCA

Las hojas de yuca poseen contenidos de proteína, vitaminas y minerales que actualmente se conocen pero no se aprovechan en el desarrollo de tecnologías para la elaboración de productos para el consumo humano y animal. Puede pasar de ser un subproducto de la especie utilizada para la obtención de raíces de yuca, a ser un derivado de alto valor agregado, con alto valor nutricional y buen contenido proteína de 22.7%, cenizas 10.9%, grasa 6.8%, fibra 11% tomados con una humedad base 7.80% (y 3.9 mg hierro y 5.8 mg vitamina C por cada 100g proteína digerida (Velasco, 2004). Aunque la principal desventaja de las hojas de yuca es su contenido de ácido cianhídrico HCN, estos niveles pueden ser disminuidos con un proceso eficiente en la elaboración de harina de hojas de yuca. Para eliminar parcial o totalmente el contenido de ácido cianhídrico de la

yuca se pueden utilizar diferentes métodos de procesamiento, entre los cuales se encuentra la deshidratación artificial, la cocción en agua, o el secado solar (Brandão y Brondao, 1991).

La deshidratación natural por los rayos solares es un sistema seguro para destruir el ácido cianhídrico sin afectar la acción de la linamarasa, esta enzima actúa sobre los glucósidos cianogénicos presentes en la planta (Linamarina y Lotaustralina) y dan origen al ácido cianhídrico libre; El ácido cianhídrico es liberado naturalmente por la acción de la enzima con la linamarina, el contacto de la enzima ocurre cuando los tejidos de la planta sufren daños mecánicos por trituración o por destrucción de la estructura celular (Brandão y Brondao, 1991).

Según Necochea (2002), del 100% del total de la hoja, 77% es agua, 8.2% es proteína cruda, 11.3% son carbohidratos solubles, 1.2% es grasa y 2.2% es fibra cruda en base húmeda. Se le considera como uno de los vegetales verdes con mayor concentración proteica.

Van Poppel (2001) citado por (Buitrago 2001), señala que cuando los tallos tiernos, se mezclan con las hojas y pecíolos se constituye el follaje, el cual varía en su contenido nutricional con relación a las hojas solas (lamina foliar), y las hojas más pecíolos (Tabla 1.).

Tabla 1. Calidad Nutricional en la Parte Aérea de la Planta de Yuca

Nutriente %	Hojas	Hojas y pecíolos	Hojas, pecíolos y tallos tiernos
Proteína	22.70	21.60	20.20
Ceniza	10.90	9.80	8.50
Grasa	6.30	6.30	5.30
Fibra	11.00	11.60	15.20
Calcio	1.68	1.70	1.68
Fosforo	0.29	0.24	0.28
Potasio	0.69	0.60	1.09

Fuente: Van Poppel, (2001), citado por (Buitrago. 2001)

Estudios realizados por Wanapat et al (1997, citado por Preston et al, 2006), reporta contenidos de PC de 21.40 % en heno de yuca. Wanapat et al (1997, citado por Preston et al 2006), reporta 34 % de FDN y 27% de FDA en heno de yuca. Quiñones et al (2007), reporta contenidos de HCN total en follaje de yuca de 140.69 ppm

4.5 UTILIZACION DEL HENO DE FOLLAJE DE YUCA EN ALIMENTACION DEL GANADO

(Preston, *et al*., 1998.), señalan que los resultados del uso del follaje de la yuca en dietas de melaza-urea en bovinos fueron muy alentadores. La alta tasa de ganancia de peso al proporcionar el follaje de yuca como fuente única de proteína y fibra en la dieta indica que es muy probable que parte de la proteína del follaje de la yuca se escapa de la fermentación ruminal. El hecho de que la adición de harina de soya sí aumentó la ganancia cuando se usaba el follaje de la batata (Ipomoea batatas) pero que no tuvo efecto cuando la yuca era el follaje, implica que la hoja de yuca si funciona por lo menos parcialmente como fuente de proteína sobre pasante.

A pesar de los resultados tan alentadores en este ensayo, el uso del follaje de la yuca como forraje proteico para la producción animal no tuvo impacto. Probablemente, la razón fue la falta de entender en aquella época la importancia del alto nivel de extracción de nutrientes del suelo al cosechar repetidamente el follaje de yuca., ya que a partir del tercer corte el rendimiento descendió marcadamente. El uso en sistemas de corte de cultivos forrajeros de alta productividad y alto nivel nutricional, como son la morera y la yuca, exige la aplicación de altas cantidades de fertilizantes con el fin de reemplazar los nutrientes extraídos del suelo por estas plantas

En el caso de los rumiantes el proceso de digestión fermentativa en el rumen neutraliza el efecto del ácido cianhídrico y no se han reportado problemas aún suministrando el follaje en forma fresca (Wanapat, et al, 1997).

En Tailandia se esta promoviendo el uso del follaje de la yuca como suplemento para vacas lecheras (Wanapat et al, 1997). En tal caso se ha escogido la henificación como método para procesar el follaje. Los resultados han sido alentadores del punto de visto del consumo y la digestibilidad (Tabla 2.).

Tabla 2. Consumo voluntario y digestibilidad del heno de follaje de yuca como única componente de la dieta de novillos Holstein (el follaje incluye toda la biomasa al cortar la planta 15 cm sobre el nivel del suelo).

Componente	**% Base Seca**
Proteína	25
FDN	34
FDA	27
Digestibilidad y consumo	
Digestibilidad de la materia seca, %	71
Consumo, kg/100 kg peso vivo	3.2

Fuente: Wanapat *et al,* (1997).

El heno de follaje de yuca tiene buena aceptación por los animales pero inferior que el forraje oreado, hay varias formas de producirlo que puede ser secando al sol, tallo y las hojas de cultivos para forraje (Wanapat, 2001), reportan en heno de yuca altos niveles de proteína cruda (25%) y niveles bajos de FDN. El consumo voluntario del heno de yuca fue de 3.1% de peso vivo y la digestibilidad de la materia seca fue del 71%. La digestibilidad de la materia seca del heno en rumiantes fue relativamente alta, mientras que la digestibilidad de la proteína fue baja mostrando potencial para ser usada como proteína sobre pasante (Wanapat., 2000).

En un ensayo de sustitución de concentrado comercial por hojas de yuca en forma de heno en vacas en lactancia, reporta ligeros aumentos de la producción de leche, los contenidos de grasa, de proteína y de sólidos totales. Tabla 3.

Tabla 3. Efecto del Heno de Yuca sobre el Rendimiento y Composición de La leche en vacas Lactantes

Heno Yuca Kg/d	Leche, 3.5 % Grasa Kg./d	Grasa %	Proteína %	SNG
0 (8.8 kg Conc)	14.2[a]	4.1a	3.4a	8.74
0.88 (10% Conc)	15.7c	4.2a	3.34b	8.80
1.7 (20% Conc)	14.9b	4.6b	3.50c	8.81

Fuente: Wanapat (2000)

De hecho, se ha observado en Tailandia (comunicación persona de T. Siitiola l., citado por Wanapat et al, 1997) que el alimentar las vacas lecheras con Heno del follaje de yuca conlleva a una prolongación de la vida útil de la leche fresca, facilitando así la recolección de la leche en situaciones donde no se cuenta con equipos de refrigeración a nivel de finca.

5. METODOLOGIA

5.1 LOCALIZACIÓN Y DURACION

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro Experimental CEUNP; ubicado en el corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria, departamento del Valle del cauca; con coordenadas 3° 24’ latitud norte y 76° 26’ longitud oeste; altitud de 980 m.s.n.m, temperatura promedio de 24ºC, humedad relativa de 69% y precipitación media anual de 1406,3 mm, El período de duración del ensayo de campo y análisis de laboratorio fue de Diciembre de 2008 a Septiembre de2009.

5.1.1 Análisis de suelo

Los suelos en donde se establecieron las parcelas de multiplicación, se caracterizan por estar dominadas por texturas gruesas, bajo contenido de carbono orgánico y con el nivel freático relativamente mas profundo. A partir de 1.25m posee varios horizontes enterrados (algo común en paisajes aluviales) de consistencia firme y uno de ellos gleyzado (147 cm). (Madero et al, 1999).

Su clasificación taxonómica corresponde a un Ustipsamment típico arenoso isohiperiérmico. El suelo presenta algunas cualidades como la disponibilidad y balance de bases y fósforo o la adecuada reacción, pero su escaso contenido de plasma orgánico lo hace muy deficiente en nutrientes como nitrógeno, cobre y zinc, y además, es exigente en el suministro de agua.

El uso actual de estos suelos es agrícola, se encuentran cultivos de soya, tomate, zapallo, maíz, pimentón, ají, y otros. Entre las especies espontáneas predominantes se encuentran gramíneas, ciperáceas y algunas leguminosas, la meso fauna es poca y la entomofauna tiene relación con los cultivos comerciales (Madero et al, 1999).

Tabla 4. Análisis Químico Suelo de CEUNP.

CARACTERIZACION	S-2128
pH (relación 1:1)	7.0
Materia Orgánica (%)	2.86
Calcio Intercambiable(meq/100g)	37.5
Magnesio Intercambiable (meq/100g)	12.5
Potasio Intercambiable (meq/100g)	0.43
Sodio Intercambiable (meq/100g)	ND
Capacidad de Intercambio (meq/100g)	17.7
Aluminio Intercambiable (meq/100g)	NA
Fosforo Asimilable (ppm)	79
Textura al Tacto	-
CO3 Carbonatos Libres	-
ELEMENTOS MENORES	
Cobre (ppm)	7.5
Zinc (ppm)	1.16
Manganeso (ppm)	39.9
Hierro (ppm)	61.2
Boro (ppm)	0.10

Fuente: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira
Laboratorio de Suelos, Julio/2009

5.1.2 Siembra y Plan de Manejo del Cultivar de Yuca MPER-183

El Cultivar MPER 183. (Figura 1.) es un material de excelente producción y comportamiento en la zona del norte del Departamento del Cauca, en el valle del Cauca y en la región cafetera del Departamento del Quindío. De acuerdo al CIAT (2002) su producción en follaje es aproximadamente de 9.64 ton/ha).

Figura 1. Cultivar de Yuca MPER 183
Fuente: Hernández P., E.; 2009

Preparación del terreno: El terreno fue arado con un disco de rastra, y se incorporaron algunas malezas al paso del arado de rastra y se dejo el suelo en condiciones de sembrar por estacas (Semilla Vegetativa).

Obtención y Preparación de la Semilla: Se protegió la semilla con insecticida y fungicida como BASUDIN (300 cm^3), Orthocide (300 g) disueltos en 150 litros de agua. Las estacas fueron empacadas en sacos de fique, se sumergieron en la solución durante cinco minutos, se dejaron al sol y se sembraron (Figura 2.).

Figura 2. Semilla de Yuca MPER 183
Fuente: Hernández P., E.; 2009

Obtención de semilla: Una vez seleccionada la variedad de YUCA MPER-183, se cortaron estacas de 20cm de largo, para ello se utilizo como herramienta una segueta lo que facilito la homogeneidad en la longitud del material y fueron sembradas a una distancia entre surco de 80cm, y entre plantas de 30cm. Las estacas se sembraron de manera vertical y con un rebrote de cuatro a cinco yemas por semilla. Se sembraron seis (6) parcelas de 10m X 12m cada una; con un intervalo de catorce (14) días entre siembra durante dieciséis (16) semanas para el secado natural y dieciocho (18) semanas para el secado artificial, programándose para un total de seis cortes (Figura 3.).

Figura 3. Siembra de Yuca MPER 183
Fuente: Hernández P., E.; 2009

Aplicación de Herbicidas: Se aplicaron herbicidas pre emergentes Karmex (Diuron) para malezas de hoja ancha y Lazo (Alaclor) activo en gramíneas en dosis de 1.5 kg/ha y 2.5 L/ha. Respectivamente. Debido a la dificultad de controlar las malezas en las densidades de siembra del ensayo, a la imposibilidad de aplicar herbicidas sistémicos como Round up (Glifosato) se hizo control manual de malezas.

Fertilización: Previo análisis físico y químico del suelo, se hizo una fertilización para cada una de las parcelas, teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales

del cultivo, se efectúo la fertilización a los 45 días de haber sembrado el material vegetal de manera localizada a cada planta. Cabe destacar que se adopto un plan de fertilización para la producción de raíces tuberosas debido a que no hay un estándar de fertilización para la yuca forrajera, se determino estimular la producción de biomasa aérea aplicando cada treinta días un refuerzo con Nutrí foliar completo en dosis de 80cc/bomba/20L, en un área de 720 $m^{2.}$

Control de Plagas y Enfermedades: La principal plaga encontrada en las parcelas del cultivo de yuca fue el gusano cachón (*Erinnyis ello*) capaz de consumir grandes cantidades de hojas a lo largo de su ciclo de vida. Las altas poblaciones de este insecto, son perjudiciales para el mantenimiento y rendimiento de la yuca forrajera. Una de las grandes ventajas que ofrece el hecho de hacer los cortes del follaje periódicamente es, que los ciclos de reproducción de los insectos en muchos casos son interrumpidos por el daño mecánico a las posturas o por la misma eliminación de los individuos.

Para el control del gusano cachón (*Erinnyis ello*) durante el crecimiento de las parcelas, se realizo la aplicación del insecticida (Basudin) en dosis de 25 cm^3/bomba espaldera/20 litros, cada quince días hasta controlar el ataque del gusano cachón.

Durante el desarrollo del cultivo de yuca no se observo ningún daño en el ensayo, asociado a enfermedades.

Cosecha del Follaje: Cada parcela se cosecho en forma manual en su primer corte a las 16 semanas de edad, en forma escalonada cada 14 días. Para el secado natural y a las 18 semanas de edad para el secado artificial en forma

escalonada cada 14 días. Pos siembra. El material forrajero cosechado en cada corte, se llevo a la planta de procesos del programa. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA).

5.2 PROCESOS PARA EL SECADO DEL FOLLAJE DE YUCA

Las pruebas de poscosecha para evaluar los dos métodos de secado de follaje Uno natural (Bandeja) y otro artificial (Capa Fija).se realizaron en la planta de procesos del programa Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA) ubicada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), los análisis de composición nutricional en los laboratorios de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira y de Calidad de Forrajes del CIAT. Cada corte de follaje de yuca (Hojas-Tallos y Pecíolos) fueron acarreados a la planta de procesos de CLAYUCA, en donde se trasladó a la maquina picadora de follaje garantizando un tamaño aproximado de 2 cm, esto con el fin de reducir el tamaño de las hojas, tallos y pecíolos de follaje de yuca para facilitar su secado.

5.2.1 Método de Secado Natural en Bandejas

Figura 4. Secado Natural en Bandeja Follaje de Yuca.
Fuente: Hernández P., E.; 2009

El secado natural, es el método más utilizado para deshidratar hojas o yuca Consistió en cargar y esparcir el material vegetal sobre bandejas de madera de dimensiones de 1.65 m de largo x 0.85 m de ancho y x 0.75 m de profundidad y con fondo de superficie plana en malla fina para permitir el paso del aire y exponer el material al sol y aire, durante el tiempo requerido hasta alcanzar una textura de material seco. Con estas dimensiones la capacidad de carga del material a secar puede estar entre 10 a 15 kg/m^2 (Figura 4.).

5.2.2 Método de Secado Artificial

En determinadas regiones, las condiciones climáticas no permiten realizar el secado natural del follaje de yuca, existiendo para estos casos sistemas de secado artificial que pueden ser utilizados por los productores. Uno de estos sistemas es el secador de lecho fijo, de capacidad variable conforme al tamaño de la cámara de secado y a la potencia del motor (Figura 5a.).

Figura 5a. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca.
Fuente: Hernández P., E.; 2009

En este secado se usa un secador de compartimentos que funciona con dos ventiladores de aire que están localizados en los extremos del equipo, este hace contacto con la llama que produce el quemador a gas propano (Figura 5b.), y da

Figura 5b. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca.

Fuente: Hernández P., E.; 2009

inicio a la circulación de aire caliente que es conducido a la cámara de secado del equipo, el cual entra por debajo de la lamina de metal que mide aproximadamente de 10-100mm de espesor .El material vegetal se esparce uniformemente sobre la lamina de metal para lograr una homogeneidad del secado (Figura 5c.).

Figura 5c. Secado Artificial en Capa Fija Heno Follaje de Yuca.
Fuente: Hernández P., E.; 2009

5.3 ANALISIS DE LA COMPOSICION NUTRICIONAL

Preparación de Muestras para el Análisis en el Laboratorio: Una vez realizado el pesaje de las muestras frescas del follaje de yuca para la determinación de la

producción de biomasa del follaje de yuca en cada corte, se tomaron 6 submuestras representativas de 200 a 300 g de peso, se depositaron en bolsas de papel de peso conocido y adecuadamente marcadas y se llevaron al Laboratorio del CLAYUCA (CIAT, Palmira). Al momento de finalizar el secado natural y artificial del heno follaje de yuca, se tomaron dos muestras de cada uno de los métodos de secado al finalizar su proceso de secado, de aproximadamente 200 g, colectadas en bolsa plástica y debidamente etiquetada, donde se determino Acido Cianhídrico (HCN) Libre y Total en el laboratorio de calidad de forrajes del CIAT. Las otras muestras se llevaron al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional De Colombia sede Palmira, donde se realizaron las determinaciones de contenido de Materia Seca, Fibra Detergente Neutra y Acida, Hemicelulosa, Celulosa, Lignina, Proteína Cruda, Cenizas y Materia Orgánica.

Determinación de Materia Seca Analítica (MS): Cada una de las muestras fue pesada nuevamente y depositada en estufa a 60º C durante 48 horas, para determinar el contenido de Materia Seca (MS.), expresado en porcentaje de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Materia Seca (\%)} = 100 - \text{Humedad (\%)}$$

Determinación de Humedad (H): Para hallar el porcentaje de humedad se resta del 100 % el porcentaje total de Materia Seca obtenida en cada muestra, según la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{Humedo}} - \text{Peso}_{\text{Seco}}}{\text{Peso}_{\text{Humedo}}} \times 100$$

Caracterización de la Composición Nutricional: Se determinó el contenido en porcentaje de las siguientes fracciones:

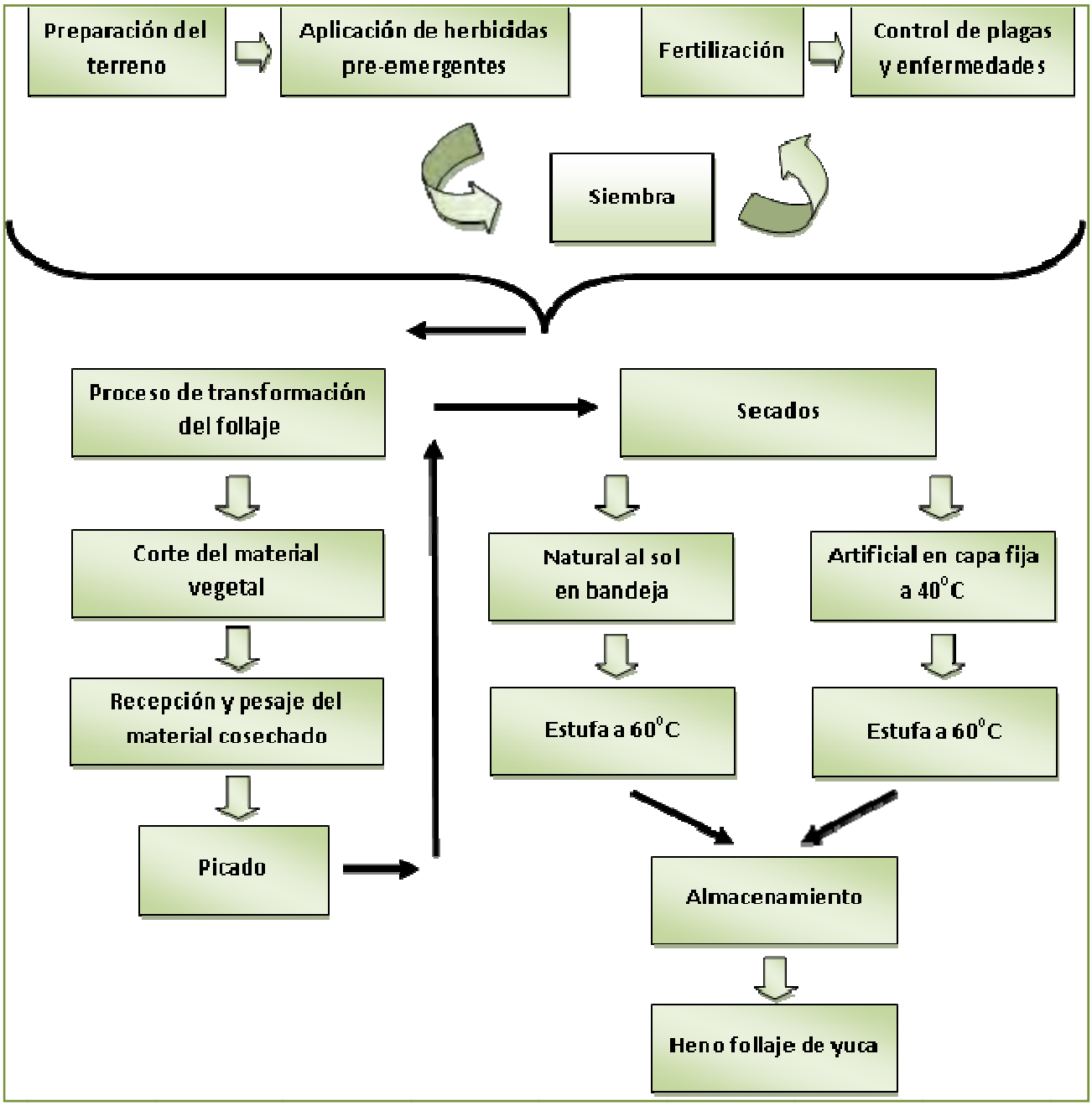

Figura 6. Proceso para la obtención de heno de yuca: Evaluación de los aspectos técnicos de la obtención de heno follaje de yuca.

Proteína cruda (PC): Por el método de Microkjeldahl (1883).

Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Acida (FDA): Se realizaron las pruebas de laboratorio por el método de VAN SOEST, modificado con la metodología de ANKOM 200/220.

Hemicelulosa: Se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Hemicelulosa (\%)} = \text{FDN} - \text{FDA}$$

Celulosa: Se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Celulosa (\%)} = \text{FDA} - \text{Lignina}$$

Lignina: Se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Lignina (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{muestra}} - \text{Peso}_{\text{bolsa}}}{\text{Peso}_{\text{muestra}}} \times \text{Materia Seca (\%)} \times 100$$

Materia Orgánica: Se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Materia Orgánica (\%)} = \text{Materia Seca (\%)} - \text{Cenizas Totales (\%)}$$

Acido Cianhídrico (HCN) Libre y Total: Por el Método de ESSERS (1999).

5.4 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES

5.4.1 Secado Natural

En el secado natural se evaluaron dos Cargas de Forraje (7.5 Kg/m^2 y 15.0 Kg/m^2), tres Frecuencias de Corte (cada 16 semana de edad). Se determinaron curvas de humedad, realizando mediciones a las 0, 6, 24, 30 y 48 horas.

En cada una de las mediciones se tomaron muestras, las cuales se llevaron a la estufa a 60 °C, durante 48 horas para medir el contenido de materia seca y humedad.

5.4.2 Secado Artificial

En el secado artificial con una temperatura de proceso de 40 °C se evaluaron dos Cargas de Forraje (7.5 Kg. /m^2 y 15.0 Kg/m^2), tres Frecuencias de Corte. Se determinaron curvas de humedad, realizando mediciones a las 0, 2, 4, 6 y 8 horas.

En cada una de las mediciones se tomaron muestras, las cuales se llevaron a la estufa a 60 °C, durante 48 horas para medir el contenido de materia seca y humedad.

5.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

6.5.1 Análisis de Contenidos de Humedad

Para el estudio de humedad bajo condiciones de Secado Natural y Artificial se utilizo un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones y un Arreglo en Parcela sub-divididas. El Modelo Lineal General utilizado fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ijkl}: Contenido de Humedad (%)

C_i: Carga (kg/m^2)

T_j: Tiempo de Secado (horas)

Co_k: Frecuencia de Corte (días)

5.5.2 Análisis de Composición Nutricional

Se utilizo un Diseño de Bloques Completamente al Azar con un arreglo en Parcelas Divididas. El criterio de bloqueo utilizado fue la Carga. El Modelo Lineal General se define de acuerdo ha:

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

Donde:

Y_{ijkl}: Variable de Respuesta relacionada con la Calidad Nutricional del Heno Follaje de Yuca

C_i: Carga (Kg. /m^2)

S_j: Método de Secado

Co_k: Frecuencia de Corte (días)

5.5.3 Análisis de Acido Cianhídrico

Se utilizo un diseño Completamente al Azar con tres repeticiones y un Arreglo en Parcelas Subdivididas. El Modelo Lineal General utilizado fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ijkl}: Contenido de Acido Cianhídrico (%)

S_i: Método de Secado

C_j: Carga (kg/m^2)

Co_k: Frecuencia de Corte (días)

5.6 FORMA DE ANALISIS ESTADISTICO Y ECONÓMICO

Para cada una de las variables de respuesta se realizo Análisis de Varianza y Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey. Para definir el tipo de relación funcional entre Contenido de Humedad y Tiempo de Secado en los dos escenarios, se utilizaron Técnicas de Regresión. Para el procesamiento de datos se utilizo el Programa SAS en su Versión 9.13.

Se realizo análisis económico con el fin de establecer los costos de producción de Heno de Follaje de Yuca, obtenido a partir de los dos métodos de secado.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE SECADO

Los resultados que se derivan del análisis de las Curvas de Secado Natural (Figuras 7. y 8.), donde independiente de la carga y de la frecuencia de corte, al cabo de 48 horas de proceso, la humedad de la materia prima no descendió por debajo del 50%. Lo anterior coincide con lo expuesto por Alonso (1987), en el sentido de que a pesar de las significativas mejoras de carácter técnico implementadas en los procesos de secado natural, no han sido suficientes en algunas regiones del trópico, las cuales se caracterizan por importantes fluctuaciones de temperatura ambiente y humedad relativa, durante las 24 horas del día, por lo que se restringe su uso.

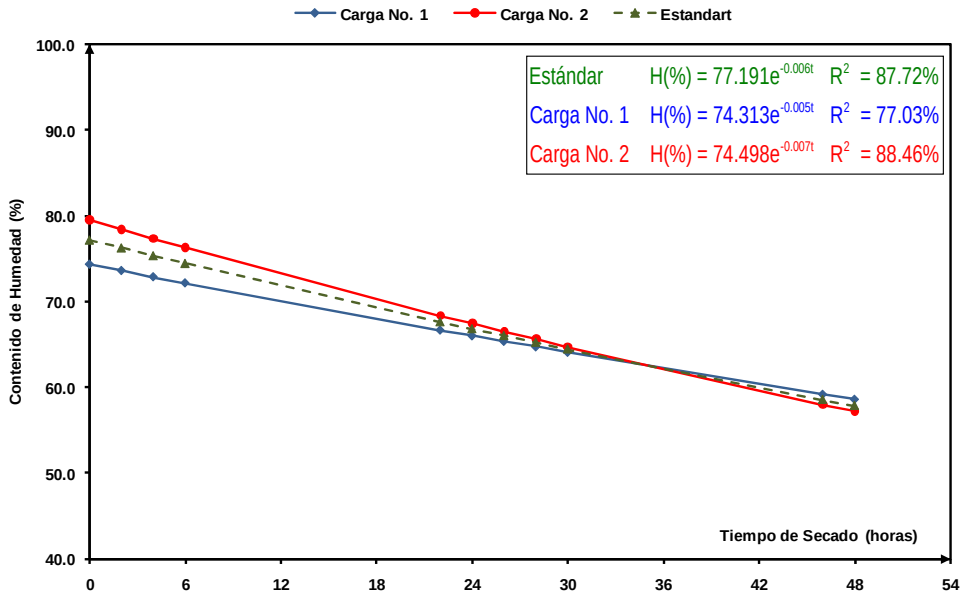

Figura 7. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Naturales, de Acuerdo a la Carga.

Una mayor humedad relativa durante las horas de la noche en contraste con lo que sucede en el día, conlleva a que el material sometido al proceso de secado se rehidrate, lo que finalmente se refleja en los contenidos de humedad una vez finalizado el proceso.

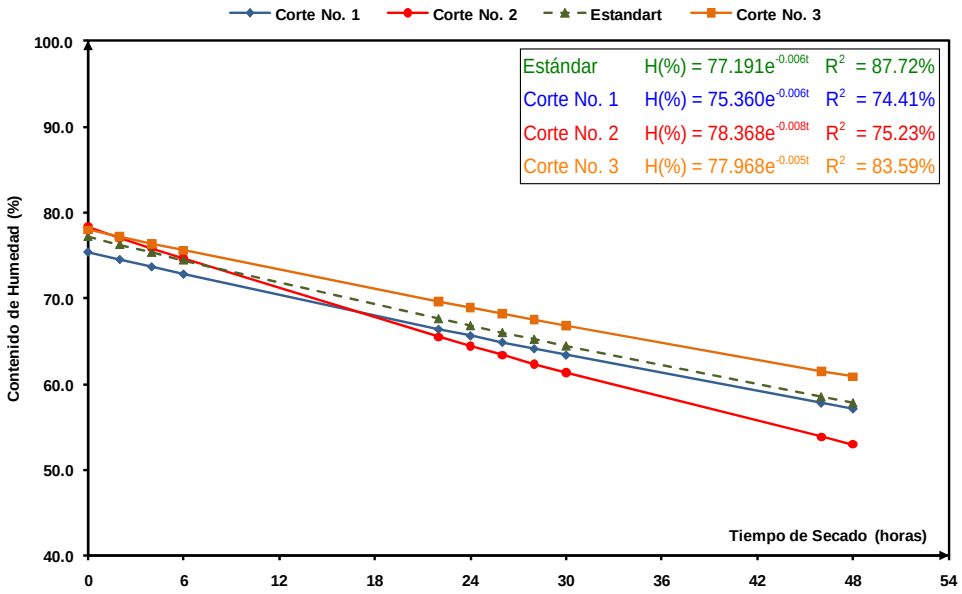

Figura 8. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Naturales, de Acuerdo a la Frecuencia de Corte.

Del análisis del las Curvas de Secado Bajo Condiciones Artificiales (Figura 9.), se observa que transcurridas 8 horas de secado, el contenido de humedad de la materia prima descendió por debajo del 30% en el caso de la Carga 2 (15.0 kg/m^2), mientras que bajo condiciones de la Carga 1 (7.5 kg/m^2) la humedad alcanzo valores inferiores al 20%. Aunque la implementación de Métodos de Secado Bajo Condiciones Controladas y su operación es significativamente costosa, resultan ser los adecuados en las condiciones del trópico.

Puesto que el proceso de secado para ambas cargas se realizó bajo las mismas condiciones de operación, se infiere que en caso de la Carga 2, es necesario incrementar la temperatura y el flujo de aire, para que el material alcance contenidos de humedad como los observados en la Carga 1.

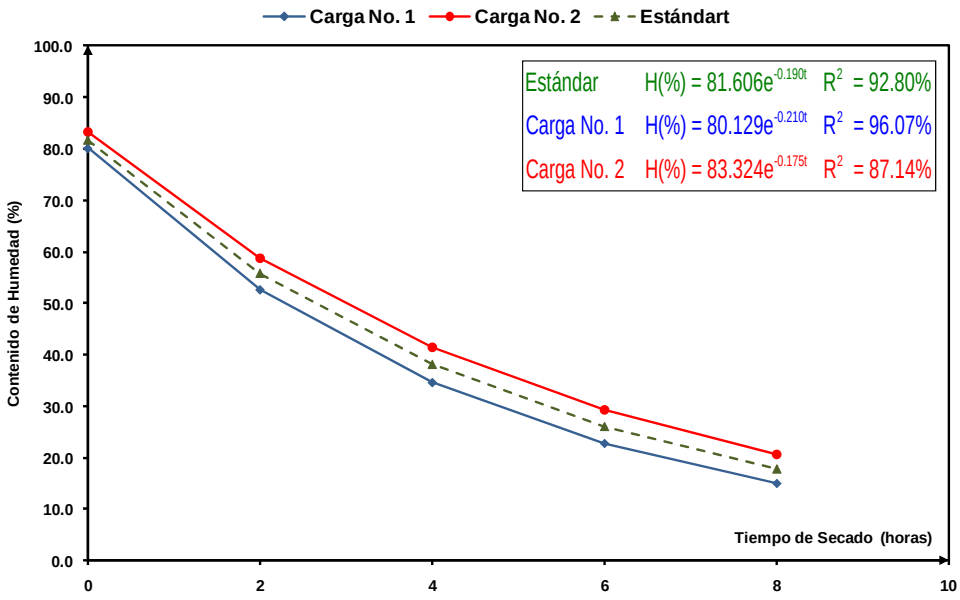

Figura 9. Curva de Secado Bajos Condiciones Ambientales Controladas, de Acuerdo a la Carga.

En relación a la Frecuencia de Corte (Figura 10), los materiales procedentes de los dos primeros cortes alcanzaron al cabo de 8 horas de secado contenidos de humedad que fluctuaron entre el 20 y 30%. En el caso de la materia prima procedente del tercer corte, la cual se sometió a las mismas condiciones de secado que las anteriores, alcanzo una humedad final muy próxima al 10%.

En términos biológicos, la materia prima (Follaje de Yuca) que se deriva del Corte 1 y 2, se caracteriza por tener tejidos relativamente jóvenes con altos contenidos de humedad. Por el contario, el material procedente del Corte 3 podría estar más lignificado y con menos contenido de agua, lo que implica en términos energéticos un menor esfuerzo para remover la humedad.

De acuerdo a lo anterior e independiente de la carga, la calidad nutritiva del heno resultante del proceso de secado artificial podría estar definida por una época adecuada de corte, la cual estaría asociada a condiciones agroclimáticas muy convenientes.

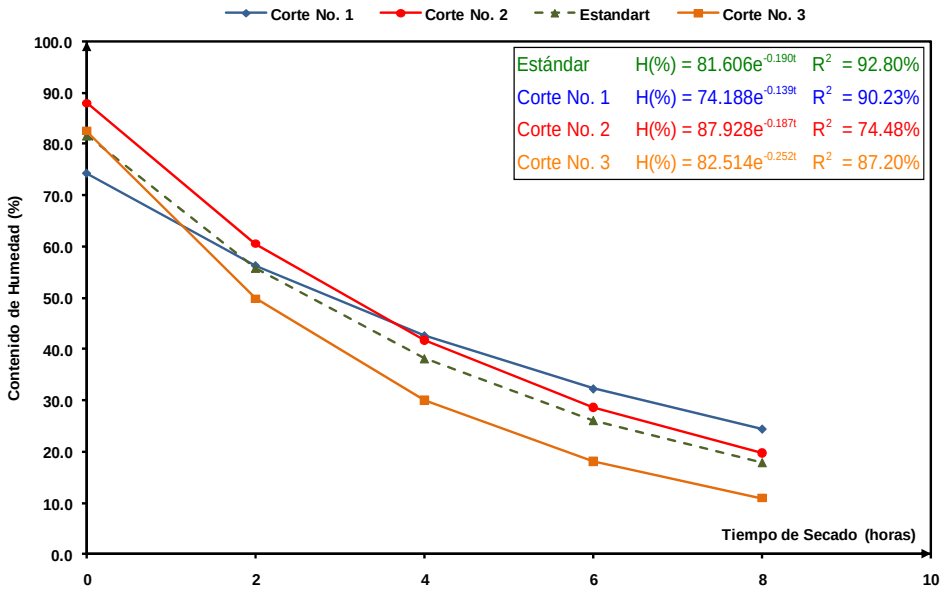

Figura 10. Curva de Secado Bajo Condiciones Ambientales Controladas, de Acuerdo a la Frecuencia de Corte.

Los resultados del análisis de las Curvas de Secado, también se sustentan en los resultados consignados en el Análisis de Varianza (Tabla 5.). Conforme a lo anterior tanto la Carga como la Frecuencia de Corte y el Tiempo del Secado condicionan el Modelo Estadístico que explica el proceso de remoción de humedad dentro de cada escenario.

De acuerdo al ANDEVA, la Carga ($Pr < 0.05$) y Frecuencia de Corte ($Pr < 0.01$) influye significativamente sólo para el Método de Secado Artificial, mientras que el Tiempo de Secado afecta significativamente la variable de respuesta dentro de cada uno de los escenarios ($Pr < 0.01$).

Conforme a los mismos resultados, el análisis de las interacciones muestra que Carga x Tiempo influye significativamente sobre el Contenido de Humedad dentro del Ambiente de Secado Artificial ($Pr < 0.05$), mientras que Corte x Carga afecta de forma significativa la expresión de la misma variable sólo para el método de Secado Natural ($Pr < 0.01$); dentro

de la misma variable, Corte x Tiempo influye significativamente tanto para el Método de Secado Natural (Pr< 0.01) como el Método de Secado Artificial (Pr< 0.01).

Tabla 5. Análisis de Varianza Para la Variable de Respuesta Contenido de Humedad (%), Comparativo para los dos Métodos de Secado.

Fuente de Variación	Gli	Secado Natural		Secado Artificial	
		CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c
Carga	**1**	194.3	0.0830	641.1	0.0228
Tiempo	**4**	935.5	<.0001	12596.4	<.0001
Carga x Tiempo	**4**	43.9	0.1603	240.4	0.0197
Corte	**2**	43.1	0.1095	742.6	0.0001
Corte x Carga	**2**	141.3	0.0019	115.3	0.1866
Corte x Tiempo	**8**	55.5	0.0120	614.8	<.0001
Carga x Tiempo x Corte	**8**	81.6	0.0011	54.5	0.5834
Promedio		**68.4**		**43.6**	
CV(%)		**6.21**		**18.62**	

La Frecuencia de Corte como factor propio del manejo del cultivo, influyo sobre el Contenido de Humedad, solo en el Método de Secado Artificial. En cuanto a la Carga y el Tiempo de Secado como factores asociados al proceso de deshidratación del follaje de yuca, el primero no influyo sobre el valor de la variable en estudio, mientras que el segundo marca diferencias altamente significativas tanto para el Método de Secado Artificial como Natural.

6.2 ANALISIS DE COMPOSICION NUTRICIONAL

Ramírez y Jiménez (2007) citando a Gil-Buitrago (2002) y Buitrago (2001) mencionan que en cuanto a calidad y cantidad, la composición nutricional de un follaje es función de la variedad, edad y manejo de la planta, y factores agroclimáticos. Con los resultados consignados en el Análisis de Varianza (Tabla 6.), se establecen posibles relaciones entre la Frecuencia de Corte,

Método de Secado y la Carga, con variables asociadas tanto a calidad como cantidad de los componentes nutricionales del Heno de follaje de Yuca.

Conforme al ANDEVA, la Carga no influye significativamente (Pr> 0.05) sobre los contenidos expresados en porcentaje de Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutra (FDN), Fibra Detergente Acida (FDA), Hemicelulosa, Celulosa y Lignina (L). Siendo la Carga un factor de estudio asociado con el manejo del follaje dentro de los ambientes que definen su perdida de humedad, la cantidad de estos contenidos nutricionales está relacionada con la expresión genotípica de la planta y los factores medioambientales para su desarrollo fisiológico en condiciones de campo. Los anteriores resultados concuerdan con lo observado en la Tabla de Promedios de Tukey (Tabla 7.), donde para cada variable de respuesta no se establecen diferencias significativas entre la Cargas.

De acuerdo al mismo Análisis de Varianza, entre los Métodos de Secado y ha excepción de Materia Seca y Orgánica, no se observan diferencias significativas para las variables Proteína Cruda(PC), Fibra Detergente Neutra (FDN), Fibra Detergente Acida (FDA), Hemicelulosa, Celulosa y Lignina. En la Tabla de Promedios de Tukey (Tabla 8.) se consignan las medias asociadas a los dos Método de Secado, estableciéndose que ninguno de ellos parece afectar las condiciones naturales del producto, aunque en términos estadísticos el promedio de Materia Seca relacionado a Secado Artificial (52.4%) difiere del promedio coligado a Secado Natural (20.8%); lo mismo se observa con Materia Orgánica, donde el promedio asociado a Secado Natural (90.5%) difiere del promedio concerniente a Secado Artificial (89.3%).

En relación a la Frecuencia de Corte, el ANDEVA no establece diferencias significativas (Pr> 0.05) para las variables de respuesta Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutra (FDN), Fibra Detergente Acida (FDA), Hemicelulosa, Celulosa y Lignina.

Es de anotar que aunque no se observan diferencias significativas para la variable de respuesta Materia Seca (MS), la MS fue de 34.3% para el Primer Corte, de 36.7% para el Segundo Corte y de 38.7% para el Tercer Corte (Tabla 9.). Estos resultados de alguna forma concuerdan con lo obtenido por Ramírez y Jiménez (2007), quienes estudiando Frecuencias de Corte encontraron diferencias significativas entre contenidos de Materia Seca en el Follaje de Yuca Variedad HMC-1.

Es de anotar que los contenidos promedio de Proteína Cruda fluctuaron entre 13.8 y 13.6% cuando se relacionaron con la Carga; cuando se refirieron al Método de Secado, variaron entre 15.3% en el Secado Natural y 12.2% en el Secado Artificial (Tabla 8.); mientras que relacionados con la Frecuencia de Corte, estos valores fluctuaron entre 13.2 y 14.2% (Tabla 9.).

Los anteriores valores resultan ser muy inferiores al promedio de 21.4% reportado por Wanapat (1997, citado por Preston, 2006). Ramírez y Jiménez (2007) asocian los contenidos de Proteína Cruda con la Densidad de Siembra y Frecuencia de Corte, reportando promedios que oscilaron entre 27.8 y 22.4, los cuales superan significativamente los valores obtenidos en el presente ensayo. Aunque los contenidos de Proteína Cruda del Heno de Follaje de Yuca señalados en el presente trabajo son bajos cuando se toma como referencia el reporte de los autores antes citados, podrían asociarse a la heterogeneidad de los componentes del follaje de yuca utilizado en los procesos de secado, el cual estuvo compuesto en porcentajes indeterminados por hojas o laminas foliares, pecíolos y tallos verdes. En este sentido los contenidos proteicos son mayores en hojas y menores en tallos tiernos (Van Poppel, 2001 citado por Buitrago, 2001).

Aunque para Fibra Detergente Neutra (FDN) no se presentaron diferencias significativas entre las modalidades asociadas a los factores en estudio, los promedios de esta variable (56.0%) supera a los valores reportados por Gil (2002), Wanapat (1997) citado por Preston

(2006) y Ramírez y Jiménez (2007), los cuales fueron de 42.7, 34.0 y 36.2% respectivamente. Así mismo, González (1999) reporto contenidos de 41.5%, mientras Wanapat (2000) reporto un valor de 44.3%. Por otra parte, Quiñones (2007) reporta contenidos de FDN de 32.4%.

Según el contenido de FDN y de acuerdo a la categorización de la calidad nutricional de una materia prima expuesta por Calsamiglia (1997), los contenidos promedios de Fibra Detergente Neutra del heno Follaje de Yuca encontrados en el presente trabajo (Mayores a 56%) se ubica en una clasificación de "Tercera Categoría". Lo anterior no concuerda con lo reportado por los anteriores autores, en los que de modo general los valores de FDN fueron menores de 41%, que corresponden a una clasificación de "Excelente."

Para Fibra Detergente Acida (FDA) eh heno de follaje de yuca, los valores de 35.0, 27.0 y 30.6% reportados en su orden por Gil (2002), Wanapat (1997) citado por Preston (2006) y Ramírez y Jiménez (2007) son superados por el promedio general de 39.2% obtenido en el presente ensayo. De acuerdo a la categorización de Calsamiglia (1997) el producto obtenido en el presente ensayo corresponde a una clasificación de "Segunda Categoría", lo cual no concuerda con lo expresado por los autores antes citados, donde los valores de FDA (menores de 35.0%) corresponden a una clasificación de "Primera y Excelente."

En lo concerniente a la Interacción Método de Secado x Corte, esta solamente influye significativamente ($Pr < 0.05$) sobre el Contenido de Materia Seca (MS) y la Fibra Detergente Acida (FDA). Sin embargo estas diferencias en un Método de Secado al cambiar de modalidad dentro de la Frecuencia de Corte, no tendrían porque presentarse, pues el proceso de conservación cuyo propósito es remover humedad de los tejidos del material, no debe afectar sus características bromatológicas, las cuales están definidas tanto por su genética como por su manejo agronómico.

Tabla 6. Análisis de Varianza para las Variables de Respuesta Relacionadas con la Calidad Nutricional del Forraje.

Fuente de Variación	Gli	Materia Seca Total		Materia Orgánica		Proteína		Fibra Detergente Neutra	
		CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c
Carga	**1**	23.861	0.203	1.333	0.064	0.163	0.884	5.333	0.657
Secado	**1**	3010.962	0.019	4.563	0.034	28.213	0.249	0.120	0.943
Corte	**2**	19.393	0.083	1.666	0.410	1.051	0.700	0.408	0.669
Secado x Corte	**2**	296.513	0.001	0.601	0.692	0.076	0.972	3.248	0.130
Promedio		**36.6**		**89.9**		**13.7**		**56.0**	
CV(%)		**5.42**		**1.35**		**11.95**		**1.71**	

Fuente de Variación	Gli	Fibra Detergente Acida		Hemicelulosa		Celulosa		Lignina	
		CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c
Carga	**1**	4.083	0.451	0.021	0.957	0.083	0.961	2.901	0.663
Secado	**1**	4.320	0.442	3.101	0.557	8.003	0.654	0.521	0.846
Corte	**2**	1.411	0.142	1.963	0.232	0.366	0.969	2.553	0.770
Secado x Corte	**2**	7.173	0.011	1.343	0.332	11.516	0.443	1.961	0.816
Promedio		**39.2**		**16.8**		**15.1**		**24.1**	
CV(%)		**1.67**		**5.69**		**22.40**		**12.56**	

Tabla 7. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con la Carga.

Materia Seca			Materia Orgánica			Proteína			Fibra Detergente Neutra		
Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey
7.5	38.0	a	**7.5**	90.3	a	**15.0**	13.8	a	**15.0**	56.6	a
		a			a			a			a
15.0	35.2	a	**15.0**	89.6	a	**7.5**	13.6	a	**7.5**	55.3	a

Fibra Detergente Acida			Hemicelulosa			Celulosa			Lignina		
Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey	Carga (kg/m^2)	Promedio	Grupo de Tukey
15.0	39.8	a	**15.0**	16.9	a	**15.0**	15.2	a	**15.0**	24.6	a
		a			a			a			a
7.5	38.6	a	**7.5**	16.8	a	**7.5**	15.0	a	**7.5**	23.6	a

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadisticamente

Tabla 8. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con Métodos de Secado.

Materia Seca Total			Materia Orgánica			Proteína			Fibra Detergente Neutra		
Método de Secado	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**
Artificial	52.4	a	**Artificial**	90.5	a	**Natural**	15.3	a	**Artificial**	56.1	a
								a			a
Natural	20.8	b	**Natural**	89.3	b	**Artificial**	12.2	a	**Natural**	55.9	a

Fibra Detergente Acida			Hemicelulosa			Celulosa			Lignina		
Método de Secado	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Método de Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**
Artificial	39.8	a	**Natural**	17.3	a	**Artificial**	15.9	a	**Natural**	24.3	a
		a			a			a			a
Natural	38.6	a	**Artificial**	16.3	a	**Natural**	14.3	a	**Artificial**	23.9	a

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadisticamente

Tabla 9. Comparaciones de Tukey entre Promedios Relacionados con la Frecuencia de Corte.

Materia Seca Total			Materia Orgánica			Proteína			Fibra Detergente Neutra		
Frecuencia	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**
Corte 3	38.7	a	**Corte 1**	90.4	a	**Corte 1**	14.2	a	**Corte 3**	56.2	a
					a			a			a
Corte 2	36.7	a	**Corte 2**	90.2	a	**Corte 3**	13.7	a	**Corte 1**	56.0	a
					a			a			a
Corte 1	34.3	a	**Corte 3**	89.2	a	**Corte 2**	13.2	a	**Corte 2**	55.6	a

Fibra Detergente Acida			Hemicelulosa			Celulosa			Lignina		
Frecuencia	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**
Corte 3	39.6	a	**Corte 1**	17.5	a	**Corte 1**	15.4	a	**Corte 2**	24.7	a
		a			a			a			a
Corte 2	39.5	a	**Corte 3**	16.8	a	**Corte 3**	15.2	a	**Corte 3**	24.4	a
		a			a			a			a
Corte 1	38.5	a	**Corte 2**	16.1	a	**Corte 2**	14.8	a	**Corte 1**	23.2	a

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadisticamente

6.3 ANALISIS DE CONTENIDOS DE ACIDO CIANHIDRICO

Condiciones como la variedad, el ambiente, el triturado y corte de la planta o partes que contiene glucósidos, determinan la síntesis de Acido Cianhídrico por parte de la yuca. Por otra parte, la concentración de Glucósidos y Linamarasas varía de acuerdo a la parte del follaje en cuestión y a la edad de los tejidos (De Bruijn, 1973).

De acuerdo a los resultados del Análisis de Varianza (Tabla 10.) se observa efecto del Método de Secado (Pr< 0.01) sobre el contenido de Acido Cianhídrico Total y Liberado. Estos resultados se ajustan a lo observado en la Tabla 11, donde el Secado Artificial con promedios de 58.5% de HCN Total y 43.0% de HCN Liberado supera significativamente a Secado Natural cuyos promedios son de 15.7% para HCN Total y 8.4% para HCN Liberado.

Tabla 10. Análisis de Varianza Comparativo para dos Métodos de Secado para la Variable de Respuesta Contenido de Acido Cianhídrico (%).

Fuente de Variación	Gli	HCN Total		HCN Liberado	
		CM	Pr > F_c	CM	Pr > F_c
Secado	**1**	110.751	<.0001	108.745	<.0001
Carga	**1**	24.279	<.0001	15.281	<.0001
Secado x Carga	**1**	0.112	0.691	0.047	0.754
Corte	**2**	21.829	<.0001	23.034	<.0001
Secado x Corte	**2**	78.775	<.0001	52.271	<.0001
Carga x Corte	**2**	11.340	<.0001	4.482	0.001
Secado x Carga x Corte	**2**	0.125	0.836	0.310	0.524
Promedio		**33.7**		**22.3**	
CV(%)		**14.3**		**14.5**	

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 Acido 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.

Tabla 11. Prueba de Tukey Comparativo entre dos Métodos de Secado para la Variable de Respuesta Contenido de Acido Cianhídrico (%).

HCN Total			HCN Liberado		
Secado	**Promedio**	**Grupo de Tukey**	**Secado**	**Promedio**	**Grupo de Tukey**
Artificial	58.5	a	**Artificial**	43.0	a
Natural	15.7	b	**Natural**	8.4	b
Carga (kg/m^2)		**Grupo de Tukey**	**Carga (kg/m^2)**		**Grupo de Tukey**
7.5	48.6	a	**7.5**	31.9	a
15.0	27.3	b	**15.0**	18.2	b
Frecuencia		**Grupo de Tukey**	**Frecuencia**		**Grupo de Tukey**
Corte 2	45.2	a	**Corte 3**	32.0	a
		a			a
Corte 3	37.4	a	**Corte 2**	27.2	a
Corte 1	21.0	b	**Corte 1**	10.9	b

Nota: Dentro de una misma columna, promedios con igual letra no difieren estadisticamente

Resultados del mismo análisis establecen entre Cargas, diferencias altamente significativas (Pr< 0.01), donde los contenidos de HCN Total y Liberado (48.6 y 31.9% respectivamente) asociado a la Carga de 7.5 kg/m^2, difieren de los valores promedios de Acido Cianhídrico Total y Liberado (27.3 y 18.2% respectivamente) relacionados con la Carga de 15.0 kg/m^2. Una mayor Carga podría generar mayor calor interno lo que podría influir en la desnaturalización de la Limarasa.

Tanto el ANDEVA como la Prueba Múltiple de Promedios de Tukey, establecen que el contenido de HCN Total y Liberado podría estar de alguna forma condicionado por la Frecuencia de Corte. Los menores promedios de HCN Total y Liberado se observan durante el Primer Corte (21.0 y 10.9% respectivamente), mientras que los valores mas altos se observan en el Corte 2 en el caso de Acido Cianhídrico Total (45.2%) y en Corte 3 para Acido Cianhídrico Liberado (32.0%).

Lo anterior no concuerda con lo expresado por Bruijn (1977), quien afirma que dependiendo de la edad del tejido, la cantidad de Acido Cianhídrico (mg/ 100 g de peso fresco) puede variar de 380 a 490 en el caso de las hojas, mientras que para pecíolos la cantidad del mismo compuesto podría fluctuar de 150 a 720; para el caso de los tallos y dependiendo de su distancia respecto a las hojas, los contenidos de HCN podrían variar de 630 a 780.

De acuerdo a los resultados estadísticos, tanto la interacción Método de Secado x Carga como Método de Secado x Carga x Frecuencia de Corte no influyen significativamente sobre el contenido de Acido Cianhídrico Total y Liberado. No obstante la interacción Método de Secado x Frecuencia de Corte y Carga x Frecuencia de Corte si influyen significativamente ($Pr < 0.01$) sobre las mismas variables de respuesta.

6.4 ANALISIS ECONOMICO

Para la determinación de los costos unitarios de producción, se realizo la determinación de los costos para la producción de yuca forrajera por hectárea, incluidos los costos de adquisición y depreciación de los equipos requeridos para poder obtener heno de follaje de yuca.

De acuerdo Cadavid y Gil (2007, Anexo I), el establecimiento de una hectárea de Yuca Forrajera MPER-183 cosechada manualmente tendría un costo de $ 4.147.875/ha. De acuerdo al mismo autor (Anexo II), la siembra y cosecha del material se hace de forma mecanizada el costo seria de $ 4.372.875/ha. El incremento de $ 225.000/ha se explica por las horas-maquina utilizadas durante el establecimiento.

6.4.1 SECADO NATURAL

De acuerdo a la estructura de costos como lo reporta CLAYUCA (2009) (Tabla 12), el costo de producción de forraje de yuca obtenido por Secado Natural, se estimó en 4.720.974 pesos/ha. Para una producción estimada de follaje verde de 110000 Kg, (CIAT, 2002), el costo unitario por kg de forraje verde seria de 42.9 pesos. Para el secado natural, se estima un 31.6% de Materia Seca (Tabla 5) y una producción de 110000 kg, la Producción de Forraje Seco (FS) producido seria de:

$$110000 \text{ kg FV} \times 0.316 = 34760 \text{ kg FS}$$

De acuerdo a lo anterior, el Costo unitario por kilogramo de Forraje Seco se estima en:

$$\frac{4720974 \text{ Pesos/ha}}{34760 \text{ kg FS}} = 135.8 \frac{\text{Pesos}}{\text{kg FS}}$$

Tabla 12. Costos de Producción de Forraje de Yuca (ha/corte) - Secado Natural.

	Item	Costos	
		Hectárea	ha/Corte
	COSTOS DIRECTO		
1	PREPARACION DE TERRENO	466875	155625
2	SEMILLA- SIEMBRA	1305000	435000
3	CONTROL DE MALEZAS	308000	102667
4	FERTILIZACION	639000	213000
5	CONTROL PLAGA Y ENFERMEDADES	232000	77333
6	COSECHA	900000	300000
7	ASISTENCIA TECNICA	27000	9000
8	TRANSPORTE DE FOLLAJE	270000	90000
9	PICADO DEL FOLLAJE(GASOLINA)	186099	62033
10	PICADO Y SECADO (M.O) EN PATIO	135000	45000
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**$ 4468974.**	**$ 1489658.**
	COSTOS INDIRECTOS		
11	INVERSION INICIAL EQUIPOS. PICADORA ($1.800.000)		
12	DEPRECIACION (10 AÑOS) SALVAMENTO (10%)	180000	60000
13	MANTENIMIENTO (4%)	72000	24000
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS	**$ 252000.**	**$ 84000.**
	TOTAL COSTOS DE PRODUCCION	**$ 4720974.**	**$ 1573658.**

Fuente: CLAYUCA, 2009.

6.4.2 SECADO ARTIFICIAL

De acuerdo a la estructura de costos como lo reporta CLAYUCA (2009, Tabla 13), el costo de producción de forraje de yuca obtenido por Secado Artificial, se estimó en 13.683.541 pesos/ha. Para una producción estimada de follaje verde de 110000 kg (CIAT, 2002), el costo unitario por kg de Forraje Verde seria de 124.4 pesos. Para el Secado Artificial, se estima un 56.4% de Materia Seca (Tabla 5) y una producción de 110000 kg, la producción de Forraje Seco (FS) producido seria de:

$$110000 \text{ kg FV} \times 0.564 = 62040 \text{ kg FS}$$

De acuerdo a lo anterior, el Costo unitario por kilogramo de Forraje seco se estima en:

$$\frac{13683541 \text{ Pesos/ha}}{62040 \text{ kg FS}} = 220.6 \frac{\text{Pesos}}{\text{kg FS}}$$

Tabla 13. Costos de Producción de Yuca Forrajera (ha/corte) - Secado Artificial.

	Item	Costos	
		Hectárea	**ha/Corte**
	COSTOS DIRECTO		
1	PREPARACION DE TERRENO	691875	230625
2	SEMILLA- SIEMBRA	1305000	435000
3	CONTROL DE MALEZAS	308000	102667
4	FERTILIZACION	639000	213000
5	CONTROL PLAGA Y ENFERMEDADES	232000	77333
6	ASISTENCIA TECNICA	27000	9000
7	COSECHA	900000	300000
8	TRANSPORTE DE FOLLEJE	270000	90000
9	PICADO DEL FOLLAJE(GASOLINA)	186099	62033
10	PICADO- SECADO EN HORNO (M.O)	135000	45000
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**$ 4693974.0**	**$ 1564658.0**
	COSTOS INDIRECTOS		
11	INVERSION INICIAL EQUIPOS (Horno Artificial) $35.000.000		
12	DEPRECIACION (10 AÑOS) SALVAMENTO (10%)	3500000	1166667
13	MANTENIMIENTO 4%	1400000	466667
14	MANO DE OBRA	135000	45000
15	COMBUSTIBLE (GAS PROPANO)	3954567	1318189
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS	**$ 8989567.**	**$ 2996522.3**
	TOTAL COSTOS DE PRODUCCION	**$ 13683541.0**	**$ 4561180.3**

Fuente: CLAYUCA, 2009.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados y a su discusión, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Bajo Condiciones de Secado Natural (Ambiente no Controlado) y dependiente de la carga, se espera que para un tiempo de secado de 48 horas, el Follaje de Yuca alcance una humedad final que fluctué entre el 60 y 70%. Dependiendo de la Frecuencia de Corte se esperaría que el mismo producto alcance porcentajes de humedad que varíen entre el 55.0 y 65.0%.

2. Para las Condiciones de Secado Artificial (Ambiente Controlado) y dependiente de la carga, se espera que para un tiempo de secado de 8 horas, el Follaje de Yuca alcance una humedad final que fluctué entre el 15.0 y 30.0%. Dependiendo de la Frecuencia de Corte se esperaría que el mismo producto alcance porcentajes de humedad que varíen entre el 10.0 y 30.0%.

3. Independientemente de la carga, la calidad nutritiva del heno resultante del proceso de secado artificial está asociada por una adecuada época de corte, siempre y cuando las condiciones agroclimáticas para desarrollo del cultivo sean las convenientes. Independiente del Método de Secado, la Carga no influye sobre el proceso de deshidratación del follaje, caso contrario a lo observado en términos del Tiempo de duración del proceso.

4. De acuerdo a lo resultados, tanto la Carga como el Método de Secado y Frecuencia de Corte, no parecen afectar las variables asociadas tanto en la calidad como la cantidad de los componentes nutricionales del Heno follaje de Yuca. Los promedios generales de Materia Seca, Materia Orgánica y las Fibra

Detergente tanto Acida como Neutra superan los valores reportados en investigaciones que anteceden a la presente.

5. Los contenidos de Proteína Cruda señalados en los resultados de la presente investigación son bajos en relación a los reportes de otros estudios, aunque están asociados a la heterogeneidad de los componentes del follaje de yuca utilizado.

6. En general y en relación con los reportes de otros autores, los valores encontrados para estas variables indican una menor calidad nutricional del Heno de Follaje de Yuca obtenido por los dos Métodos de Secado.

7. Independientemente del escenario en el cual se evaluó el proceso de secado, solo se estableció dentro del modelo factores propios de manejo del cultivo como la Frecuencia de Corte. La Carga constituye un factor propio del proceso de secado y por lo tanto no influyo sobre las características bromatológicas que se desean del Heno de Follaje de Yuca.

8. Conforme a los valores de Clasificación de Calidad de los Alimentos Asignados por la American Forage and Grassland (Calsamiglia, 1997) y de acuerdo a los resultados del presente trabajo en términos de Fibra Detergente Neutra y Acida, el Heno follaje de Yuca obtenido en los dos métodos de secado se clasifica como un Producto de Tercera y Segunda Categoría respectivamente.

9. Con base a los resultados del análisis de Ácido Cianhídrico se concluye que el Método de Secado, la Carga y la Frecuencia de Corte influyen significativamente sobre los valores promedios de esta variable. El Método de Secado Natural, la Carga 2 (15.0 kg/m^2) y la Frecuencia de Corte 1 parecen inducir los promedios más bajos tanto de HCN Total como Liberado.

10. De acuerdo a los resultados del análisis económico, un kilogramo de Follaje Seco (FS) de Heno follaje de Yuca producido bajo Condiciones de secado natural (Ambiente no Controlado), tendría un costo aproximado de 135.8 pesos. Bajo Condiciones secado artificial (Ambiente Controlado), un kilogramo de Follaje Seco (FS) de Heno follaje de Yuca tendría un costo aproximado de 220.6 pesos.

BIBLIOGRAFIA

ALONSO L, et al .1987. Investigación en el secado artificial de yuca como apoyo al desarrollo agroindustrial de la costa Atlántica de Colombia. Revista AGROGRANOS. 3:24-32.

BEEBE, Nelson H. F. Center for Scientific Computing, University of Utah, Department of Mathematics, 110 LCB, 155 S 1400 E RM 233. Salt Lake City, UT 84112-0090. USA. 2009. http://www.sas.com/technologies/analytics/statistics/stat

BECERRA, J y CASTAÑO M. 2006. Manejo eficiente de la Yuca en producción dentro del sistema doble propósito .Centro de Investigación de Turipanà. Departamento de Tecnología de Información de CORPOICA. 2.006. (Citado 25 sep. -2008). Disponible en línea http://www.turipanà .org.co. Manejo-vaca.htm.

BUITRAGO, J. A. *et al.* 1990. La yuca en la alimentación animal .Centro Internacional de la Agricultura Tropical .CIAT. (Citado el 25 de septiembre 1.990).Disponible en línea. http://“www, turipana.org.co.Manejo-vaca-htm”. Cali. Colombia.. 1990 p . 446

BRANDÃO, C y BRANDÃO F. Alternative Nourishment an educational program on nutrition based on regional solutions and simplified technology. CNBB. Brasil.1991. Disponible en línea http://www.Clayuca.org/pdf/TesisHojas de Yuca (Citado en Oct. 9 del 2008).

CEBALLOS H. (2002). La yuca en Colombia y el Mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenario En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT.
Cali, Colombia, p. 1-13.

CORPOICA Sept. 5/2008. ailmturi@yah.oo.co.uk Variedades de yuca para producir forraje en tres regiones de Colombia

CUESTA, M.1999. Conservación del follaje. (Citado el 9 de octubre de2008.) Disponible en línea, http://“www.cipotato.org revista “.1.999.

CHECA, E. J .1998. Extracción de agua del Forraje. (Citado el 9 de octubre de 2008). http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ ing.20orizzo/ forestación/ uso/%racional%20bosques, pdf. CLAYUCA.2009.Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca – CLAYUCA.

De Bruijin.G.H.1973.The cyanogenic character of cassava(Manihot esculenta).En Nestel.B, Y Mac Intyre .R (eds).Chronic cassava toxicity : Proccedings of

interdisciplinary.London.England International Development Research Centre,Ottawa,Canada.p 147-151.

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. p. 107-119

_____ 1981.The utilization of forage from cassava;pigeon pea.leucaena and groundnut by goats and sheep in Malasya En:Morand –Fehr.P:Bourbouze ,A y Siamiane,M de(eds) . Nutrition et systems d' Alimentation de la Chavra .Symposium International Tours.France,1981.V.IInstitut Tecnique de l'Elevage Ovin et Caprin ,Paris.

DOMINGUEZ, C. 1981. Yuca Investigación. Producción y Utilización. Documento de trabajo No50. Programa de Yuca Cali .CIAT 1981.656p. (Citado 25 sept-2008).Disponible en línea. "http://www.turipanà .org.co. Manejo-vaca.htm."

DURANGO, N., BULA, A., QUINTERO, H. & FERRANS, O. (2004). Construcción de un modelo de secador de Yuca en medio poroso usando flujo radial de aire caliente. *Revista de Ingeniería y Desarrollo*, N° 15, Universidad del Norte, p. 9.

Escobar .M.I.B. 1979 .Utilización de hojas y tallos deshidratados de yuca en la alimentación animal. Tesis Quim .Universidad Simon Bolívar, Mérida, Venezuela. 70p

ESSERS, S.A .et al. 1999. Studies of the quantification of specific cyanogens in cassava product and introduction of the new chromate. J.Sci. food. Agric. 63. P.287 - 296

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor. Acceso: 24-01-2009.

GIL J., CADAVID F**.** Investigación en producción de yuca forrajera en Colombia. CIAT. Disponible en: http://www.sian.info.ve/ porcinos/ eventos/ clayuca0102/ luis.htm

GÓMEZ, G, M. 2007. Utilización de la Yuca en la alimentación de Rumiantes en la costa Norte colombiana. Disponible en línea http://www. engormix.com

Gottret M. V., Escobar Z., Pérez S. (2002). El sector yuquero en Colombia: Desarrollo y competitividad. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización.
Publicación CIAT. Cali, Colombia, p. 340.

Linn JG, Martín NP, Howard WT, and Rohweder DA. 1987. Relative feed value as a measure of forage quality. Minnesota Forage UPDATE. vol XII, No. 4. pp 2,4. Minnesota Forage and Grassland Council.(Citado el 25 de septiembre del 2008) Disponible en línea; http://www.agro.unalmed.co

MADERO.E, et al .1999 Cartografía Ultra detallada de suelos y Evaluación de tierras del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia (CEUNP) Sede Palmira, p.23

NECOCHEA, C. 2002. Hoja de la planta de yuca supera a la espinaca, revista Vida y Futuro.(citado el 25 de septiembre del 2008) Disponible en Línea: http://www.siamazonia.org.pe/detallesnoticioas/oct65%202002/yuca_supera_espinaca_htm.

RAMIREZ.. L M, JIMENEZ, P.A...2008. Manual técnico .El Cultivo de la Yuca Manihot esculenta Crantz; Para producción forrajera y su utilización en alimentación de bovinos. Universidad Nacional De Colombia- Palmira.Facultad de Ciencias Agropecuarias.

PRESTON T. R. RODRÍGUEZ L. NGUYEN. V L y CHAU L H 1.998 El follaje de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" pp. 395-406. (Citado el 09 de septiembre de2008).Disponible en línea. http://www.cipav.org.co/cipav/confr/index.h

QUIÑONEZ R, GONZALEZ, C, POLANCO, D, PERDOMO, B, ARAQUE, H. 2007. Evaluación de diferentes tipos de deshidratación de raíz y follaje de yuca amarga (*Manihot esculenta*) sobre su composición química. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Aragua. Venezuela, en: Zootecnia Tropical 25(1):37-41. 2007

TUKEY, J.W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5:99-114.

VELASCO, R. 2004. Desarrollo de Tecnología Para Elaboración de Producción Consumo Humano.(Citado el 9 de septiembre de 2008) Disponible en linea."http://www.Clayuca.org/clayucanet/edicion09/hojas-Yuca,pdf.

WANAPAT M. PIMPA O. PETLUM A Y BOONTAO A. 1.997 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) pp 26-29. *(Citado el 09 de septiembre del 2008) disponible en línea "http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGRFOR1/prestp24.html*".

_____., A. Petlum y O. Pimpa. 2000. Supplementation of cassava hay to replace concentrate use in lactating Holstein Friesian crossbreds. Asian-Aus. J. Anim. Sci., 13: 600-604.

WANAPAT M. 2.001. Papel del heno de la mandioca como pienso dentro de las zonas tropicales. Taller internacional Investigación y desarrollo actuales uso de la mandioca como pienso.(Citado el 9 de octubre de 2008).Disponible en línea."http://www.engormix.com/utiliz-Yuc aliment-rumiants-s- articulo 891 GDC. htm.

ANEXOS

ANEXO A. Costos Para el Establecimiento de una Hectárea no Mecanizada de Yuca Forrajera.

Item		Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Pesos)	Costo Total (Pesos)
1	ANALISIS DE SUELO	HORA	1	1 875	1 875
	TOMA DE MUESTRA LABORATORIO	MUESTRA	1	90 000	90 000
	SUBTOTAL	**91 875**			
2	PREPARACION DEL TERRENO	JORNALES	25	15 000	375 000
	SUBTOTAL	**375 000**			
3	SEMILLA/ SIEMBRA (SEMILLA 20CM)	CANGRES	42 000	20	840 000
	TRANSPORTE DE SEMILLA 700 CANGRES/BULTOS	BULTOS	60	1 500	90 000
	SIEMBRA	JORNALES	25	15 000	375 000
	SUBTOTAL	**1 305 000**			
4	**CONTROL DE MALEZA**				
	ROUNP-UD	LITROS	2	34 000	68 000
	APLICACIÓN	JORNALES	2	15 000	30 000
	POST-EMERGENTES (C/3 MES)	LITROS	4	15 000	60 000
	APLICACIÓN	JORNALES	8	15 000	120 000
	DESYERBA Y Aporque	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	**308 000**			
5	**FERTILIZACION**				
	AVI-ABONO	BULTOS	35	11 500	402 500
	TRANSPORTE DE ABONO	BULTOS	35	1 500	52 500
	NUTRIFOLIAR COMPLETO	LITROS	2	17 000	34 000
	APLICACIÓN (ABONO)	JORNALES	8	15 000	120 000
	APLICACIÓN (NUTRIFOLIAR)	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	**639 000**			
6	**CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES**				
	SISTEMIN	LITROS	2	32 000	64 000
	APLICACIÓN	JORNALES	8	15 000	120 000
	ORTHOCIDE	LIBRA	1	18 000	18 000
	APLICACIÓN	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	**232 000**			
7	ASISTENCIA TECNICA	PROFESIONAL	1	27 000	27 000
	SUBTOTAL	**27 000**			
8	COSECHA FOLLAJE (3 COSECHAS/AÑO)	JORNALES	60	15 000	900 000
	TRANSPORTE DE FOLLAJE	Kg	110000	3	270 000
	SUBTOTAL	**1 170 000**			
Total		**4 147 875**			
Costo Total/Kg de Follaje Verde		**$ 37.7**			

Fuente: Gil & Cada vid; Investigación en Producción de Yuca Forrajera en Colombia CIAT.

ANEXO B. Costos Para el Establecimiento de una Hectárea Mecanizada de Yuca Forrajera.

Item		Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Pesos)	Costo Total (Pesos)
1	ANALISIS DE SUELO	HORA	1	1 875	1 875
	TOMA DE MUESTRA LABORATORIO	MUESTRA	1	90 000	90 000
	SUBTOTAL	**91 875**			
2	PREPARACION DEL TERRENO	HORA/MAQUINA	12	50 000	600 000
	SUBTOTAL	**600 000**			
3	SEMILLA/ SIEMBRA (SEMILLA 20CM)	CANGRES	42 000	20	840 000
	TRANSPORTE DE SEMILLA 700 CANGRES/BULTOS	BULTOS	60	1 500	90 000
	SIEMBRA	JORNALES	25	15 000	375 000
	SUBTOTAL	**1 305 000**			
4	CONTROL DE MALEZA				
	ROUNP-UD	LITROS	2	34 000	68 000
	APLICACION	JORNALES	2	15 000	30 000
	POST-EMERGENTES (C/3 MES)	LITROS	4	15 000	60 000
	APLICACION	JORNALES	8	15 000	120 000
	DESYERBA Y ABONAGUE	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	**308 000**			
5	FERTILIZACION				
	AVI-ABONO	BULTOS	35	11 500	402 500
	TRANSPORTE DE ABONO	BULTOS	35	1 500	52 500
	NUTRIFOLIAR COMPLETO	LITROS	2	17 000	34 000
	APLICACIÓN (ABONO)	JORNALES	8	15 000	120 000
	APLICACIÓN (NUTRIFOLIAR)	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	639 000			
6	CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES				
	SISTEMIN	LITROS	2	32 000	64 000
	APLICACION	JORNALES	8	15 000	120 000
	ORTHOCIDE	LIBRA	1	18 000	18 000
	APLICACION	JORNALES	2	15 000	30 000
	SUBTOTAL	**232 000**			
7	ASISTENCIA TECNICA	PROFESIONAL	1	27 000	27 000
	SUBTOTAL	**27 000**			
8	COSECHA FOLLAJE (3 COSECHAS/AÑO)	JORNALES	60	15 000	900 000
	TRANSPORTE FOLLAJE	Kg	110 000	3	270 000
	SUBTOTAL	**1 170 000.00**			
TOTAL		**4 372 875**			
Costo Total/Kg de Follaje Verde		**$39.8**			

Fuente: Gil & Cada vid; Investigación en Producción de Yuca Forrajera en Colombia CIAT.

ANEXO C. Clasificación forrajes para ganado de leche según el Índice de Valor Relativo de acuerdo con Linn *et al* (1989)

Clasificación	FDN	FDA
Excelente	<41	<31
Primera	40-45	31-35
Segunda	46-53	35-40
Tercera	54-60	41-42
Cuarta	61-65	43-45
Quinta	>65	>45

Fuente: Calsamiglia, 1997