

**Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca
(*Manihot esculenta* Crantz) para consumo humano**

Andrés Giraldo Toro
Ingeniería Agroindustrial
2006



ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA
(*Manihot esculenta* Crantz) PARA CONSUMO HUMANO

ANDRÉS GIRALDO TORO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2006

**ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA
(*Manihot esculenta* Crantz) PARA CONSUMO HUMANO**

ANDRÉS GIRALDO TORO

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

**I.Q. JOHANNA ARISTIZÁBAL GALVIS
Directora Industrial CLAYUCA-CIAT
Msc. REINALDO VELASCO MOSQUERA
Director Académico UNICAUCA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2006**

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

I.Q. Johanna Aristizábal Galvis
Directora Industrial

I.Q. Reinaldo Velasco Mosquera
Director Académico

Popayán, Marzo de 2006

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ASPECTOS GENERALES	4
1.1 YUCA	5
1.1.1 Producción mundial y nacional de yuca.....	6
1.1.2 Zonas de adaptación de yuca en Colombia.....	10
1.1.3 Usos de la yuca	11
1.2 HOJAS DE YUCA.....	12
1.2.1 Producción de yuca forrajera	14
1.2.2 Valor nutricional de las hojas de yuca	17
1.2.3 Ácido cianhídrico en hojas de yuca	19
1.2.4 Estudios realizados con hojas de yuca	22
1.2.5 Productos comerciales elaborados con hojas de yuca.....	23
1.3 DIGESTIBILIDAD DE UN PRODUCTO ALIMENTICIO	25
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	30
1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO	32
2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS	33
2.1 COSECHA DE YUCA FORRAJERA	33
2.2 OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA	34
2.2.1 Recepción y pesaje de material cosechado	34
2.2.2 Selección y adecuación	34
2.2.3 Pesaje de lámina foliar	35
2.2.4 Lavado y desinfección.....	35
2.2.5 Picado.....	35
2.2.6 Secado	35
2.2.7 Molienda-tamizado	36
2.2.8 Empaque.....	37
3. METODOLOGÍA	38

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1.1 Localización	38
3.1.2 Materia prima	39
3.1.3 Materiales y equipos	39
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	40
3.2.1 Análisis estadístico.....	40
3.3 OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA	40
3.3.1 Análisis para la determinación de HCN en hojas de yuca	41
3.3.2 Variedad de yuca y tiempo de cosecha	41
3.3.3 Cosecha de follaje de yuca.....	41
3.3.4 Selección y adecuación	42
3.3.5 Limpieza y desinfección	42
3.3.6 Picado.....	43
3.3.7 Secado	44
3.3.8 Molienda-tamizado	45
3.3.9 Empaque.....	47
3.3.10 Aplicación en otros trabajos.....	47
3.4 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE HARINA DE HOJAS DE YUCA	47
3.4.1 Diseño experimental	47
3.4.2 Análisis Estadístico	48
3.4.3 Metodología	48
3.5 MÉTODO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO	50
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE HCN EN HOJAS DE YUCA	51
4.2 ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA .	52
4.2.1 Tiempo de cosecha.....	52
4.2.2 Selección y adecuación	52
4.2.3 Técnica de lavado y desinfección	53
4.2.4 Técnica de picado.....	54

4.2.5 Técnica de secado	57
4.2.6 Técnica de molienda-tamizado.	59
4.3 LÍNEA DE PROCESO DETERMINADA	62
4.4 CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA OBTENIDAS CON LA VARIEDAD MCOL 1505 A TRES Y CINCO MESES DE EDAD	62
4.5 ANÁLISIS DE DIGESTIBILIDAD DE HARINA DE HOJAS DE YUCA.....	64
4.6 INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA PARA CONSUMO HUMANO	69
4.6.1 Evaluación de los aspectos técnicos de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano	69
4.6.2 Evaluación de los indicadores económicos de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.....	70
5. CONCLUSIONES	74
6. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo de aminoácidos esenciales en g/100g de proteína en base seca.	18
Tabla 2. Contenido de nutrientes en hojas de yuca.	19
Tabla 3. Evolución de la desnutrición en el programa “Prácticas Alternativas de Nutrición” en Brasil (Santarém, Pará).....	23
Tabla 4. Desnutrición en Colombia en los años 1965,1986 y 2000.....	32
Tabla 5. Comparación de técnicas de análisis utilizadas para la determinación de HCN en hojas de yuca.	51
Tabla 6. Contenido de proteína y HCN libre y total de la variedad MCOL 1505 con edad de tres y cinco meses.	53
Tabla 7. Análisis microbiológico -lavado con agua y desinfección con hipoclorito- secado solar.	53
Tabla 8. Análisis microbiológico -lavado con agua y desinfección con hipoclorito- secador de circulación de aire caliente.	54
Tabla 9. Comparación de la eliminación del contenido de HCN en lámina foliar de yuca utilizando diferentes equipos de picado.	55
Tabla 10. Comparación de la eliminación del contenido de HCN en lámina foliar de yuca utilizando tres temperaturas en secado artificial.	57
Tabla 11. Granulometría de las harinas de lámina foliar de yuca utilizando tres tipos de molinos.....	60
Tabla 12. Resultados de los análisis proximales de harina de hoja de yuca.	63
Tabla 13. Costos de producción de yuca forrajera por hectárea, 100 toneladas de forraje fresco / año.	70
Tabla 14. Costo por kg de producto fresco, según factor de conversión (9,09).....	70
Tabla 15. Información básica de los costos de producción de harina de hojas de yuca.	71
Tabla 16. Inversión inicial en equipos para producción de harina de hoja de yuca.....	71
Tabla 17. Información de los costos para la obtención de harina de hojas de yuca.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción y área mundial del cultivo de yuca en el período 1995-2004.....	7
Figura 2. Principales países productores de yuca en el mundo en el año 2003.	8
Figura 3. Importaciones mundiales de yuca. Valor y volumen.....	8
Figura 4. Superficie cosechada de yuca en Colombia entre 1992–2003.....	9
Figura 5. Hojas de yuca.....	12
Figura 6. Formas de los lóbulos de la lámina foliar de las hojas de yuca.	13
Figura 7. Contenidos de HCN del forraje de yuca a diferentes tiempos de cosecha de las variedades HMC 1 y MCOL 1505 con densidad de siembra de 40.000 plantas.	16
Figura 8. Composición de proteína del forraje de yuca a diferentes tiempos de cosecha de las variedades HMC 1 y MCOL 1505 con densidad de siembra de 40.000 plantas.	17
Figura 9. Moléculas de los glucósidos cianogénicos linamarina y lotaustralina.	19
Figura 10. Reacción de hidrólisis de los glucósidos cianogénicos con la linamarasa.	20
Figura 11. Producto elaborado a base de hoja de yuca por Peruvian Natural Products.....	24
Figura 12. Obtención artesanal de concentrado de hojas de yuca en Brasil.	25
Figura 13. Cosechadora de discos.	33
Figura 14. Cosecha Mecánica.	33
Figura 15. Cosecha manual de yuca forrajera.	34
Figura 16. Cultivo de yuca forrajera.	34
Figura 17. Pruebas de Picado.	43
Figura 18. Pruebas de secado con el secador de circulación de aire caliente.	44
Figura 19. Pruebas de secado con el secador de circulación de aire caliente vs. el secado solar.	45
Figura 20. Pruebas de molienda-tamizado.	46
Figura 21. Análisis estadístico de HCN total en la utilización de NaCl (2,5%) y carbón activado en el método ESSER [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	52
Figura 22. Análisis estadístico de HCN total en la etapa de picado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	56

Figura 23. Análisis estadístico de HCN libre en la etapa de picado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	56
Figura 24. Análisis estadístico de HCN total en la etapa de secado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	58
Figura 25. Análisis estadístico de HCN libre en la etapa de secado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	58
Figura 26. Porcentajes de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de aspas y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.	61
Figura 27. Porcentajes de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de martillos y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.	61
Figura 28. Porcentajes de acuerdo a la granulometría de las partículas gruesas obtenidas con el molino-tamiz y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.	61
Figura 29. Porcentajes de acuerdo a la granulometría de las partículas finas obtenidas con el molino-tamiz y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.	61
Figura 30. Línea de Proceso.....	62
Figura 31. Eliminación de HCN de la variedad MCOL 1505 de tres meses de edad.	63
Figura 32. Eliminación de HCN de la variedad MCOL 1505 de 5 meses de edad.....	64
Figura 33. Análisis estadístico de la digestibilidad de materia seca de las dietas evaluadas [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	66
Figura 34. Análisis estadístico de la digestibilidad de proteína de las dietas evaluadas [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	66
Figura 35. Análisis estadístico de la digestibilidad de energía de las dietas evaluadas [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]	67
Figura 36. Línea de proceso para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.....	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Listado de materiales y equipos.	39
Cuadro 2. Promedios obtenidos a partir de las dietas evaluadas y comparadas con la prueba de Duncan.	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Evaluación de la incorporación de la harina de hojas de yuca obtenida en la elaboración de una harina precocida a partir de cultivos biofortificados.....	87
Anexo B. Análisis estadísticos utilizando la herramienta SPSS 9.0.....	90

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano, proponiendo una nueva alternativa para el uso de las hojas de yuca, obteniendo un producto de mayor valor agregado y de alto valor nutricional con 22,7% de contenido de proteína, 10,9% de cenizas, 6,8% de grasa, 11% de fibra, 7,80% de humedad y 3,9 mg de hierro y 58 mg de vitamina C por cada 100g de proteína digerida. Se utilizaron tres variedades de yuca HMC 1, MCOL 2436 y MCOL 1505, cosechando entre tres y seis meses, se estudió el efecto del uso o no de desinfectante en las hojas y en los equipos que se utilizaron en el proceso de elaboración; se realizó picado y rallado de las hojas de yuca y fueron secadas solar y artificialmente. La metodología comprendió la definición de las condiciones de operación en cada etapa de proceso y la línea de proceso para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano. La harina obtenida fue evaluada en pruebas de digestibilidad de proteína, materia seca y energía, y en la elaboración de una harina precocida con una inclusión de un 2,5% de harina de hojas de yuca en la formulación. Finalmente se determinaron los indicadores técnico-económicos de la obtención de harina de hojas de yuca para estimar los costos requeridos para implementar esta alternativa tecnológica.

ABSTRACT

The objective of the present work was to study the process of obtaining flour from cassava leaves for human consumption, as an alternative use for this organ, with the aim of developing a more nutritious source of flour, of higher aggregated value and nutritional value with 22,7% of protein, 10,9% of ashes, 6,8% of fat, 11% of fiber with 7,80% of moisture and 3,9 mg of iron and 58 mg of vitamin C in 100 g of edible protein. Three clones were used (HMC-1, MCOL 2436 and Mcol1505), harvesting times (three and six months). The effect of disinfecting leaves was also assessed; leaves were grated, chopped and dried under sunlight or in hot-air ovens. The methodology included the definition of operational conditions for each step, as well as the definition of the processing line to obtain the flour. Flour so obtained was evaluated for protein, dry matter and energy digestibility. It was also tested the inclusion of 2,5% of leaf-derived cassava flour in a pre-cooked flour made of different starch sources. Finally, technical-economical indicators were also estimated to establish the implementation costs of this technological alternative.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo de grado fue posible gracias a la colaboración incondicional recibida por parte del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca, CLAYUCA y del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT.

La exitosa culminación del trabajo se debió a la formación y seguimiento brindados por parte de la Universidad del Cauca.

Deseo expresar mi reconocimiento especial y mi gratitud a todas las personas e instituciones que de alguna u otra forma colaboraron en el desarrollo de la investigación.

INTRODUCCIÓN

Las hojas de yuca son un producto que ha sido subutilizado en el cultivo de yuca, actualmente se usan principalmente en la elaboración de productos para alimentación animal, en especial de rumiantes, ya que actúa como fuente de proteína sobrepasante, ya que esta pasa al intestino y es digerida por el animal y no es consumida por las bacterias ruminales (Becerra y Castaño, 2006). Estas hojas 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 consumo humano (A&S, 2004). Las hojas de yuca podrían pasar de ser un subproducto de la especie utilizada de la obtención de raíces de yuca a ser un derivado de alto valor agregado.

Colombia es uno de los países más avanzados en el cultivo de la yuca, ya que en este país existe uno de los principales centros mundiales de investigación sobre yuca como lo es el Centro Internacional de Agricultura Tropical y a nivel nacional el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca, como también la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, donde se han realizado grandes investigaciones y logrado avances en el mejoramiento del cultivo principalmente en la obtención de variedades de alto rendimiento, resistentes a plagas y enfermedades. Sin embargo, para aprovechar estas investigaciones y promocionar el uso de este cultivo, se deben generar nuevos productos que permitan utilizarlo de una forma integral.

En Brasil se han realizado investigaciones en el uso de hojas de la yuca para consumo humano. La mayoría de estas investigaciones han utilizado este producto incorporado en mezclas alimenticias que han sido consumidas por personas con deficiencias nutricionales o con problemas de salud por bajos niveles en el organismo de vitaminas y minerales (Brandão y Brandão, 1991).

Aunque la principal desventaja de las hojas de yuca es su contenido de ácido cianhídrico, estos niveles pueden ser disminuidos con un proceso eficiente en la elaboración de harina

de hojas de yuca. En países como Indonesia y Tanzania, las hojas de yuca se consumen frescas como cualquier otro vegetal haciendo una cocción previa (Maeda, 1989). En Perú son consumidas en cápsulas o tabletas como complementos nutricionales (A&S, 2004).

La harina de hojas de yuca para consumo humano no cuenta con la promoción y el apoyo comercial que debería tener, sin embargo esta puede ser una opción para dar mayor valor agregado y utilizar el aporte nutricional de un subproducto del cultivo de la yuca. La inclusión de harina de hojas de yuca en alimentos para consumo humano es una alternativa alimentaria. Por esta razón, se deben establecer métodos y estrategias para la producción de una harina de alta calidad que sirva como materia prima para la elaboración de productos comerciales como sopas, tortas y productos extraídos.

Al respecto este proyecto busca contribuir al desarrollo científico sobre el proceso técnico para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano. En consecuencia, la metodología seguida comprendió la definición de variables y niveles de operación en las etapas de cosecha, limpieza, picado, secado y molienda, con base en el análisis de la información tecnológica disponible. Así, se utilizaron tres variedades de yuca HMC 1, MCOL 2436 y MCOL 1505, cosechando entre tres y seis meses de edad, se estudió el efecto del uso o no uso de desinfectante en las hojas y materiales y equipos, se realizó picado y rallado de las hojas y fueron secadas al sol y en un secador de circulación de aire caliente 40, 50 y 60 °C. En las etapas de proceso evaluadas en la obtención de harina de hojas de yuca se realizaron los siguientes análisis: contenido de proteína, microbiológico, HCN y granulometría, para determinar la calidad del producto de salida en cada etapa de proceso. Con base en estos resultados, se definieron las condiciones de operación y la línea de proceso de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.

Adicionalmente, se realizaron análisis de digestibilidad en ratones para determinar el grado de digestibilidad de proteína, materia seca y energía, utilizando una dieta control (base caseína 12%) y dietas con sustitución de harina de hoja de yuca en 10 y 20%.

La harina de hojas de yuca sirvió como materia prima en el estudio realizado para la obtención de una harina precocida a partir de cultivos fortificados, utilizando las tecnologías de extrusión y secado de rodillos, para la precocción de una mezcla de harinas en cuya composición se incluyó la harina de hojas de yuca en un nivel de 2,5%.

Finalmente, se determinaron los indicadores técnico-económicos para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano para estimar los costos de mano de obra, equipos e insumos que requiere un productor de yuca que desee implementar esta opción tecnológica para dar mayor valor agregado al cultivo de la yuca.

1. ASPECTOS GENERALES

Uno de los principales problemas de la humanidad, hoy día, lo constituye el hecho de que su población aumenta constantemente sin guardar relación su crecimiento con el desarrollo de nuevas fuentes alimenticias. El mundo se enfrenta a graves problemas que amenazan la subsistencia del género humano, entre ellos: el hambre, la desnutrición, la destrucción del medio ambiente y las enfermedades (Buitrago ,1990).

La situación de desnutrición que se observa en muchos países en vía de desarrollo, donde la población registra altos niveles de deficiencias nutricionales y el constante aumento de precio en los alimentos de la canasta familiar, insta a la búsqueda de alternativas que sean económicas, de alto nivel proteico y con un contenido adecuado de provitaminas y minerales que permitan que las personas con problemas de desnutrición reciban un alimento con características apropiadas para su alimentación.

El uso del cultivo de yuca es una alternativa para crear seguridad alimentaria en el mundo, para mejorar la disponibilidad de alimentos. Por lo tanto, incentivar este cultivo e incorporar nuevos cultivos según las condiciones climáticas y ecológicas, permite tener variedades de alimentos para el autoconsumo.

La yuca es un cultivo importante en países asiáticos, africanos y sudamericanos, principalmente, por su participación en los sistemas agrícolas y por su aporte a la dieta de la población tanto humana como animal. Adicionalmente, es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes, pudiéndose producir bajo condiciones adversas y climáticas marginales. Las hojas de yuca, de acuerdo a estudios recientes, presentan contenidos altos de proteínas, vitaminas y algunos minerales, encontrándose al nivel de la espinaca y la quinua, además de las propiedades medicinales que también presenta (CLAYUCA, 2005). Las hojas son una parte de la planta que aún no es aprovechada en

nuestro país como alternativa para el consumo humano aunque sus características nutricionales lo permitan.

La sociedad exige cada vez un mayor nivel de calidad en los alimentos que se consumen tanto a nivel nutricional como de sanidad en los mismos, esta es una oportunidad que permite considerar la elaboración de una harina de hojas de yuca con un alto valor nutricional y que cumpla con los requerimientos de calidad para consumo humano.

1.1 YUCA

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. Es originaria de América del Sur. La yuca fue domesticada hace unos 5.000 años y cultivada extensivamente desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente (Cock, *s.f.*).

Actualmente la yuca es un cultivo muy importante en las regiones tropicales del mundo (latitudes menores a los 30°), que van desde el nivel del mar hasta los 1.800 m.s.n.m. Si bien el principal producto económico son sus raíces, las hojas de la yuca también tienen un excelente potencial y son extensivamente utilizadas en África y Asia, ya sea para alimentación humana o animal (Ceballos y Ospina, 2002). Es una planta perenne, perteneciente a la familia Euphorbiaceae, es monoica, de ramificación simpodial y altura máxima de 3 m, ideal para uso agroindustrial debido a la producción de hidratos de carbono en las raíces y de proteína en la parte aérea. Es un arbusto herbáceo, o arbolillo, con hojas dactiliformes (FAO, 2005).

Dentro del género *Manihot* se han clasificado alrededor de un centenar de especies, entre las cuales la única cultivada comercialmente es *Manihot esculenta* Crantz, cuyos sinónimos son: *Manihot utilisima*, *Manihot edulis* y *Manihot aipi* (Domínguez, 1981).

Según Domínguez, 1981, la especie *Manihot esculenta* es denominada popularmente como yuca (norte de Sur América, América Central y las Antillas), mandioca (Argentina, Brasil y Paraguay), tapioca (sur de Sur América), cassava (UE, UK, USA), guacamote (México), aipi y macacheira (Brasil), suahili, mhogo o mowogo (África).

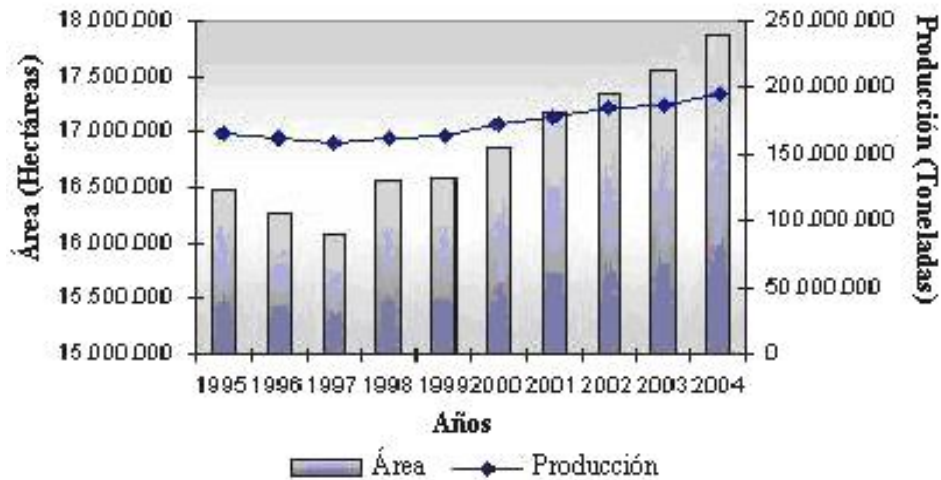
Las variedades de yuca se dividen en dos grupos: variedades amargas, con raíces que contienen 0,02-0,03% de ácido cianhídrico y variedades dulces, con raíces que contienen menos de 0,01% de ácido cianhídrico. La mayoría de las variedades comerciales pertenecen a este último. El contenido de ácido cianhídrico tanto en las raíces como en las hojas depende no sólo de la variedad, sino posiblemente de las condiciones edafoclimáticas (Rosero, 2002).

La yuca se ha convertido en un alimento muy importante en la dieta de muchos países africanos, asiáticos y sudamericanos debido a su alto contenido calórico y a la facilidad del cultivo a tolerar condiciones ambientales extremas. La yuca es apreciada porque presenta adecuada adaptación a diferentes ecosistemas, alta tolerancia a la sequía, gran fortaleza frente a las plagas y amplias facilidades de almacenamiento. La mayor parte se cultiva en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales. Por lo tanto, una proporción importante de la producción no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa. La yuca es un cultivo que podría considerarse estratégico dadas sus posibilidades de aportar al desarrollo de regiones marginales del país. Se considera un cultivo típico de economía campesina, presentando un promedio de área sembrada por finca que oscila entre una y cinco hectáreas, una oferta atomizada y sistemas de producción atrasados. Gran parte de su producción se orienta hacia el mercado en fresco (Domínguez, 1981).

1.1.1 Producción mundial y nacional de yuca. La producción mundial de yuca estimada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombia Internacional en el año 2004 es 195.574.112 t cultivadas en un área de 17.870.626 ha y con un rendimiento de 10,94 t/ha.

La producción y el área cultivada de yuca a escala mundial han tenido un aumento que se debe a la importancia de este alimento en la lucha contra el hambre en el mundo.

Figura 1. Producción y área mundial del cultivo de yuca en el período 1995-2004.

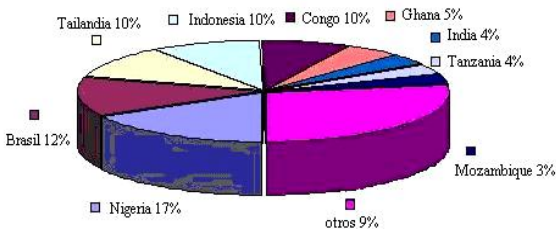


Fuente: Corporación Colombia Internacional, 2005

Por continentes, Asia, África y América representan casi la totalidad de la producción mundial de yuca:

- En África, el cultivo de la yuca es muy importante, debido a la seguridad alimenticia que provee, siendo un cultivo resistente a las sequías, las cuales son muy persistentes. En este continente se concentra la mayor producción de yuca siguiendo en importancia al continente asiático.
- El panorama que abarca el período de 1990 a 2002 presenta un bajo crecimiento e incluso descenso en la producción de este producto.
- Los principales países productores de yuca son: Nigeria, Brasil, Tailandia, Indonesia, Congo, Ghana, India, Tanzania, Mozambique (véase Figura 2).
- Después de los principales países productores se destacan Angola, Uganda y Vietnam. En América Latina sobresalen Paraguay, Colombia, Cuba y Perú.

Figura 2. Principales países productores de yuca en el mundo en el año 2003.

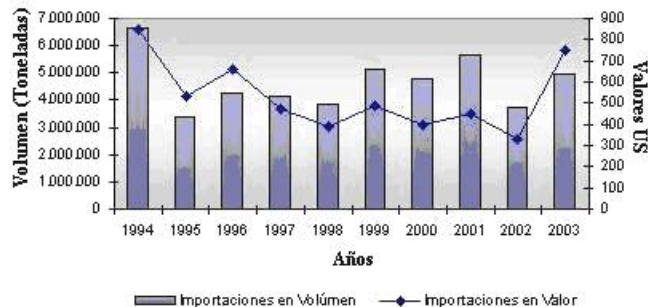


Fuente: Corporación Colombia Internacional, 2005

En los mercados externos la yuca es un producto de autoconsumo en los países productores, se comercializa seca para la industria productora de alimentos balanceados, sin embargo, su comercialización a nivel mundial es bastante reducida. Al deteriorarse rápidamente, la yuca se debe consumir o procesar justo después de cosechada, lo cual obliga a someterla a procesos para garantizar su protección (Corporación Colombia Internacional, 2005).

Como se observa en la Figura 3, las importaciones de yuca a nivel mundial han sido muy volátiles desde el año 1994 hasta el 2003; del año 2002 al 2003 se presentó un alza en las importaciones en valor y volumen después de un descenso en el 2001. La importación de la yuca está estrechamente vinculada con los requerimientos crecientes de yuca por parte de la Unión Europea para complementar la alimentación de su enorme plantel animal y para la producción de almidón (Corporación Colombia Internacional, 2005).

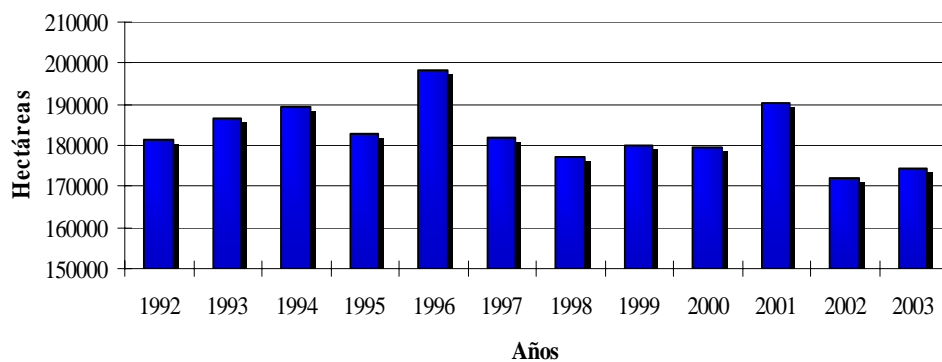
Figura 3. Importaciones mundiales de yuca. Valor y volumen.



Fuente: Corporación Colombia Internacional, 2005

En Colombia, la yuca representa estabilidad económica y social para amplias zonas del país donde es cultivada por pequeños agricultores pobres. Con un 4,5% el cultivo de yuca ha mantenido relativamente estable su participación en el área sembrada del país durante los últimos diez años, aunque hacia el año 2003 presentó disminuciones. Por ejemplo, entre el año 1996 que fue el año de mayor superficie cosechada y el año 2003 se observa una disminución de aproximadamente 13,77% y los porcentajes varían en la superficie a través de los años; esto debido a oscilaciones en precio, demanda y oferta de la yuca (véase Figura 4). Entre 1992 y 2003, la producción de yuca en Colombia varió entre 1,6-2 millones de toneladas no mostrando una dinámica importante, ni una tendencia definida.

Figura 4. Superficie cosechada de yuca en Colombia entre 1992–2003.



Fuente: DANE, 2004

Según la información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en el 2003 la producción nacional de yuca se concentró en la Costa Atlántica, ya que participó con el 27,01% del total nacional, seguida por Centro Oriente con el 10,34%, Occidente con el 5,50% y zonas templadas con el 1,83%, el resto de la producción se divide en otros departamentos que no hacen parte de las zonas de influencia del cultivo de yuca. Los departamentos con mayor producción en 2003 fueron Córdoba (11,76%), Santander (10,4%), Antioquia (7,75%) y Sucre (8,15%), cuya producción participó en el total nacional con porcentajes similares a los del área sembrada, excepto en el caso de Antioquia. Este departamento presenta los mayores rendimientos del país después de Risaralda (22,3 t/ha) y

Quindío (15,2 t/ha). Es así como Antioquia sólo participa con el 5,6% del total del área sembrada en el país pero representa el 7,75% de la producción nacional.

1.1.2 Zonas de adaptación de yuca en Colombia. Se tienen diferenciadas cinco zonas productoras de yuca en el país. Según sea la zona agroecológica del país, se tienen diferentes variedades de yuca adaptadas a estas (Ospina, Gil y Pelaez, 2005).

- **Zona 1 (Costa Atlántica).** Esta zona tiene sembradas 11.130 hectáreas de yuca industrial, representado en los departamentos de Córdoba (4.300 ha), Magdalena (2.580 ha), Atlántico (2.150 ha) y Sucre (2.100 ha). El 80% del volumen producido en esta zona es ofrecido a las plantas de alimentos balanceados. Las variedades cultivadas son principalmente clones regionales como la Venezolana (MCOL 2215)¹, Mona Blanca y variedades mejoradas como: Verdecita (MCOL 1505), ICA Negrita (CM 3306- 4), ICA Costeña (CG 1141-1), MTai 8, Corpoica Sucreña (CM 3355-6) y Corpoica Caribeña (SGB 775-2).
- **Zona 2 (Llanos Orientales) y Zona 3 (Bosque Húmedo Tropical).** A esta zona pertenecen los departamentos Arauca, Meta y Casanare. Actualmente se encuentran sembradas 3.850 ha de yuca industrial, aunque esta yuca se destina más al consumo en fresco por deficiencia en el secado y en algunos casos cercanías a la capital de la república como lo son los departamentos de Meta y Casanare. En esta zona se requieren clones resistentes a enfermedades (superalargamiento y bacteriosis), tales como: ICA-Catumare (CM 523-7) e ICA-Cebucán (MCOL 2277-2), Corpoica Reina (CM 6740-7), Brasilera (MCOL 2737) y Corpoica Vergara (CM 6438-14).
- **Zona 4 (Valles Interandinos).** Cobija las regiones del Valle del Cauca y el eje cafetero. Su principal uso es consumo en fresco. Las variedades empleadas son: MCOL 2066 (Chirosa Gallinaza), en Quindío y Viejo Caldas; HMC 1 o ICA Armenia (Manihotica P-13), ICA Catumare (CM 523-7).

¹ Nombre del clon o variedad en el banco de germoplasma de CIAT

- **Zona 5 (Áreas Templadas, especialmente, la Región del Cauca).** Con un área sembrada de 4.300 ha de yuca industrial, donde el sector más beneficiado es el de los ralladeros ya que en su gran mayoría la producción es destinada a la obtención de almidón. Solamente son utilizados los subproductos como afrecho y mancha en la elaboración de dietas para animales. Esta zona está ocupada por la variedad regional Algodona (MCOL 1522). Para la región de Mondomo se han detectado dos clones promisorios: CG 402-11 y SG 427-87. Para las zonas más altas (Popayán, Cajibío) se han observado como promisorios los siguientes clones: MCOL 2261 (clon local llevado al área de La Cumbre – Valle del Cauca), CG 402-11, SG 427-87, SM524-1.

1.1.3 Usos de la yuca. Este producto se ubica en cuatro mercados según los usos principales del mismo: como raíz fresca y procesada para consumo humano, como insumo en la industria alimenticia, como materia prima en la industria productora de alimentos balanceados para animales y como producto intermedio en la industria no alimenticia.

Uno de los productos más importantes derivados de la yuca es el almidón que se usa en grandes volúmenes en la industria de papel y cartón, la industria alimenticia, la industria textil y farmacéutica. Además se obtienen una amplia gama de almidones modificados, jarabes de glucosa, dextrosa y alcohol entre otros.

También son usadas las raíces frescas para consumo humano, raíces frescas para consumo animal, productos fritos, productos deshidratados, productos congelados (trozos, puré), productos empacados al vacío (trozos semicocidos y esterilizados) y productos derivados del proceso industrial (corteza, fibra, cascarilla).

Entre los productos deshidratados, se encuentran los tradicionales, las hojuelas y la harina de yuca, hay harinas para alimento animal y para industrias alimentarias, entre las industrias alimentarias, se cuenta con las panaderías, las bases para sopas, las carnes procesadas, las pastas, las bases de bebidas y los productos fermentados; como el almidón agrio.

1.2 HOJAS DE YUCA

Las hojas de la planta de yuca (véase Figura 5), al igual que las de cualquier otra planta, son los órganos en los cuales se realiza el proceso fotosintético. El número total de hojas producidas, su tasa de producción y longevidad son características varietales que cambian según las condiciones ambientales (Domínguez, 1981).

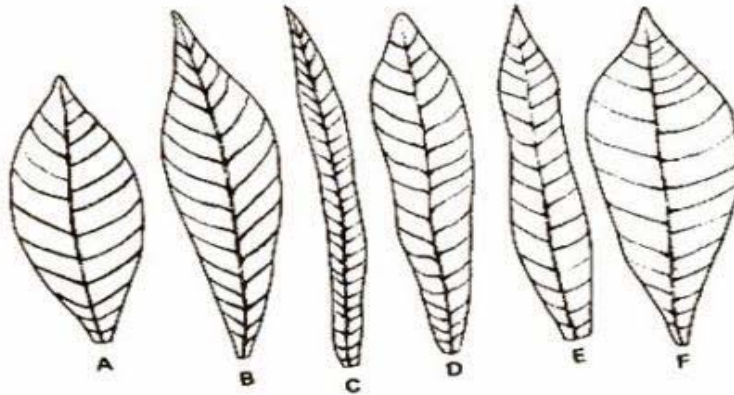
Figura 5. Hojas de yuca.



La yuca presenta hojas compuestas por la lámina foliar (hoja propiamente dicha, y consta de dos caras que son: el haz o cara superior y el envés o cara inferior) y el pecíolo (tallito que une a la lámina foliar). La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada, según el cultivo la lámina foliar es de diferentes colores; morado, verde oscuro y verde claro, son los colores básicos. El pecíolo puede tener una longitud de 9-20 cm, es delgado y de pigmentación variable (verde a morada) dependiendo de la variedad. La lámina foliar por lo general presenta un número de lóbulos impar, entre 3-9 de acuerdo a la variedad, sin embargo esto puede variar en hojas de la misma planta. Los lóbulos miden entre 4-20 cm de longitud y entre 1-6 cm de ancho. Los lóbulos centrales son de mayor tamaño que los laterales (Domínguez, 1981).

En el CIAT se han tomado 3 denominaciones básicas para identificar la forma de los lóbulos: lineal o recta, abovada y pandurada; sin embargo, en otras instituciones tienen una clasificación más amplia que incluye además las formas elíptica, lanceolada y oblongolanceolada (Domínguez, 1981) (Véase Figura 6).

Figura 6. Formas de los lóbulos de la lámina foliar de las hojas de yuca.



(A) Elíptica, (B) Lanceolada, (C) Recta o Lineal, (D) Oblongolanceolada, (E) Pandurada, (F) Abovada

Fuente: Domínguez, 1981

El tamaño de las hojas de yuca depende del cultivar, sin embargo las condiciones ambientales influyen fuertemente; las hojas que se producen en los primeros 3-4 meses son más grandes que las hojas que se producen cuando la planta se encuentra en una edad más avanzada, entre el cuarto mes y la cosecha de las raíces, esta tendencia es común en todas las variedades de yuca, pero existen grandes diferencias varietales en el tamaño máximo de la hoja. Algunos clones de yuca presentan áreas máximas de hoja individual de 800 cm²/hoja. El tamaño de la hoja puede variar y reducirse por falta de agua (Connor, Cock y Parra, 1976). Además una planta que presenta una mayor edad fisiológica presenta menor concentración de proteínas, pero mayor contenido de fibra y materia seca (Ceballos, 2002).

Las hojas de yuca son caducas, es decir, se avejentan, mueren y se desprenden de la planta a medida que esta se desarrolla. Durante los primeros tres meses del cultivo, la formación de hojas tiene prioridad sobre la formación de las raíces de almacenamiento; después la planta disminuye la formación de hojas, pero almacena almidón en las raíces, lo cual genera una disminución de nutrientes en las hojas (Ceballos y Ospina, 2002).

El índice de área foliar (IAF) aumenta entre los 3-6 meses de edad del cultivo y luego baja gradualmente a medida que las hojas más viejas caen, debido a la falta de luz en la parte

basal y a la disminución de la tasa de formación de hojas (Rosas, Cock y Sandoval, 1976). A temperaturas de 24 °C o más altas las hojas de yuca alcanzan su expansión total aproximadamente a las dos semanas después de iniciar su crecimiento. A temperaturas más bajas el desarrollo es más lento (Cours, 1951).

Si los niveles de HCN son altos en las hojas de yuca, el producto final presenta altos índices y por lo tanto no resulta apto para el consumo humano; sin embargo los procesos de secado liberan en gran porcentaje los contenidos de HCN en la yuca, de esta forma es preferible que la variedad seleccionada esté clasificada como dulce, aunque se debe tener en cuenta que no es completamente seguro que las variedades dulces presenten bajos contenidos de HCN en las hojas, ya que se puede presentar lo contrario; contenidos altos en hojas y bajos en raíces (Rosero, 2002). En consecuencia lo anterior obliga que al procesar las hojas de yuca se realicen varias pruebas de análisis del contenido de HCN durante el proceso y en el producto final.

1.2.1 Producción de yuca forrajera. La producción de yuca forrajera se ha incentivado como alternativa a las necesidades nutricionales requeridas por la alimentación animal, ya que el follaje de yuca se usa en la elaboración de dietas de animales. La producción de yuca forrajera representa el mayor potencial de utilización del cultivo para la alimentación animal, aumentando el número de plantas por hectárea a 111.000. Mediante la siembra con espaciamiento de 30 * 30 cm, se obtiene un rendimiento de materia seca de 30 t/ha durante un año, haciendo cuatro cortes o cosechas (cada 90 días) de toda la parte aérea de la planta. Por ello, es recomendable destinar los cultivos a un solo objetivo, para raíces o para follaje, con el fin de obtener rendimientos máximos (Moore, 1976).

La yuca manejada como planta forrajera en sistemas integrados tiene un alto potencial para la producción de proteína de alto valor nutritivo. La hoja de yuca contiene altas cantidades de ácido cianhídrico que para los rumiantes no presenta problema gracias al proceso de detoxificación de estos elementos por los microorganismos del rumen. En contraste, para animales monogástricos la hoja de yuca debe ser secada al sol o ensilada en condiciones

anaeróbicas, para reducir su toxicidad a tal punto que no cause problemas en ellos. Sin embargo, se utiliza también harina de forraje de yuca la cual es secada al sol para producir heno que se muele para la obtención de harina, que actualmente se utiliza en la alimentación de cerdas en período de gestación, aunque por su alto contenido de fibra presenta limitaciones al suministrarla a cerdos durante el crecimiento y en pollos de engorde (Domínguez, 1981).

El follaje de yuca al ser suministrado a los rumiantes en forma fresca o como heno, actúa como fuente de proteína sobrepasante, 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 las ganancias de peso y la eficiencia alimenticia en dietas (Becerra y Castaño, 2006). Por lo tanto, puede ser una alternativa a las fuentes proteicas convencionales como son las harinas de soya, de maní y de pescado.

La producción de follaje depende de diversos factores tales como, cuando la planta es sometida a estrés hídrico, se afecta la producción de biomasa y aumenta la cantidad de proteína extraída del forraje; cuando la planta crece rápido debido a condiciones ambientales favorables, disminuyen los contenidos nutricionales por el efecto de dilución, es decir que los nutrientes absorbidos se distribuyen en mayor cantidad de materia seca (Rosero, 2002).

Según Howeler², las variedades adaptadas en regiones templadas con buenos rendimientos que se llevan a condiciones casi a nivel del mar, son más eficientes en la producción de biomasa aérea.

Los arbustos de yuca pueden cortarse como follaje cuando tienen de 3-4 meses de edad. Se cortan a 40 cm del suelo y se pican en trocitos pequeños a mano o en una picadora de follaje fija. Para que las hojas presenten buenas características se debe hacer la cosecha entre 2-4 meses y mantener el cultivo durante 1-2 años, ya que en estas condiciones es más

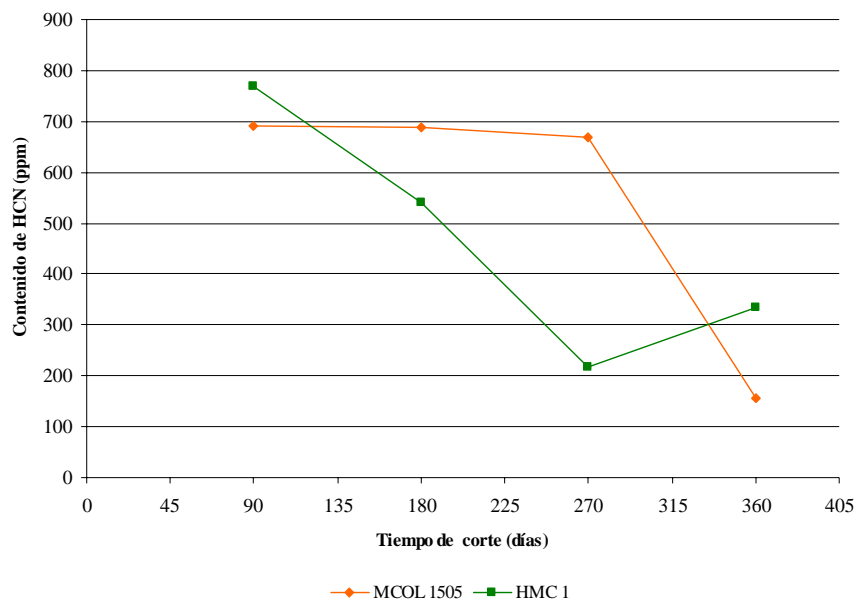
²Comunicación personal. r.howeler@cgiar.org. CIAT. Tailandia. Citado por: ROSERO, 2002.

fácil obtener un producto de alta calidad y máximo rendimiento (Buitrago, 2001). Es importante tener en cuenta las variables que determinan la calidad nutricional del follaje y el mayor tamaño de hoja, así, se aumenta la cantidad y calidad de material para proceso.

Estudios realizados por Rosero, 2002, confirman que en yuca forrajera los contenidos de proteína y HCN a diferentes tiempos de cosecha, varían en el tiempo.

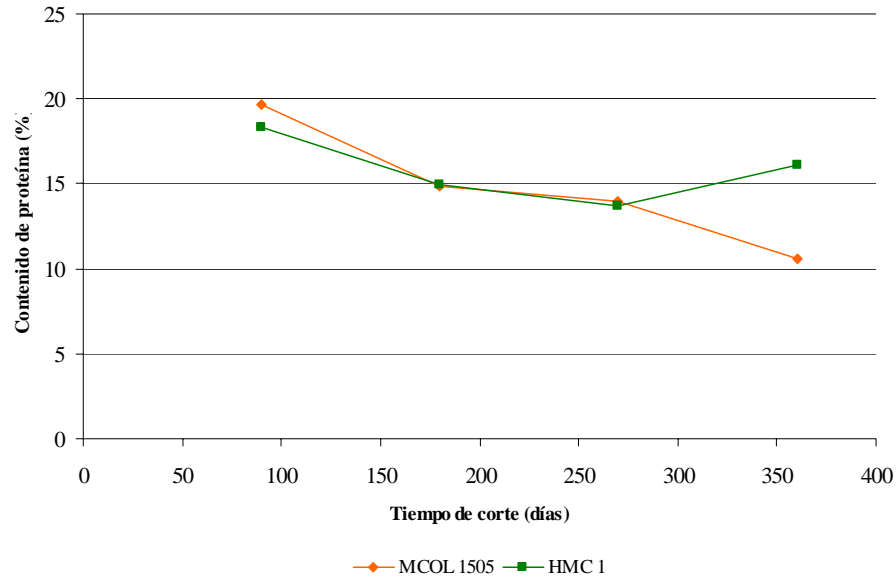
Las Figuras 7 y 8 muestran que después de los tres meses de cosecha el contenido de proteína y HCN, para las variedades HMC 1 y MCOL 1505 con densidad de siembra de 40.000 plantas, comienza a disminuir.

Figura 7. Contenidos de HCN del forraje de yuca a diferentes tiempos de cosecha de las variedades HMC 1 y MCOL 1505 con densidad de siembra de 40.000 plantas.



Fuente: Modificado de Rosero, 2002.

Figura 8. Composición de proteína del forraje de yuca a diferentes tiempos de cosecha de las variedades HMC 1 y MCOL 1505 con densidad de siembra de 40.000 plantas.



Fuente: Modificado de Rosero, 2002

1.2.2 Valor nutricional de las hojas de yuca. La hoja tiene un 77% de agua, 8,2% de proteína cruda, 13,3% de carbohidratos solubles, 1,2% de grasa, 2,2% de fibra cruda en base húmeda y se ha considerado como uno de los vegetales verdes con mayor concentración proteica (Necochea, 2002).

Las hojas de la yuca presentan características nutricionales y virtudes que pueden llegar a ser revolucionarias en el mundo de la alimentación y la salud. Su alto contenido nutricional dada la presencia de sus 18 aminoácidos esenciales, las convierte en un alimento mejor que la quinua, la kiwicha y la soya. Contiene minerales como hierro, calcio, potasio, fósforo, magnesio, cobre y zinc, que es uno de los más importantes en la alimentación humana; también alto contenido de beta carotenos y vitaminas A, B1, B2, B6, B12 y C. Posee vitaminas como la niacina que es un depurativo y desintoxicante poderoso, el ácido fólico que es una poderosa vitamina antianémica y el ácido pantoténico que evita el deterioro de los tejidos de la piel (A&S, 2004).

También se encuentran diferencias en los aminoácidos al ser comparados con leguminosas y cereales como la quinua y la soya, en la Tabla 1 se observan diferencias en aminoácidos tales como glicina, histidina y en algunos muy importantes como en la metionina y la leucina que en las hojas de yuca superan marcadamente los contenidos de alimentos como la soya y la alfalfa.

Tabla 1. Comparativo de aminoácidos esenciales en g/100g de proteína en base seca.

Nutrimiento	Follaje de yuca	Torta de soya	Alfalfa
Proteína cruda	18.94	47.50	22.00
Lisina	5.87	6.50	0.60
Metionina	1.86	1.60	0.20
Treonina	4.20	4.39	n.r.
Triptofano	1.99	n.r.	n.r.
Isoleucina	4.50	4.70	0.70
Leucina	8.19	7.10	1.10
Arginina	5.34	7.50	3.80
Alanina	5.73	4.40	n.r.
Histidina	2.30	2.80	1.20
Valina	5.56	5.10	0.70
Glisina	4.86	4.40	1.90

Fuente: Wanapat, 2002

La composición nutricional del follaje de yuca varía en calidad y cantidad, según el tipo de cultivar, época de corte, densidad de siembra y proporción entre hojas (lámina foliar más pecíolos) y tallos. De acuerdo a los nutrientes requeridos, la parte de la planta que se use determina su composición, por ejemplo, si sólo se utiliza lámina foliar, el contenido de proteína sería de 23-28% en base seca, pero si se incluyen los pecíolos y las ramas verdes apicales el contenido se reduciría de 18-21%, una relación inversa se apreciaría en el contenido de fibra que suele ser alrededor de 9% para lámina foliar, pero que aumenta a 20-25% cuando se incorpora toda la parte superior de la planta (Domínguez, 1981) (Véase, Tabla 2).

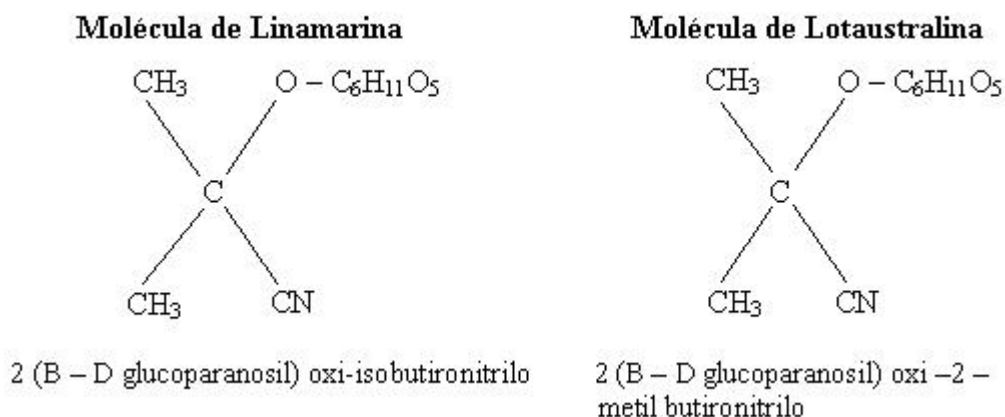
Tabla 2. Contenido de nutrientes en hojas de yuca.

Nutrientes	Hojas	Hojas y pecíolos	Hojas , pecíolos y tallos
Proteína	22,7	21,6	20,2
Cenizas	10,9	9,8	8,5
Grasa	6,8	6,3	5,3
Fibra	11	11,6	15,2
Humedad base	7,80	9,00	7,60

Fuente: Buitrago y Gil, 2002

1.2.3 Ácido cianhídrico en hojas de yuca. En los tejidos de la planta de yuca el cianuro se encuentra de dos formas: como cianuro libre o como cianuro ligado. En todos los tejidos de la planta de yuca se tienen diferentes concentraciones de linamarina (cianuro ligado) y lotaustralina (cianuro libre) (véase Figura 9); glucósidos cianogénicos que al hidrolizarse mediante la acción de la enzima linamarasa (glicosidasa) dan origen al ácido cianhídrico libre por medio de la reacción que se observa en la Figura 10. Las estimaciones indican que el 90% del ión cianuro se encuentra en forma de cianuro ligado (Linamarina), mientras que el restante 10% corresponde al cianuro libre o lotaustralina (Buitrago, 1990).

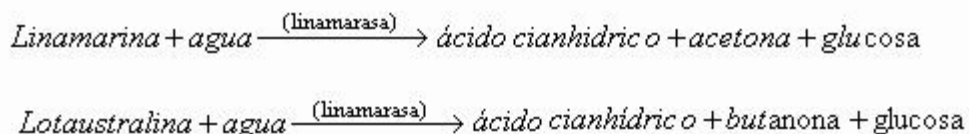
Figura 9. Moléculas de los glucósidos cianogénicos linamarina y lotaustralina.



El ácido cianhídrico es liberado naturalmente por la acción de la enzima Linamarasa con la Linamarina; el contacto de la enzima con la Linamarina ocurre cuando los tejidos sufren daños mecánicos por trituración o por destrucción de la estructura celular de la planta o tejidos (Domínguez, 1981). Tanto las hojas como las raíces son susceptibles a la liberación

de ácido cianhídrico cuando son picadas, en este momento la proporción de cianuro libre aumenta rápidamente a rangos de 30-40% en raíces (Gómez, Santos y Valdivieso, 1981). Se considera que el ácido cianhídrico libre es el que produce efectos tóxicos en el organismo, mientras que el ácido cianhídrico ligado no lo hace, a menos que sea hidrolizado para desarrollar su efecto tóxico (Buitrago, 1990).

Figura 10. Reacción de hidrólisis de los glucósidos cianogénicos con la linamarasa.



El nivel de glucósidos cianogénicos total presentes en las raíces y follaje de yuca, determina diferencias entre variedades amargas (de mayor toxicidad) y variedades dulces (menor toxicidad), según experiencias del CIAT en manejo de variedades de yuca³, las variedades menores de 180 ppm de HCN (en base seca) se clasifican como variedades dulces, las que poseen entre 180-300 ppm se clasifican en el rango intermedio y las que tienen un contenido de HCN mayor 300 ppm son consideradas como variedades amargas (Domínguez, 1981).

Durante el ciclo de desarrollo de la planta, las concentraciones de HCN en los diferentes tejidos fluctúan y esto depende en gran medida de factores externos como la temperatura, condiciones edáficas, variedad, edad de la planta, manejo del cultivo, altitud, deficiencia de potasio, disponibilidad de agua, entre otros (Barbosa, 1972 y Cadavid, 2001).

De acuerdo a la edad de la planta, la concentración de HCN es mayor o menor en las hojas, este es un aspecto que se debe tener en cuenta para la realización de las cosechas, ya que la concentración de cianuro en las hojas varía, siendo mayor en hojas tiernas o jóvenes que en hojas al final del ciclo vegetativo de la planta de yuca. En general, las hojas poseen

³ Comunicación personal. Teresa Sánchez. Laboratorio de calidad de yuca. Programa de mejoramiento de yuca. CIAT. 2005

concentraciones similares a las encontradas en las cáscaras de las raíces (Domínguez, 1981).

La dosis letal mínima de ácido cianhídrico en los humanos es de 60 ppm y el consumo prolongado de pequeñas cantidades de éste puede originar deficiencias proteicas y problemas fisiológicos serios, en casos extremos un consumo alto de esta sustancia puede provocar intoxicación. Con la ayuda de la enzima rodanasa, el cuerpo humano destoxifica el cianuro mediante la formación de tiocianato, la síntesis de rodanasa impone una demanda adicional de aminoácidos de las reservas del cuerpo, principalmente de aquellos aminoácidos que contienen azufre, por lo tanto el consumo regular de yuca provoca que la síntesis de proteínas vitales para funciones corporales se perjudique; razón por la que, se presentan enfermedades asociadas a la exposición constante a los cianógenos de la yuca y la deficiencia de proteínas, como el Konzo que en países como Mozambique se ha presentado y es identificado por síntomas como rigidez de los músculos, vomito, nauseas, palpitación, debilidad, diarrea, dolor de cabeza (Padmaja, 1995).

La mayoría de los síntomas de intoxicación se pueden asociar con la afinidad del ácido cianhídrico con iones metálicos como el del hierro y el del cobre. El radical $-CN$ reacciona con el ión hierro de la hemoglobina y forma cianohemoglobina, hecho que imposibilita el transporte de oxígeno en la sangre; asimismo, dicho radical forma complejos con algunas enzimas que tienen iones cobre (i.e., citocromo-oxidasa), afectando ciertas reacciones del metabolismo intermediario (Buitrago,1990).

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. La deshidratación natural por cocción de los rayos solares es un sistema seguro para destruir el ácido cianhídrico sin afectar la acción de la linamarasa. Normalmente, los trozos de yuca secados al sol contienen niveles de cianuro menores a la obtenida con secado artificial. Ya que la reacción hidrolítica se favorece a largos tiempos y bajas temperaturas. No obstante la

eliminación de HCN por secado artificial a temperaturas por debajo de 60 °C o por cocción en agua son métodos que aseguran una eliminación de HCN efectiva (Domínguez, 1981).

1.2.4 Estudios realizados con hojas de yuca. Las hojas de yuca han sido utilizadas desde hace décadas por los indígenas de algunas regiones de Brasil y Nueva Zelanda, estas personas tomaban las hojas de la planta y realizaban un proceso artesanal que resulta bastante sencillo; ellos recogían las hojas, posteriormente las lavaban, machacaban para suavizarlas, las hervían y las incluían en sus comidas. La hoja de yuca puede utilizarse en la preparación de sopas o guisos, ya sea en pequeños trozos o picadas; en países como Tailandia se observó la cantidad y calidad del producto que se desechaba al cosechar las raíces de la planta, por lo tanto se inició la producción de comprimidos de hojas de yuca y retoños tiernos de yuca, como fuente de proteína (Rojanaridpiched, 1977). Las hojas y retoños se pican y posteriormente se secan en hornos. Después del secamiento las hojas se muelen hasta convertirlas en polvo (Lancaster y Brooks, 1983).

En estudios realizados se encontró que antiguamente las personas que consumían las hojas de yuca no presentaban enfermedades como el cáncer de próstata, cáncer de mama, cáncer de ovario, gastritis, diabetes e hipertensión, a diferencia de quienes no las consumían (A&S, 2004). Se han obtenido también beneficios para la gastritis, úlceras gástricas, hepatitis, tifoidea, asma, rinitis, trastornos circulatorios, tratamiento de la próstata, cistitis, artritis, entre otros. Por lo cual en Perú han sido comercializadas en forma de tabletas para consumo humano y en Brasil se utilizaron en un programa alternativo de alimentación, dirigido por Clara Brandão, para niños de escasos recursos con deficiencias nutricionales, mostrando excelentes resultados (Brandão y Brandão, 1991).

Uno de los sectores de la población infantil que puede ser beneficiado con los estudios, son los grupos de infantes que reciben meriendas escolares en escuelas o en guarderías a cargo de madres comunitarias, donde se podría incluir el producto en las dietas de los niños realizando mezclas con algunos alimentos, de tal forma que se convierta en un complemento de estos.

Muestra de ello, son los estudios realizados por la investigadora Clara Brandão y Rubens Brandão, 1990 en Brasil, quien utilizó este producto mezclado con otros convirtiéndolo en parte de la dieta de personas de bajos recursos y con problemas de desnutrición. En los estudios realizados en Brasil, se logró disminuir la desnutrición en un 16% por un consumo periódico del producto, por medio de un programa en centros asistenciales y escuelas donde se suministraba el producto, el cual permitió el desarrollo y la rehabilitación nutricional. Los cursos eran dirigidos a madres, médicos, enfermeras, trabajadores sociales y maestros y fue llamado “Prácticas Alternativas de Nutrición”. En la formulación del producto se mezclaban hojas de yuca con otros productos como papa, zapallo, maíz verde rallado, maíz partido y zanahoria rallada; para crear un alimento con alto nivel nutricional a bajo costo. Con este programa se comprobó que los niños aumentaban de peso y estatura en pocos meses. En la Tabla 5 se muestra el comportamiento de la desnutrición en Brasil durante el programa de nutrición.

Tabla 3. Evolución de la desnutrición en el programa “Prácticas Alternativas de Nutrición” en Brasil (Santarém, Pará).

	AÑOS		
	1979	1981	1984
N° de niños	718	771	790
Desnutrición grado 1	22,3%	32,1%	38,0%
Desnutrición grado 2	44,6%	43,2%	45,4%
Desnutrición grado 3	2,6%	6,7%	1,3%
Total Desnutrición	77,7%	67,9%	61,8%

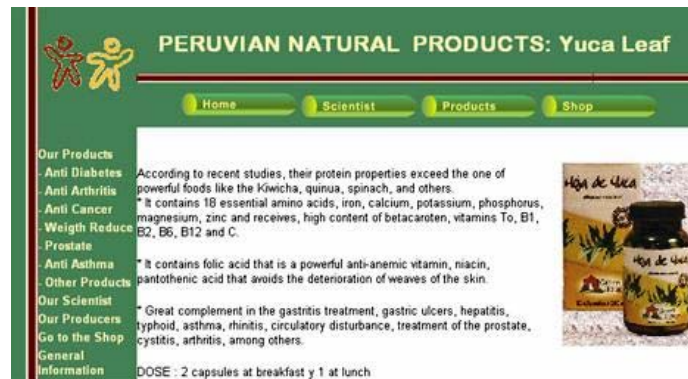
Fuente: Brandão, 1990

Actualmente en Colombia, las hojas de yuca sólo han sido utilizadas en alimentación animal, en la dieta de rumiantes utilizando las hojas o el follaje (hojas y tallos tiernos) de plantas sembradas para la producción de raíces (Domínguez, 1981).

1.2.5 Productos comerciales elaborados con hojas de yuca. En algunos países como se ha mencionado anteriormente, las hojas de yuca han sido utilizadas como un producto comercial para el consumo humano. En Perú, las hojas de yuca son procesadas para

obtener como producto final unas cápsulas que son comercializadas dentro y fuera del país. En la Figura 11 se presenta una fotografía del producto envasado y su promoción en una pagina de internet.

Figura 11. Producto elaborado a base de hoja de yuca por Peruvian Natural Products.



Fuente: Peruvian Natural Products, 2005

En Brasil las hojas de yuca también son utilizadas como un producto comercializado en diferentes regiones, las hojas de yuca son sometidas a un proceso de extracción de la proteína, donde las hojas son molidas y posteriormente separadas en dos fracciones después de prensar: el jugo y el material fibroso, luego se somete a una extracción parcial o exhaustiva. El uso de estos procesos permite la obtención de concentrados y proteína aisladas a partir del jugo o de la torta de hojas de yuca. Los primeros pueden alcanzar niveles proteicos del 70% y los segundos podrían alcanzar niveles del 90%. Partiendo de la ventajas que representa un concentrado proteico se podría decir que partir de hojas de yuca se tendría un producto altamente funcional y de fácil distribución, consumo, transformación y comercialización (Le Guerroué y Douillard, *et. al.*, 1996).

Por otra parte en Indonesia, las hojas de yuca son clasificadas como uno de los vegetales más comunes; por esta razón la producción de hojas de yuca en este país es estimada en 0,5 –0,7 millones de toneladas por año. Ellos cosechan algunas hojas jóvenes de los cultivos de yuca sin afectar la producción de raíces. El consumo de 400 g de hojas de yuca equivale a ingerir de 45–50 g de proteína de origen vegetal, por lo tanto ellos consideran que la

utilización de hojas de yuca, como un suplemento en la dieta haría un aporte a la solución de los problemas nutricionales del país. (Wargiono, Richana y Hidajat, 2001).

Figura 12. Obtención artesanal de concentrado de hojas de yuca en Brasil.



Fuente: Kennedy, 1993

1.3 DIGESTIBILIDAD DE UN PRODUCTO ALIMENTICIO

La digestión se define como un proceso físico-químico que descompone las moléculas constitutivas de los alimentos en moléculas más pequeñas o en componentes que pueden ser absorbidos del lumen del intestino al torrente sanguíneo para que estos finalmente sean aprovechados por el organismo en la constitución de tejido y combustión de energía celular.

El análisis químico es el punto de partida para determinar el valor nutritivo de los alimentos, pero el valor real de los nutrientes ingeridos depende del uso que de ellos pueda hacer el organismo (Maynard y Loosli, 1975).

La disponibilidad es una propiedad inherente a una materia prima alimenticia y está relacionada o determinada por la constitución física y química del alimento, la concentración de los nutrientes y los factores limitantes o antinutricionales que marginan la disponibilidad de estos nutrientes. La disponibilidad para aminoácidos de la proteína de las

materias primas se define como la proporción del contenido en la dieta que es digerido, absorbido como tal en el intestino delgado, y por último utilizado para la síntesis de proteína (Blas, 2000).

La digestibilidad representa una serie de transformaciones físicas y químicas conducidas por la acción de las enzimas digestivas, la eficiencia de la digestibilidad depende de condiciones como acidez y por supuesto de las propiedades físico-químicas y estructurales de la materia prima que esté expuesta a la acción de las enzimas digestivas. Debido a esta relación entre propiedades físico-químicas y estructurales de la materia prima y la acción de las enzimas digestivas sobre las moléculas del alimento, resulta necesario evaluar la digestibilidad de los alimentos que son utilizados o que tienen un potencial de utilización en la alimentación. De este modo, la digestibilidad de un alimento es un indicador de la calidad nutricional del mismo, aún más confiable que la composición nutricional de éste (Ceballos, López y Posada, 2004).

El organismo animal requiere de distintos nutrientes y de los cambios metabólicos que se producen en ellos para atender a las funciones del mismo. Por eso hoy muchos de los problemas de nutrición son estudiados con pequeños animales; uno de ellos es la rata. Los procesos de crecimiento, reproducción y lactación pueden investigarse de mejor forma, y así determinar el valor de los diversos alimentos para estas funciones (Maynard y Loosli, 1975).

Los animales de laboratorio son muy útiles para establecer muchos de los principios fundamentales de la nutrición, además son ventajas importantes el bajo costo de los animales, su alimentación y cuidado, y el tiempo que dura un experimento es más corto, por ser más breve el ciclo vital de la especie. El estudio con animales pequeños sirve a modo de experimento piloto para obtener mucha información preliminar con mayor rapidez, bajo costo y menor riesgo, que cuando se hace directamente en el consumidor final del producto, además puede justificar el costo de inversión de éste ya sea para consumo humano o animal (Ceballos, López y Posada, 2004).

Un ensayo de digestión y determinación de la digestibilidad supone registrar todos los nutrientes consumidos y las cantidades de ellos que se expelen en las heces. Es imprescindible que las heces recogidas contengan la cantidad total de residuo no digerido de la cantidad medida de alimento consumido (Maynard y Loosli, 1975).

Para la colecta de las heces se utilizan varios métodos. En los animales omnívoros y en los carnívoros puede usarse alguna sustancia no digestible, de fácil identificación, denominada indicador. El indicador se suministra exactamente antes de que comience la ingestión de la ración del objeto de ensayo y de nuevo al terminar esta ingestión. La recogida de los excrementos comienza cuando en ellos aparece el primer indicador y termina cuando se presenta el segundo. Es necesario que el indicador sea fisiológicamente inerte y no debe contener ningún elemento de los que se estén investigando, cuanto menos difundible sea la sustancia, mejor. Se usa mucho como indicador el óxido férrico, óxido crómico y hollín, sin embargo ninguno asegura exactitud (Domínguez, 1981).

Existen otros métodos como el de dietas purificadas, el cual consta de fuentes purificadas de los diversos nutrientes. Por ejemplo, las proteínas son suministradas en forma de caseína; los carbohidratos, en forma de almidón y sacarosa; la grasa, como manteca de cerdo o algún aceite; los minerales, como sales químicamente puras; y las vitaminas, como compuestos cristalizados puros. El método de la dieta purificada ha sido la fuente de buena parte de nuestros conocimientos modernos en materia de nutrición, incluyendo la fisiología de las vitaminas, el establecimiento de diferencias en la calidad de las proteínas y una información más exacta relativa a muchos elementos minerales.

En el caso de la proteína que es objeto de estudio, la influencia de los distintos niveles proteicos puede estudiarse mediante la inclusión de varios niveles de caseína (la cual tiene una absorción en el organismo de casi el 89%), sin cambiar en nada el resto de la ración, mientras que si se agregase la fuente natural de la caseína, esto es leche, ello introduciría numerosas variables porque la leche contiene nutrientes adicionales a la caseína. También se puede tomar como blanco una ración con caseína y otras raciones sustituyendo

parcialmente esta por otra fuente de proteína, lo cual permite comparar las diferentes fuentes proteicas.

En el caso de las proteínas la ración recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para el adulto sano es de 0,8 g/kg de peso/día. Estas proteínas deben ser de buena calidad, al menos un 40% de ellas y aportar entre un 12–15% del valor calórico total de la dieta que se ingiere. Hay que tener en cuenta que es prioritario el aporte de carbohidratos, de lo contrario se utilizarán como fuente energética y se necesitaran en mayor cantidad. Ciertas enfermedades pueden requerir una disminución en la cantidad de consumo de proteínas, por ejemplo enfermedades de riñón o de hígado. En la actualidad el consumo está muy por encima de estas recomendaciones, hay que tener en cuenta que este aumento si se realiza con base en fuentes animales incrementará la grasa y colesterol de la dieta (Díaz, 2002).

La digestibilidad de la harina de hojas de yuca es importante dado su contenido de fibra dietaria, la cual es la parte de todo alimento vegetal como cereales, frutas, verduras y leguminosas que no pueden ser digeridas por el organismo. Las ingestas promedio de fibra de un adulto son de unos 15 g/ día. Aunque no existe una recomendación establecida, se considera un consumo adecuado entre 25-30 g/día. La cantidad de fibra vegetal presente en la dieta no debe ser nunca inferior a los 22 g/día. Se ha añadido una nueva recomendación en el sentido de que la fibra aportada no debe estar constituida únicamente por fibras insolubles (con celulosa), sino que un 50% del total corresponderá a fibra soluble (con pectinas). Con base en sus propiedades físicas y su efecto fisiológico en el organismo, la fibra dietaria se clasifica en fibra insoluble y fibra soluble. La fibra insoluble consiste principalmente en celulosa, hemicelulosa y lignina, este tipo de fibra se encuentra en el salvado de trigo, granos integrales y verduras. La fibra soluble comprende gomas y pectinas; por lo tanto las hojas de yuca contienen fibras insolubles, sin embargo estas fibras pueden generar problemas en la digestibilidad. Es importante el consumo de fibra tanto soluble como fibra insoluble, por los efectos mecánicos y metabólicos y además porque

sirve como protector contra altos niveles de lípidos en la sangre y otras enfermedades como enfermedad cardíaca, obesidad, hernia hiatal, cálculos biliares, enfermedad diverticular, pólipos y cáncer colorrectal durante la adultez (Vargas, 1996).

Las fibras pueden generar también problemas en la absorción de proteínas, minerales entre otros. Se han realizado investigaciones acerca de la digestibilidad de la proteína contenida en hojas de yuca donde se encontró una digestibilidad cercana al 80% en hojas jóvenes y de 67% en hojas más viejas. Sin embargo se encontró también que los porcentajes de utilización de la proteína son bajos, estos llegan a 32% en hojas jóvenes y 39% en hojas más viejas, aunque esto puede mejorar aumentando la digestibilidad a un 61% cuando se adiciona el aminoácido limitante que, en este caso, es la metionina (Lancaster y Brooks, 1983). Los taninos condensados en las hojas de yuca, podrían ser parcialmente responsables de la baja absorción de la proteína al consumirla, debido a la formación de complejos indigeribles tanino-proteína o efectos de los taninos sobre la actividad de la enzima (Reed et. al, 1982). Cuando los tallos son incluidos en la elaboración de dietas a partir de hojas de yuca, el nivel de fibra aumenta y la proteína disminuye (Rosero, 2002).

Es importante conocer la disponibilidad de la proteína de hojas de yuca y la absorción de estas por el organismo humano. Se debe mantener el equilibrio entre el valor calórico total (VCT) y el aporte proteico; entre el 12–15% del VCT de la dieta se debe aportar en forma de proteínas, priorizando el aporte de carbohidratos entre un 50-55% del VCT. La ingesta proteica debe ser, como mínimo, de 0,8 g/kg peso teórico/día (Gómez, 2000).

Se debe guardar un equilibrio entre las proteínas de origen animal y de origen vegetal en el adulto (proteínas de origen animal = proteínas de origen vegetal) y en el niño (proteína animal, bastante más que proteína vegetal) (Gómez, 2000).

La digestibilidad de una proteína es uno de los condicionantes del índice de calidad de las proteínas. Se define como la fracción de nitrógeno ingerido con el alimento y que es absorbido en el tracto gastrointestinal. Se expresa en porcentaje:

$$D = (N \text{ absorbido} / N \text{ ingerido}) * 100$$

La digestibilidad ideal es 100%. Las proteínas de origen animal poseen una buena digestibilidad, lo que implica una buena absorción, mientras que las de origen vegetal, la suelen tener generalmente inferior (Gómez, 2000).

Hay factores que, con independencia de la proteína de la que se trate, pueden modificar la digestibilidad entre ellos tenemos; las condiciones de procesamiento y el almacenamiento de los alimentos; el contenido en fibra insoluble y la cantidad total de fibra de la dieta ingerida.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Durante muchos años, los problemas de desnutrición han dependido de dos factores importantes como las deficiencias nutricionales de los alimentos y los malos hábitos que se han tomado a medida que los avances tecnológicos y la evolución de las ciudades en el mundo son más acelerados. Por lo tanto, hoy se buscan alternativas para suplir las necesidades de contar con alimentos que brinden al consumidor beneficios nutricionales, tales como: un buen contenido de vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales.

De acuerdo a lo anterior, al elaborar una harina a partir del forraje de yuca con un alto nivel nutricional, dado los aminoácidos esenciales que contiene, se aprovecharía la parte aérea de la planta no sólo en la alimentación animal, sino también en la humana, lo cual permitiría que los cultivadores cuenten con una nueva alternativa para el uso del forraje de yuca.

Este estudio busca elaborar una harina de hojas de yuca que es un producto que se puede incluir en la formulación para la elaboración de panes, galletas y utilizarlo en sopas, arroz entre otros y darle su uso como complemento alimenticio incluido en otros productos para consumo humano y aportando un buen valor nutricional en la dieta diaria de la población con problemas de desnutrición y en especial a la población infantil que es la más afectada.

Actualmente, en Colombia se tienen problemas de desnutrición que a través de los años se han tratado de superar, en algunos casos se ha logrado que la desnutrición no sólo en niños sino también en mujeres embarazadas y adolescentes se disminuya. Sin embargo, existen deficiencias nutricionales en muchas regiones de Colombia tales como la costa pacífica, donde se tiene el mayor índice de mortalidad por desnutrición. Además se registran otras regiones con problemas de desnutrición como Cauca/Nariño que presentan 24,5% de su población, seguida de otras como Tolima/Huila/Caquetá con 18,9% y una de menor porcentaje como Valle/Atlántico/Bolívar que presentan un 7,3% (UNICEF, 2005).

Diversos factores se pueden desencadenar por la mala nutrición tales como las complicaciones en la gestación, en el parto y enfermedades que podrían ser evitables o fácilmente curables; esto puede acortar vidas o limitar las capacidades de una persona. Adicionalmente la presencia de grupos de personas desplazadas de sus tierras que llegan a las ciudades y no encuentran oportunidades se ven afectadas por deficiencias nutricionales que generan enfermedades.

La desnutrición en niños y niñas ha venido siendo un problema de interés en Colombia desde el año 2000 por parte de organizaciones como UNICEF, estas entidades han aplicado estrategias para que la desnutrición se disminuya a través de los años; por ejemplo entre 1990-2000 se redujo en valores significativos la desnutrición aguda, crónica y global. El país cuenta con un Plan Nacional de Nutrición (1999-2005) que propende por una adecuada alimentación y nutrición tanto en el nivel individual como colectivo y ha desarrollado acciones de seguridad alimentaria orientadas a los hogares y grupos más vulnerables.

Los niveles de desnutrición registrados en la Tabla 4 indican los cambios en % registrados en los respectivos años. Puede notarse que a pesar de registrarse mejoras, aun se presentan índices inaceptables para una sociedad en desarrollo por tanto, existen razones para seguir trabajando en el desarrollo de alimentos con alto valor nutricional, de fácil producción y preparación, y de bajo costo para satisfacer las necesidades de poblaciones con deficiencias nutricionales y de bajos ingresos.

Tabla 4. Desnutrición en Colombia en los años 1965,1986 y 2000.

Clases de desnutrición	AÑOS		
	1965	1986	2000
Desnutrición Global	21%	10,1%	6,7%
Desnutrición Crónica	31,9%	16,6%	13,5%
Desnutrición Aguda	3,9%	2,9%	0,8%

Fuente: UNICEF, 2005

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Consecuentemente a la necesidad planteada de buscar nuevas opciones para el uso de la harina de hoja de yuca, y a la generación de productos de alto valor nutricional, y a bajo costo. el presente estudio definió como objetivo general:

- Estudiar el proceso técnico para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.

Y como objetivos específicos:

- Determinar el proceso más adecuado para el secado de las hojas de yuca.
- Definir las condiciones de operación y la línea de proceso de la obtención de harina de hojas de yuca.
- Determinar los indicadores técnico-económicos de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.

2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

En este capítulo se describen los aspectos relacionados con la cosecha de yuca forrajera, es decir la utilizada para obtener como materia prima principal follaje de yuca. Se describen las etapas de producción de harina definidas y las condiciones que deben tenerse en cuenta para la obtención de una harina de hoja de yuca para consumo humano de excelente calidad.

2.1 COSECHA DE YUCA FORRAJERA

La cosecha de lámina foliar de yuca se puede realizar de diferentes formas. De manera industrial existen formas eficientes, como la cosechadora de discos que se observa en las Figuras 13 y 14, este tipo de cosechadora se gradúa para realizar el corte a 40 cm de altura, sin ocasionar mayores daños a la planta.

Figura 13. Cosechadora de discos.



Figura 14. Cosecha Mecánica.



La cosecha de hojas también se puede realizar de forma manual haciendo el corte de las plantas utilizando guadañas o machetes, en la Figura 15 se observa cómo se realiza el corte conservando la altura de 40 cm (véase Figura 16). Este tipo de corte hace el proceso un poco más lento.

Figura 15. Cosecha manual de yuca forrajera.



Figura 16. Cultivo de yuca forrajera.



2.2 OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA

En la poscosecha de las hojas se inicia el proceso de obtención de la harina que consta de las siguientes etapas: recepción y pesaje de material cosechado, selección y adecuación, pesaje de lámina foliar, lavado y desinfección, picado, secado, molienda-tamizado y empaque.

2.2.1 Recepción y pesaje de material cosechado. En esta operación se recibe el follaje de yuca tallos y hojas (lámina foliar y pecíolos), y se hace el respectivo pesaje de toda la materia prima, con el fin de determinar los rendimientos del cultivo y cuanto material se produce por un área específica del mismo.

2.2.2 Selección y adecuación. Esta operación se realiza teniendo en cuenta la sanidad del producto. Se eliminan hojas que presenten daños mecánicos (golpes, cortaduras, hojas marchitas), ataque microbiológico, o por insectos, así como el material extraño, es decir, palos, piedras o partículas distintas a la materia prima en cuestión. La adecuación de la materia prima seleccionada consiste en retirar de las hojas los pecíolos y dejar solamente la lámina foliar que es el producto de interés.

2.2.3 Pesaje de lámina foliar. Esta operación se realiza con el fin de medir la cantidad real de lámina foliar que ingresará al proceso de transformación y así determinar el rendimiento del proceso de obtención de harina de hojas de yuca (lámina foliar).

2.2.4 Lavado y desinfección. Esta etapa permite obtener un producto limpio y de mejores características microbiológicas. En la etapa de lavado se utiliza agua limpia y preferiblemente se utiliza una solución de hipoclorito de sodio en una concentración de 20 ppm. Es recomendable realizar una desinfección de los equipos de proceso (tinajas, picadora y bandejas de secado) utilizando una solución de 50 ppm.

2.2.5 Picado. Esta operación busca reducir de tamaño las hojas y facilitar el secado dado que el área de transferencia de calor de la materia prima se aumenta. Pero adicionalmente, tiene como objetivo principal la liberación del ácido cianhídrico, la cual ocurre de forma natural cuando se realizan cortes, propiciando así que la linamarasa actúe sobre la linamarina (glucósido cianogénico ligado) que con este tratamiento se convierte en libre. Los equipos que se usan para esta operación son la sertaneja y procesadoras de alimentos en acero inoxidable.

2.2.6 Secado. El secado es la operación con mayor relevancia dentro del proceso de obtención de harina de hoja de yuca porque es en ella donde se completa la reducción de los contenidos de HCN en el producto final, además ayuda a mejorar la calidad microbiológica del producto final. Esta etapa puede realizarse por dos métodos: solar y secado artificial.

Para secar la lámina foliar de yuca utilizando secado solar; el gasto de energía es nulo pero el tiempo de secado es prolongado, lo que no garantiza en todos los casos la calidad del producto final dada la contaminación ambiental.

Así el material se dispone sobre bandejas, tal como se realiza para el secado de trozos de yuca, de tal forma que cubra toda la superficie de las bandejas exponiéndolas al sol y al ambiente. Este método de secado condiciona el proceso dado que depende de las

condiciones climáticas, favorables para épocas de verano, lo cual implica retrasos en la producción se presentan dificultades con el clima.

En el secado artificial, se usa un secador de bandejas de circulación de aire, también llamado secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimentos. El material se esparce uniformemente sobre bandejas de metal de 10-100 mm de espesor de lecho. El secado no debe superar los 60 °C para evitar que se inhiba la acción de la linamarasa sobre los glucósidos cianogénicos.

2.2.7 Molienda-tamizado. La molienda es la operación que determina el tamaño de las partículas. En esta etapa la materia prima pasa a través del molino que es el equipo usado para obtener la reducción de tamaño requerida. El molino es un equipo usado en diferentes materias primas y existen diversos diseños y tipos del mismo.

Dentro de los equipos existentes de molienda se encuentran el molino de aspas, molino de martillos y el molino-tamiz (molino que consta de aspas giratorias y por medio de cizalla con un tamiz realizan la reducción de tamaño), los cuales son muy usados cuando se muelen materiales de no altas durezas como es el caso de las hojas de yuca secas.

La harina obtenida es pasada por varios tamices o conjunto de ellos (Ro-tap). El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separa en dos o más fracciones, pasándolas por un tamiz. Un tamiz tiene cierto número de aberturas de igual tamaño que actúa como medidor múltiple de aceptación y rechazo, permitiendo que cada fracción obtenida sea más uniforme en tamaño que la mezcla original. Para el tamizado se utilizan una serie de tamices de prueba que tienen aberturas en una sucesión fija, la serie más usada es Tyler.

Existen equipos de molienda que tienen acoplado el sistema de tamizado, lo cual permite realizar estas dos operaciones en una misma etapa de proceso.

2.2.8 Empaque. La harina es empacada en bolsas de papel multipliego o bolsa de polipropileno; que son empaques de resistencia y confieren conservación al producto final.

El almacenamiento de la harina de hojas de yuca se realiza en forma de arrumes sobre estibas de madera, en bodega, permitiendo el acceso rápido y la limpieza; protegida de la humedad, de luz directa y de contaminación por cualquier tipo de insectos.

3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una revisión y evaluación de la información técnica suministrada en libros, artículos y revistas relacionados con el tema, donde se encontró la posibilidad de procesar hojas de yuca para consumo humano utilizando la lámina foliar.

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el desarrollo del proyecto se llevó un orden lógico y secuencial de cada una de las etapas de ejecución descritas en este capítulo; en la primera etapa se exponen las actividades necesarias para la elaboración de la harina de hojas de yuca, los equipos utilizados y las condiciones bajo las cuales fue posible la realización de los ensayos experimentales; en la segunda etapa, del producto obtenido se evaluó la digestibilidad de la proteína, materia seca y energía para determinar su potencial nutricional al ser incluido en la dieta, finalmente, se describen las actividades llevadas a cabo para determinar los indicadores técnicos y económicos de la obtención de harina de hojas de yuca.

3.1.1 Localización. La fase experimental se llevó a cabo en la planta piloto de procesamiento de yuca de CLAYUCA ubicada en las instalaciones del CIAT en Palmira, Valle del Cauca. Este centro de investigación tiene una latitud de 3° 32'N y una longitud 76° 27'O, se encuentra a una altura de 1.001 m.s.n.m y una temperatura promedio de 23 °C. Las pruebas físico-químicas de las materias primas y del producto final se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Yuca y en el Laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT. Los análisis microbiológicos se realizaron en el Laboratorio Microlab ubicado en la ciudad de Cali⁴. Las pruebas de digestibilidad se hicieron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira que tiene latitud a 3°32'22``N y una longitud 76°18'13``O, se encuentra a una altura de 1003 m.s.n.m y una temperatura 23,7 °C.

⁴ Laboratorio MICROLAB, Dra. Esperanza Cabrera, Avenida 2ª.IN #55N-37, Teléfono: 6816436-6834959.

3.1.2 Materia prima. La materia prima utilizada para el desarrollo de los ensayos, fue cosechada de los cultivares de CLAYUCA, ubicados en los lotes del CIAT y en los cultivares de Villarrica (Cauca).

En este estudio fueron utilizadas las variedades de yuca HMC-1 (ICA Armenia o ICA p-13), MCOL 1505 (Verdecita) y MCOL 2436, los cultivares se seleccionaron debido a su disponibilidad física y de información recopilada en investigaciones previas realizadas por CLAYUCA-CIAT.

3.1.3 Materiales y equipos. Los materiales y equipos utilizados en los ensayos durante el desarrollo del proyecto se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Listado de materiales y equipos.

ETAPAS	MATERIALES Y EQUIPOS
Recepción y pesaje	Hojas de yuca Báscula de 500 Kg Costales en polipropileno
Selección y adecuación	Tijeras Costales en polipropileno
Pesaje	Báscula de 500 Kg
Picado	Sertaneja (Marca Nogueira) Procesadora de alimentos (Disco de picado y Disco de rallado)(ESSEN)
Lavado y desinfección	Agua Solución Hipoclorito de sodio Recipientes plásticos
Secado	Termómetro Horno de circulación de aire (DESPATH) Bandejas de secado
Molienda	Molino de aspas (criba 0,5 mm) (Thomas Wiley) Molino de martillos (criba de 0,8 mm) (CLAYUCA) Molino-Tamiz (criba de 177 µm) (CLAYUCA)
Tamizado	Tamices (50, 70, 100, 140, 270, Fondo) (Tyler)
Empaque	Bolsas Polietileno
Pruebas de digestibilidad	Jaulas metabólicas Balanza analítica con precisión de 0.1mg (Mettler) Liofilizador Crisoles Congelador

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado para cada uno de los análisis comprende los siguientes métodos (cada uno con un nivel de significancia del 95%):

- Análisis de HCN: diseño experimental factorial de 2^2 .
- Etapa de secado: Completamente aleatorio con tres repeticiones.
- Etapa de picado: Completamente aleatorio con tres repeticiones.

3.2.1 Análisis estadístico. Con ayuda de la herramienta estadística SPSS 9.0 (nivel de confianza de 95%) fueron seleccionadas algunas de las operaciones más adecuadas en la determinación de la línea de proceso óptima para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.

3.3 OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA

Inicialmente se realizó una revisión y evaluación de la información técnica suministrada en libros, artículos y revistas relacionados con el tema, donde se encontró la posibilidad de procesar hojas de yuca para consumo humano utilizando la lámina foliar. Para la obtención de harina de hojas de yuca, se siguieron diferentes pasos para establecer una línea de proceso con operaciones definidas y obtener un producto en buenas condiciones de salubridad, calidad y funcionalidad.

Para determinar la línea de proceso, se utilizaron las plantas de las variedades MCOL 2436 y HMC 1 para realizar los ensayos que permitieron establecer el orden y las condiciones de operación del proceso, seguido a esto se utilizó la variedad de yuca MCOL 1505 para aplicar la línea de proceso encontrada y observar las diferencias en el contenido de proteína, extracto etéreo y cenizas (Wendee – Van Soest), como también la eliminación de HCN (ESSER, modificado para hojas) durante todo el proceso, para las plantas cosechadas a los tres y cinco meses de edad.

3.3.1 Análisis para la determinación de HCN en hojas de yuca. Inicialmente se estandarizó la técnica de análisis para la determinación de HCN en hojas de yuca, ya que el método ESSER, el cual es aplicado particularmente a productos derivados de las raíces de yuca, cuando se utiliza en hojas de yuca no permite que la lectura en el espectrofotómetro sea clara, debido a que las hojas presentan un alto contenido de clorofila la cual tiñe la muestra; por lo tanto fue necesario evaluar el uso de NaCl y carbón activado que permitieran realizar una mejor extracción del HCN para el análisis. Para este ensayo se utilizó la variedad de hojas de yuca disponible en el momento MCOL 2436 de seis meses de edad. Esto se realizó para estandarizar la técnica y así poder utilizarla en la determinación del contenido de HCN en hojas de yuca.

3.3.2 Variedad de yuca y tiempo de cosecha. Se seleccionaron tres variedades de yuca HMC 1, MCOL 1505 y MCOL2436, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Disponibilidad: Teniendo en cuenta la ubicación del proyecto. Las variedades son adaptadas a la zona 4 valles interandinos y fueron sembradas al inicio del proyecto, en las poblaciones de Villarrica (Cauca) y en el campo experimental de CIAT, Palmira (Valle del cauca).
- Tipo de variedad: Las tres variedades seleccionadas fueron variedades dulces con contenidos de HCN por debajo de 180 ppm en base seca (en raíces) (Domínguez, 1979). Dadas las condiciones de crecimiento de los cultivos de CLAYUCA en el CIAT, se estimó que el contenido de HCN en las hojas de yuca tendría valores similares al de las raíces.

3.3.3 Cosecha de follaje de yuca. Los cultivos de las variedades utilizadas se sembraron en un área de 50 m², a 1 x 20 m, es decir 1 m de separación entre caballones y 20 cm entre plantas, en este espacio se tienen 250 plantas.

Para la variedad MCOL 1505 el primer corte se realizó, de forma manual a una altura de 40 cm aproximadamente para garantizar el rebrote de la planta para la cosecha a los cinco meses. El follaje (tallos y hojas) se pesó para determinar la cantidad de follaje que se

obtiene por cosecha y luego determinar el porcentaje que de éste corresponde a lámina foliar.

3.3.4 Selección y adecuación. Se seleccionaron las hojas que presentaban el color verde característico de la hoja de yuca y se descartaron aquellas que presentaban daños y colores diferentes, es decir lámina foliar amarilla, café o con manchas. Para la adecuación de la materia prima se procedió a retirar tanto tallos como pecíolos.

A la lámina foliar obtenida de la variedad MCOL 1505 a los tres y cinco meses de edad se le realizó análisis del contenido de proteína (Método Kjendalh) y contenido de HCN (ESSER, modificado para hojas).

3.3.5 Limpieza y desinfección. Dado que la contaminación puede ocurrir por el manejo inadecuado del producto en cualquier fase de la cadena ya sea en la etapa productiva, poscosecha, transformación, comercialización o en su consumo, la lámina foliar fue lavada y desinfectada con el fin de que el producto final tuviera características microbiológicas adecuadas y aceptables de un producto para consumo humano. Para ello se usaron como parámetros los requerimientos de calidad que exige la norma NTC 267 para la harina de trigo ya que no existe una norma para harina de hojas de yuca, los análisis se realizaron en el laboratorio microbiológico Microlab.

Un lavado adecuado permite obtener un producto aséptico y una reducción de la población microbiana presente. En esta etapa de proceso se evaluó el uso o no de desinfectante para determinar el efecto de éste sobre la calidad microbiológica del producto obtenido con la variedad HMC 1 de tres meses de edad.

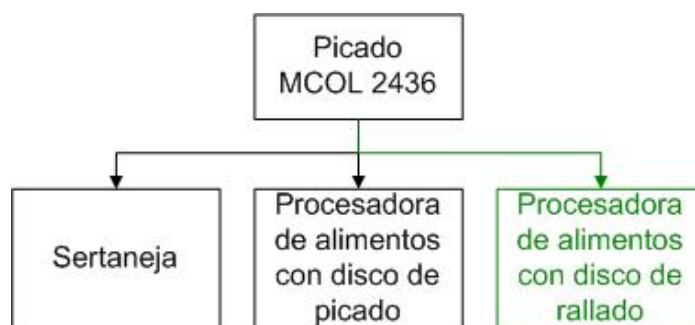
En la etapa de lavado y desinfección los equipos de proceso utilizados (picadora, recipientes plásticos y bandejas de secado) fueron lavados con jabón y para la desinfección se utilizó una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm.

Con base en los resultados obtenidos, los ensayos para la variedad MCOL 1505 a tres y cinco meses de edad se realizaron utilizando limpieza con agua y desinfección con hipoclorito de sodio.

3.3.6 Picado. En esta etapa se tuvo como finalidad reducir el tamaño de las hojas para facilitar su secado y eliminar el ácido cianhídrico. Se utilizó un diseño estadístico completamente aleatorio con tres repeticiones y un factor con tres niveles. En esta etapa se evaluó la técnica de picado por medio de la utilización de tres métodos: para el primer ensayo se empleó una picadora mecánica marca Nogueira, modelo Sertaneja Master, diseñada para picar palma, yuca, banano, y en general diversos tipos de forrajes, tiene una capacidad de 1.5 t / hora. Está formada por una tolva de alimentación acoplada a un cilindro ubicado horizontalmente, provisto de cuchillas de corte, las cuales rotan por medio de un motor de 2500 rpm y potencia de 9 HP. Para el segundo ensayo se utilizó un procesador de alimentos marca ESSEN, equipo muy utilizado en cocinas industriales, este equipo funciona con un motor de 5 HP y con un disco de picado. Para el tercer ensayo se utilizó el mismo equipo con un disco de rallado.

Para estos ensayos se utilizó la variedad de yuca MCOL 2436 de seis meses de edad. Primero se determinó el contenido de HCN de las hojas frescas y posteriormente se realizó el tratamiento de picado utilizando la sertaneja y la procesadora de alimentos usando el disco de picado y el disco de rallado (véase Figura 17). Inmediatamente después del picado, las muestras fueron llevadas a análisis de contenido de HCN con el método ESSER.

Figura 17. Pruebas de Picado.

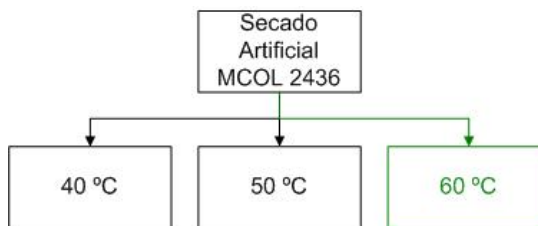


De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionó el procedimiento más adecuado para esta operación, el cual fue aplicado a la variedad MCOL 1505 a los tres y cinco meses de edad.

3.3.7 Secado. La etapa de secado se dividió en dos ensayos, el primero consistió en evaluar el uso de un secador de circulación de aire caliente a diferentes temperaturas y determinar la mejor condición utilizando como variable de referencia el contenido de HCN. El segundo ensayo comparó el resultado obtenido en el primer ensayo con el uso de secado solar, teniendo en cuenta como indicador el análisis microbiológico de las muestras secas.

La variedad de yuca MCOL 2436 de seis meses de edad se utilizó para comparar el secado usando un secador de circulación de aire caliente marca DESPATH modelo VF23, a 40 °C, 50 °C y 60 °C (véase Figura 18). En este secador, las hojas de yuca fueron esparcidas en bandejas con un espesor de 2 cm y un área transversal de 0,48 m², se secaron durante un período de tiempo de 18-20 horas, el tiempo se determinó según la información del laboratorio de calidad de yuca del CIAT. La comparación de la eficiencia de las tres temperaturas se logró evaluando la eliminación de HCN (Método ESSER) en el secado.

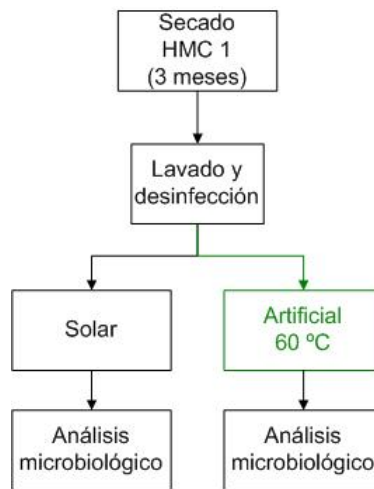
Figura 18. Pruebas de secado con el secador de circulación de aire caliente.



La variedad HMC 1 de tres meses de edad se utilizó en un nuevo ensayo para la comparación del secado solar con el mejor resultado del ensayo anterior. El secado solar se realizó en el patio de secado de raíces de yuca de CLAYUCA utilizando bandejas inclinadas, sobre las cuales se colocaba en promedio 2 kg de lámina foliar por bandeja, con un espesor de lecho de 5 cm y un área de 1,7 m². Las bandejas permanecieron expuestas al sol y fueron cubiertas con otra bandeja para protegerlas de contaminación ambiental y

evitar que fueran arrastradas por el aire. El tiempo de secado fue aproximadamente de 24 horas o más, dependiendo de las condiciones del clima. El secado con un secador de circulación de aire caliente de las hojas de la variedad HMC 1 de tres meses de edad se realizó de acuerdo a las condiciones encontradas en el primer ensayo y de esta forma establecer una comparación entre los dos tipos de secado teniendo como referencia los resultados de los análisis microbiológicos (métodos NTC 4519, ISO 7251, NTC 7698, NTC 7698, NTC 4574, NTC 4779, NTC 4679) del laboratorio Microlab (véase Figura 19).

Figura 19. Pruebas de secado con el secador de circulación de aire caliente vs. el secado solar.



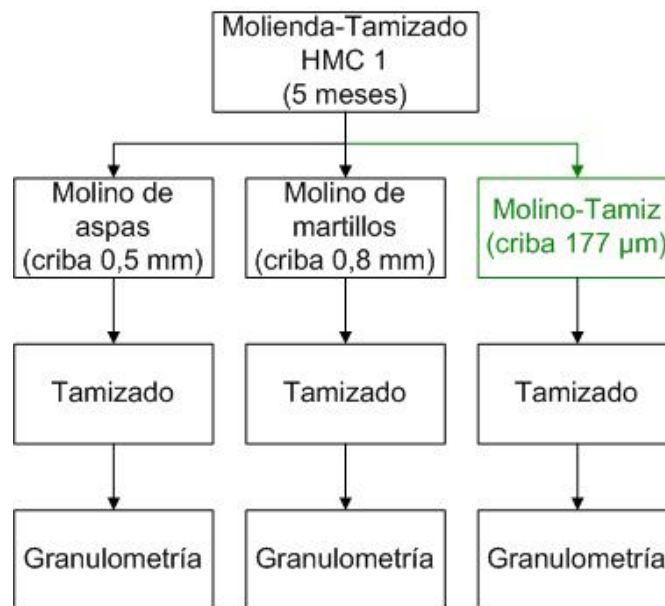
De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionó el procedimiento más adecuado para esta operación, el cual fue aplicado a la variedad MCOL 1505 a los tres y cinco meses de edad.

3.3.8 Molienda-tamizado. Con el objetivo de determinar una granulometría adecuada y comparable de una harina para consumo humano similar a la harina de trigo cuya granulometría, según la norma NTC 267, exige que el 98% de las partículas pasen la malla 212 μm . Para este ensayo se utilizaron las hojas secas de la variedad HMC 1 de cinco meses que se molieron utilizando el molino de aspas, el molino de martillos y el molino-tamiz.

El molino de aspas marca Thomas–Wiley, modelo 4 poseía una criba de 0,5 mm. El molino de martillos construido en la planta de procesos de CLAYUCA, tenía placas de acero templado fijas u oscilantes montadas en un eje de rotación las cuales giraban a velocidades variables y poseía una criba de 0,8 mm. El molino-tamiz construido en la planta de proceso de CLAYUCA, consistía en un cilindro con un eje central con paletas el cual rotaba a velocidad variable y poseía una criba de 177 μm .

Posterior a la molienda, se realizó el tamizado de las harinas obtenidas por medio de un equipo Ro-tap, el cual constaba de un juego de tamices marca Tyler de varios micrajes. Así, se utilizó como tamiz superior el No. 50 (300 μm), luego el No. 70 (212 μm) y seguidamente los No. 100 (150 μm), 140 (106 μm) y 270 (53 μm) y finalmente el fondo. La operación de tamizado se realizó por 15 minutos, al final de la cual se pesó cada tamiz determinado así la cantidad de material retenido en cada uno (véase Figura 20).

Figura 20. Pruebas de molienda-tamizado.



De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionó el procedimiento más adecuado para esta operación, el cual fue aplicado a la variedad MCOL 1505 a los tres y cinco meses de edad.

3.3.9 Empaque. Para el empaque se utilizó la técnica empleada por CLAYUCA para almacenar harina de raíces de yuca y de batata, por lo tanto se usaron bolsas de polipropileno.

3.3.10 Aplicación en otros trabajos. La harina de hojas de yuca de la variedad MCOL 1505 de cinco meses de edad se utilizó como materia prima para la elaboración de un producto precocido a partir de una mezcla de harinas, de cultivos fortificados, de frijol, arroz, maíz, batata y yuca. Este producto fue elaborado usando dos tecnologías de precocción: extrusión y secado en rodillos. La formulación de la harina precocida fue arroz 30%, maíz 15%, frijol 25%, yuca 17,5%, batata 10% y hojas de yuca 2,5%. Estos productos fueron elaborados en el marco del proyecto de grado de Ingeniería química de la Universidad del Valle: “Estudio de la Obtención de un Alimento Precocido a partir de Cultivos Biofortificados” realizado por los estudiantes Angélica Combariza y David Sánchez. En el Anexo A se pueden observar algunos de los resultados de esta aplicación.

3.4 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE HARINA DE HOJAS DE YUCA

3.4.1 Diseño experimental. Para la prueba de digestibilidad se utilizó un modelo de parcelas divididas con variables repetidas, se conformaron tres bloques compuestos por tres ratones cada uno, a los cuales les fue asignada una dieta de manera aleatoria. Dado que se tomaron mediciones de las variables repetidas en el tiempo, el modelo de análisis es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + (\beta T)_{ij} + d_k + (Td)_{jk} + e_{ijk} \quad i = 1, 2, 3$$
$$j = 1, 2, 3$$
$$k = 1, 2, 3, \dots, 8$$

En donde,

Y_{ijk} : Medición de la variable de respuesta tomada en el bloque i , tratamiento j y día k

β_i : Efecto del bloque i

T_j : Efecto del tratamiento j

$(BT)_{ij}$: Efecto de interacción entre el bloque i y el tratamiento j

d_k : Efecto del día k

e_{ijk} : Error experimental, cuya distribución es normal con promedio cero y varianza s^2 .

En donde Bloque * Tratamiento es el término de error adecuado para realizar la prueba F para Tratamientos, mientras que en las pruebas F para día y la interacción Tratamiento * Día se utilizó el error experimental.

Las hipótesis de diseño experimental fueron:

H_0 : No hay diferencias entre promedios de tratamientos.

H_0 : No hay diferencia entre promedios de días.

H_0 : La diferencia entre promedios de tratamientos no depende del día (interacción).

Todas las hipótesis son válidas. En la interpretación se debe tener en cuenta que tiene prioridad la interacción, pero como esta puede no ser significativa en todas las variables, se procede a interpretar sus componentes (tratamientos y días).

3.4.2 Análisis Estadístico. Con el fin de determinar la absorción de nutrientes de la harina de hojas de yuca de la variedad MCOL 1505 de tres meses de edad y compararla con la digestibilidad de una dieta de buena calidad, se realizó un análisis estadístico mediante la utilización del paquete estadístico SPSS versión 9.0.

3.4.3 Metodología. Para esta prueba se elaboraron tres dietas: una dieta control sólo con caseína (como fuente proteica), una dieta con caseína y con inclusión de 10% de harina de hojas de yuca y una dieta con caseína y con inclusión de 20% de harina de hojas de yuca. En ambas dietas se utilizó la variedad MCOL 1505 de tres meses de edad.

Todas las dietas fueron formuladas isoproteicas e isoenergéticas. La dieta control se

prepara con 12% de proteína (caseína), 10% de azúcar, 6% de aceite, 60% de almidón de maíz, 6% de fibra y 6% de premezcla de vitaminas y minerales. En el caso de las dietas con inclusión de harina de hojas de yuca se reemplazó la proteína (caseína) por la harina de hojas de yuca en porcentajes de 10 y 20%.

Las pruebas de digestibilidad se realizaron con ratas raza Wistar, y se distribuyeron en jaulas metabólicas, equipos que permitían hacer la recolección de excretas por medio de colectores especiales y tenían recipientes para suministrar el alimento y agua, de forma independiente, y a su vez controlar la cantidad consumida.

Para la realización de las pruebas se utilizó un período experimental de 15 días, con 7 días de acostumbramiento a las dietas y 8 días de toma de muestras. Durante el ensayo se evaluaron los tres tratamientos (control, inclusión 10% de harina de hojas de yuca e inclusión 20% de harina de hojas de yuca) con tres repeticiones por tratamiento. Se realizaron análisis de digestibilidad de proteína, materia seca y energía a las dietas suministradas, se utilizó la técnica del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. El período de acostumbramiento se realiza con el objeto de que los animales limpien su tracto digestivo y se acostumbren al tratamiento o dieta; en estos días el animal recibe el alimento pero no se tiene en cuenta pesos de sobrantes ni tampoco las excretas. A partir del octavo día se empiezan a tomar las excretas de cada rata.

Las excretas colectadas se limpiaron para evitar la presencia de pelos y partículas de alimento en ellas, en segundo lugar se pesaron y se registró el dato de cada día, las excretas se guardaban en un congelador en frascos que estaban debidamente marcados con el número de la rata y la dieta que esta se encontraba consumiendo. Al final de la toma de muestras cada frasco de excretas se liofilizó para obtener las muestras secas y sólidas y así efectuar los análisis de materia seca, proteína y energía.

Para determinar la digestibilidad aparente se utilizó como base el protocolo utilizado por la

Universidad Nacional de Colombia (Palmira) en el laboratorio de nutrición animal. La fórmula que se utiliza para hacer el cálculo de la digestibilidad es la siguiente:

$$\text{DigestibilidadAparente} = \frac{\text{Ingerido} - \text{Excretado}}{\text{Ingerido}} \times 100$$

3.5 MÉTODO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Se calcularon los costos de producción utilizando la línea de proceso definida en las pruebas anteriores y teniendo como base un modelo utilizado por CLAYUCA – CIAT manejado para la producción de harina de raíces de yuca por la Ingeniera Sonia Gallego de manejo poscosecha de CLAYUCA⁵.

⁵ Ingeniera Sonia Gallego. CLAYUCA – CIAT. Teléfono 4450000 ext. 3157-3159, Palmira, Colombia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE HCN EN HOJAS DE YUCA

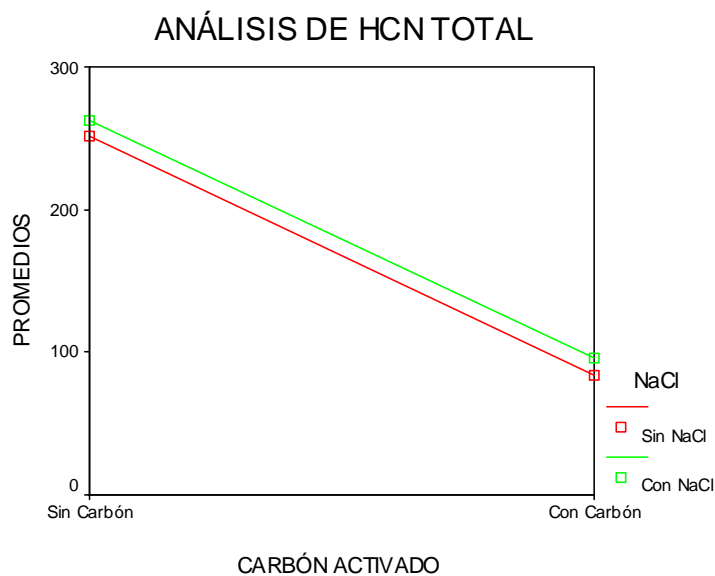
En la Tabla 5 se registran los promedios de los contenidos de HCN total y libre en hojas frescas de la variedad de yuca MCOL 2436, con las cuatro técnicas de análisis de determinación de HCN usadas: sin NaCl (2,5%) y sin carbón activado, sin NaCl (2,5%) y con carbón activado, con NaCl (2,5%) y sin carbón activado, con NaCl (2,5%) y con carbón activado.

Tabla 5. Comparación de técnicas de análisis utilizadas para la determinación de HCN en hojas de yuca.

Técnica de análisis	HCN total (ppm)	HCN libre (ppm)
Sin NaCl (2,5%) y sin carbón activado	251	48
Sin NaCl y con carbón activado	84	57
Con NaCl (2,5%) y sin carbón activado	262	46
Con NaCl (2,5%) y con carbón activado	96	58

La selección de la técnica más adecuada se realizó con base en los más altos contenidos de HCN obtenidos, es decir en donde se obtuvo una mayor extracción de este compuesto, dado que según Rosero, 2002, en las variedades dulces de yuca los contenidos de HCN en raíces son bajos pero pueden presentar valores altos en hojas. Así, las mejores técnicas de análisis fueron las que no utilizaron carbón activado e incluyeron o no NaCl (2,5%); siendo la técnica con la adición de NaCl (2,5%) y sin la adición de carbón activado la que presentó la mejor extracción de HCN. Basado en los análisis estadísticos con el método de Duncan se observaron diferencias significativas al comparar los métodos, como se observa en la Figura 21, donde el mejor resultado se presenta con el uso de NaCl (2,5%) y sin el uso de carbón activado, por lo tanto se seleccionó esta técnica de análisis para la determinación de HCN total en hojas de yuca.

Figura 21. Análisis estadístico de HCN total en la utilización de NaCl (2,5%) y carbón activado en el método ESSER [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]



Se omite el resultado del análisis de HCN libre, dado que no es relevante en el proceso por su facilidad para volatilizarse.

4.2 ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA

4.2.1 Tiempo de cosecha. Las variedades de prueba MCOL 2436 y HMC 1 fueron cosechadas a seis meses la primera variedad y a tres y cinco meses de edad la segunda, dado que, según Rosero, 2002, las plantas de yuca contienen una mayor proporción de nutrientes en las hojas durante los primeros seis meses de edad. Por otro lado, la variedad MCOL 1505 fue cosechada a tres y cinco meses de edad y se obtuvo un rendimiento de 16.000 kg/ha.

4.2.2 Selección y adecuación. La variedad MCOL 1505 fue evaluada en contenidos de HCN total y libre iniciales, para determinar la diferencia que presentan con el producto terminado. En la Tabla 6 figuran los resultados de los análisis realizados por el laboratorio de calidad de yuca para el HCN en el CIAT.

Tabla 6. Contenido de proteína y HCN libre y total de la variedad MCOL 1505 con edad de tres y cinco meses.

Variedad de yuca	Edad de cosecha (meses)	HCN total (ppm)	HCN libre (ppm)
MCOL 1505	3	555	21
	5	881	55

Para esta variedad se presenta un incremento del contenido de HCN total y libre al aumentar la edad de cosecha. Sin embargo, los contenidos de HCN en las hojas de yuca dependen del tipo de variedad y de las condiciones edafoclimáticas como fertilidad, manejo del suelo, disponibilidad de agua y clima, entre otras; por lo cual diferentes variedades cosechadas en una misma época pueden presentar diferentes contenidos de éste y una misma variedad cosechada a diferentes tiempos puede presentar este tipo de variaciones (Rosero, 2002).

4.2.3 Técnica de lavado y desinfección. En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la variedad HMC 1 a la edad de tres meses que se utilizó para evaluar la efectividad del secado solar frente a la utilización de un secador de circulación de aire caliente.

Tabla 7. Análisis microbiológico -lavado con agua y desinfección con hipoclorito- secado solar.

Análisis	Método	Parámetros según NTC 267 (Quinta actualización)	Resultado
Recuento de Bacterias aerobias mesófilas	NTC 4519	Hasta 300.000 UFC/g	190.000 UFC/g
Detección de <i>Escherichia coli</i>	ISO 7251	Menor 10 /g	POSITIVA
Recuento de Levaduras	NTC 7698	1.000 – 5.000 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Hongos	NTC 7698	1.000 – 5.000 UFC/g	35.500 UFC/g
Investigación de Salmonella 25g	NTC 4574	AUSENTE EN 25g	AUSENTE en 25g
Estafilococo coagulasa Positiva	NTC 4779	Menor 100 UFC /g	< 100 UFC/g
Bacillus cereus	NTC 4679	Hasta 1.000 UFC/ g	< 100 UFC/g

Se observa que las hojas secas con la técnica de secado solar presentaron *Escherichia coli* y un recuento de hongos de 35.500 UFC/g, valor que está por encima del parámetro según la

norma NTC 267. Lo anterior indica que el método de lavado y desinfección no fue suficiente para contrarrestar el efecto del ambiente sobre la materia prima, quedando rastros de impurezas que afectan la calidad del producto final.

En la Tabla 8 se muestran los resultados del análisis realizado para una muestra de hojas de la misma variedad, las cuales fueron lavadas y desinfectadas y que se les realizó un secado utilizando el secador de circulación de aire caliente. Se observó que en las hojas secas no hubo presencia de *Escherichia coli* y tampoco de hongos, demostrando que la desinfección con hipoclorito de sodio favorece la disminución de la población de los diferentes grupos de microorganismos al ser complementada con un método de secado adecuado para el proceso de obtención de harina de hojas de yuca. Así se determinó que, contrario al secado solar, el uso del secador de circulación de aire caliente permite una mejor calidad microbiológica al cumplir con los parámetros de calidad exigidos por la norma NTC 267 para un producto de consumo humano.

Tabla 8. Análisis microbiológico -lavado con agua y desinfección con hipoclorito- secador de circulación de aire caliente.

Análisis	Método	Parámetros según NTC 267 (Quinta actualización)	Resultado
Recuento de Bacterias aerobias mesófilas	NTC 4519	Hasta 300.000 UFC/g	187.500 UFC/g
Detección de <i>Escherichia coli</i>	ISO 7251	Menor 10 /g	Menor 10 UFC / g
Recuento de Levaduras	NTC 7698	1.000 – 5.000 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Hongos	NTC 7698	1.000 – 5.000 UFC/g	< 10 UFC/g
Investigación de Salmonella 25g	NTC 4574	AUSENTE EN 25g	AUSENTE en 25g
Estafilococo coagulasa Positiva	NTC 4779	Menor 100 UFC /g	< 100 UFC/ g
<i>Bacillus cereus</i>	NTC 4679	700 – 1.000 UFC/ g	< 100 UFC/ g

Adicionalmente, en todos los ensayos, los equipos y materiales se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio de 50 ppm.

4.2.4 Técnica de picado. En la Tabla 9 se muestran los promedios de los contenidos de HCN total y libre de la lámina foliar de la variedad de yuca MCOL 2436 a seis meses de edad, la cual fue utilizada para evaluar la técnica de picado más eficiente para la

eliminación de HCN. Se utilizó la sertaneja y la procesadora de alimentos con el disco de picado y con el disco de rallado.

Tabla 9. Comparación de la eliminación del contenido de HCN en lámina foliar de yuca utilizando diferentes equipos de picado.

Tratamiento	HCN total (ppm)	HCN libre (ppm)
Lámina foliar en fresco sin picar	262	46
Lámina foliar picada en sertaneja	205	48
Lámina foliar en procesadora de alimentos con disco de picado	185	53
Lámina foliar en procesadora de alimentos con disco de rallado	130	32

La técnica de picado más efectiva para la eliminación de HCN en la lámina foliar fue en la procesadora de alimentos con el disco de rallado; esto se debe a que hubo un mayor rompimiento de tejidos de las hojas, lo que favoreció la acción de la enzima linamarasa sobre los glucósidos cianogénicos (principalmente la linamarina), liberándose así en mayor proporción el cianuro ligado del material.

De acuerdo a trabajos realizados en el CIAT, el contacto de la enzima con la linamarina ocurre cuando los tejidos sufren daños mecánicos o por trituración o destrucción de la estructura celular de la planta (Domínguez, 1979).

En las Figuras 22 y 23 se observa que el ensayo con los tres equipos evaluados para la etapa de picado presentó diferencias significativas entre los datos de eliminación del HCN, haciendo que el picado en la procesadora de alimentos con el disco de rallado presentara los mejores resultados. De esta forma se tomó la decisión de utilizar, en esta operación, este equipo para definir la línea de proceso.

En el anexo B se pueden observar las diferencias por grupos realizadas con la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 95%, donde se comprueba que los diferentes tipos de picado proporcionan una mayor o menor eliminación del HCN, con diferencias altamente significativas.

Figura 22. Análisis estadístico de HCN total en la etapa de picado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]

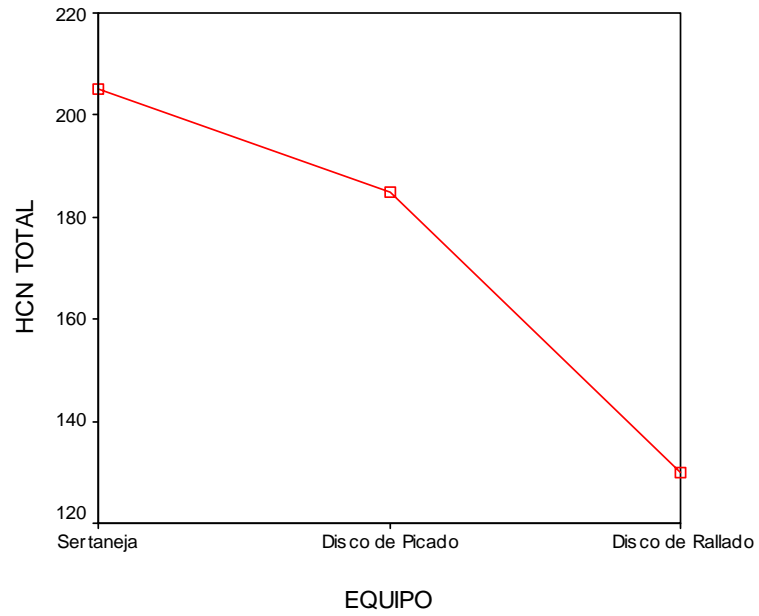
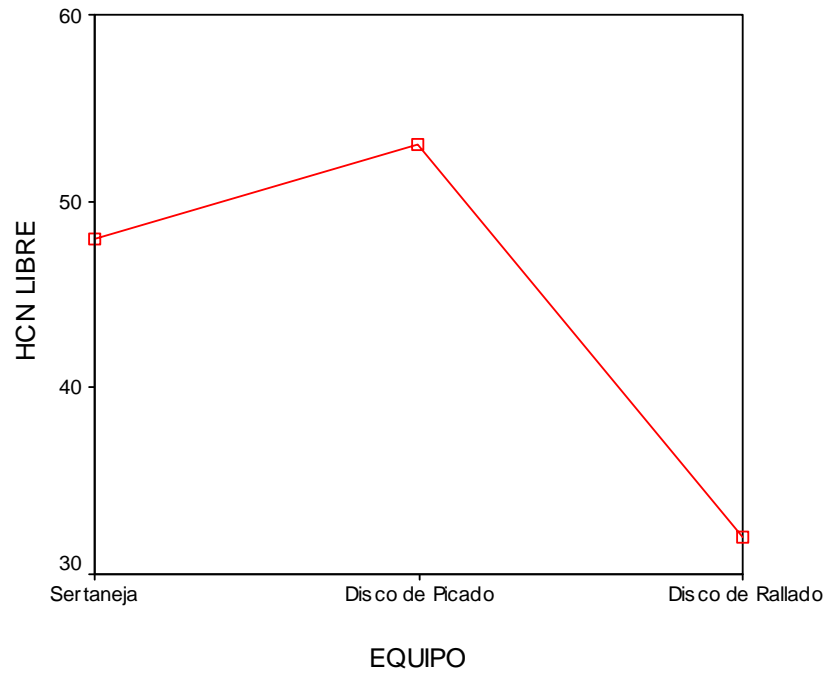


Figura 23. Análisis estadístico de HCN libre en la etapa de picado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]



4.2.5 Técnica de secado. En la Tabla 10 se muestran los promedios del ensayo de secado realizado para la variedad de yuca MCOL 2436 de seis meses de edad, la cual fue utilizada para evaluar el secado solar y la temperatura más adecuada en el secador de circulación de aire caliente de la lámina foliar de yuca.

Tabla 10. Comparación de la eliminación del contenido de HCN en lámina foliar de yuca utilizando tres temperaturas en secado artificial.

Temperatura de secado (°C)	HCN total (ppm)	HCN libre (ppm)
40	23	5
50	20	9
60	15	5

La lámina foliar fue lavada, desinfectada y picada en la procesadora de alimentos con el disco de rallado, condiciones encontradas como favorables en las etapas de operación previamente analizadas.

En los resultados se observa que utilizando una temperatura de 60 °C (espesor 2 cm y sección transversal 0,48 m²) se obtiene el más bajo contenido de HCN total y libre, por lo cual esta temperatura fue la seleccionada para esta etapa del proceso.

Los análisis estadísticos permitieron comprobar que 60 °C es la temperatura adecuada para el secado, ya que se presentaron diferencias significativas entre los datos comparados con el paquete estadístico SPSS 9.0, usando el método de Duncan.

En las Figuras 24 y 25 se observa que para el HCN total las diferencias entre los tres datos son más significativas que en el HCN libre, que no es determinante para escoger la temperatura de secado más adecuada dado que éste se volatiliza fácilmente.

En el anexo B se pueden observar las diferencias por grupos en la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 95%.

Figura 24. Análisis estadístico de HCN total en la etapa de secado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]

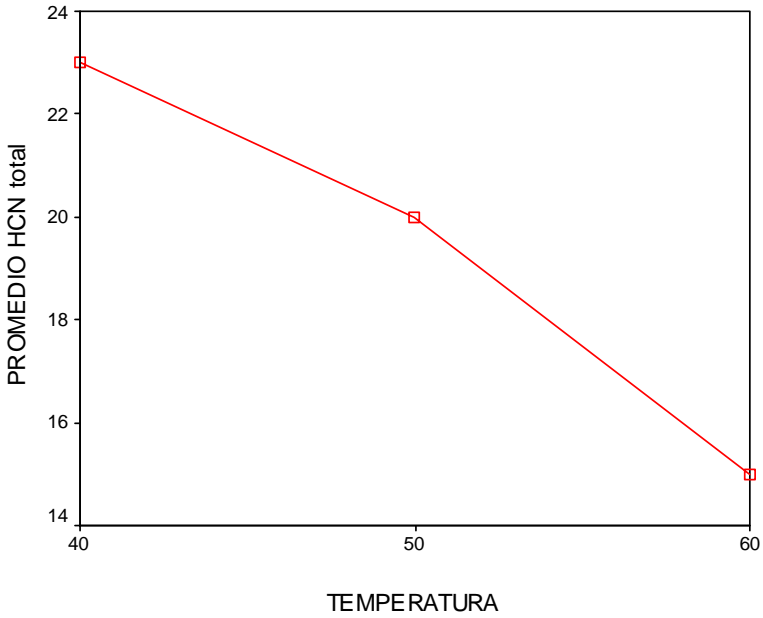
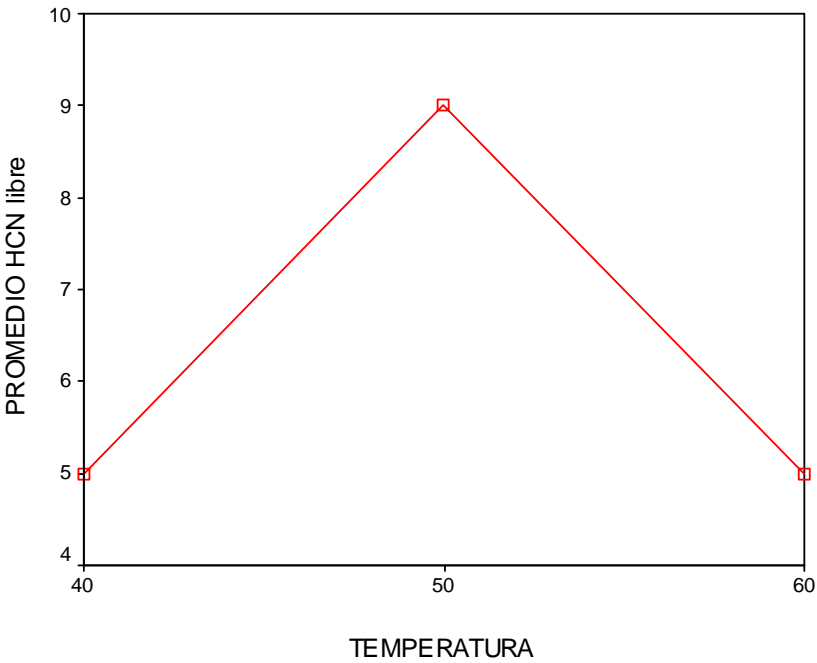


Figura 25. Análisis estadístico de HCN libre en la etapa de secado [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]



El secado solar, el cual se realiza a temperaturas entre 35-40 °C (espesor de lecho 5 cm y sección transversal de 1,7 m²), permite una mayor eliminación de HCN, ya que las hojas están expuestas al calor por mayor tiempo, favoreciendo así la reacción hidrolítica de la linamarasa para la transformación del glucósido cianogénico ligado en libre, ya que según Cooke y Maduagwu, 1978, los procesos de secamiento lentos a baja temperatura remueven el cianuro residual de manera más efectiva que los rápidos, sin embargo, en el caso de las hojas de yuca, a pesar de ser éste un buen método, microbiológicamente no resultaba conveniente para el producto final.

4.2.6 Técnica de molienda-tamizado. En la Tabla 11 se registran los resultados obtenidos del análisis granulométrico realizado a las harinas de lámina foliar de yuca obtenidas luego de utilizar los tres equipos de molienda: molino de aspas (criba 0,5 mm), molino de martillos (criba 0,8 mm) y molino-tamiz (criba 177 µm).

Los resultados muestran que de los tres molinos utilizados sólo el molino-tamiz (criba 177µm) permitió obtener una granulometría de acuerdo al parámetro que exige la norma NTC 267, esto es, que el 98% de las partículas pasen la malla de 212 µm, es decir el tamiz No. 70. Por ello se seleccionó este molino para la etapa de molienda-tamizado del proceso de obtención de harina de hojas de yuca en la determinación de la línea de proceso.

Este molino permite obtener dos tipos productos: una harina de partículas gruesas y una harina de partículas finas, en cantidades porcentuales de 53% y 47% respectivamente, lo que representa una diversificación en sus usos.

Así, de las harinas obtenidas utilizando este equipo, la harina fina presentó una granulometría donde el 94,3% pasó el tamiz No. 70, valor que, aunque difiere en un 3,8% del parámetro exigido por la norma, aún es aceptable para una harina de tipo comercial; la harina gruesa, por su parte, presentó una granulometría donde el 85% no pasó el tamiz No. 70.

Tabla 11. Granulometría de las harinas de lámina foliar de yuca utilizando tres tipos de molinos.

Muestra	No. de tamiz	μm	Retenido sobre malla (g)	Retenido sobre malla (%)	Sumatoria pasantes (%)	W (g) harina
Molino de aspás Criba 0.5 mm	40	425	0	0,0	44,4	144
	50	300	14	9,7		
	70	212	50	34,7		
	100	150	48	33,3	55,6	
	140	106	12	8,3		
	270	53	17	11,8		
	fondo	0	3	2,1		
Molino de martillos Criba de 0.8 mm	40	425	0	0,0	69,8	315
	50	300	144	45,7		
	70	212	76	24,1		
	100	150	51	16,2	30,2	
	140	106	23	7,3		
	270	53	15	4,8		
	fondo	0	6	1,9		
Molino-tamiz (finos)	40	425	0	0,0	5,7	383
	50	300	4	1,0		
	70	212	18	4,7		
	100	150	97	25,3	94,3	
	140	106	57	14,9		
	270	53	118	30,8		
	fondo	0	89	23,2		
Molino-tamiz (gruesos)	40	425	18	18,0	85	100
	50	300	32	32,0		
	70	212	35	35,0		
	100	150	10	10,0	15	
	140	106	2	2,0		
	270	53	2	2,0		
	fondo	0	1	1,0		

En las Figuras 26, 27, 28 y 29 se puede observar el comportamiento granulométrico de los pasantes (partículas mayores a 212 μm) y rechazos (partículas menores a 212 μm), de acuerdo a las indicaciones de la norma NTC 267.

Lo anterior permitió identificar el comportamiento de las partículas en la etapa de molienda-tamizado mediante el uso de cada uno de los equipos de molienda.

Figura 26. Porcentajes de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de aspas y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.

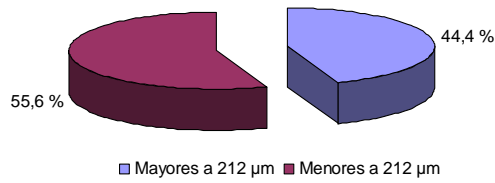


Figura 27. Porcentajes de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de martillos y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.

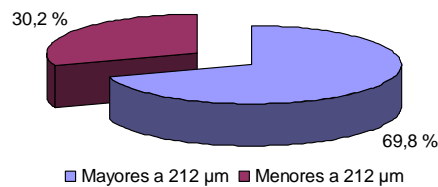


Figura 28. Porcentajes de acuerdo a la granulometría de las partículas gruesas obtenidas con el molino-tamiz y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.

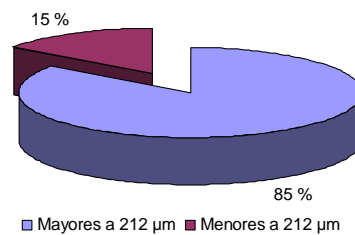
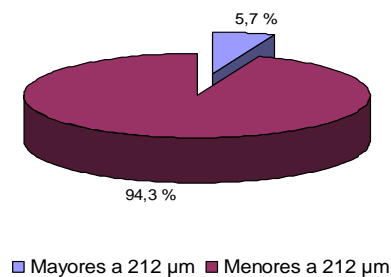


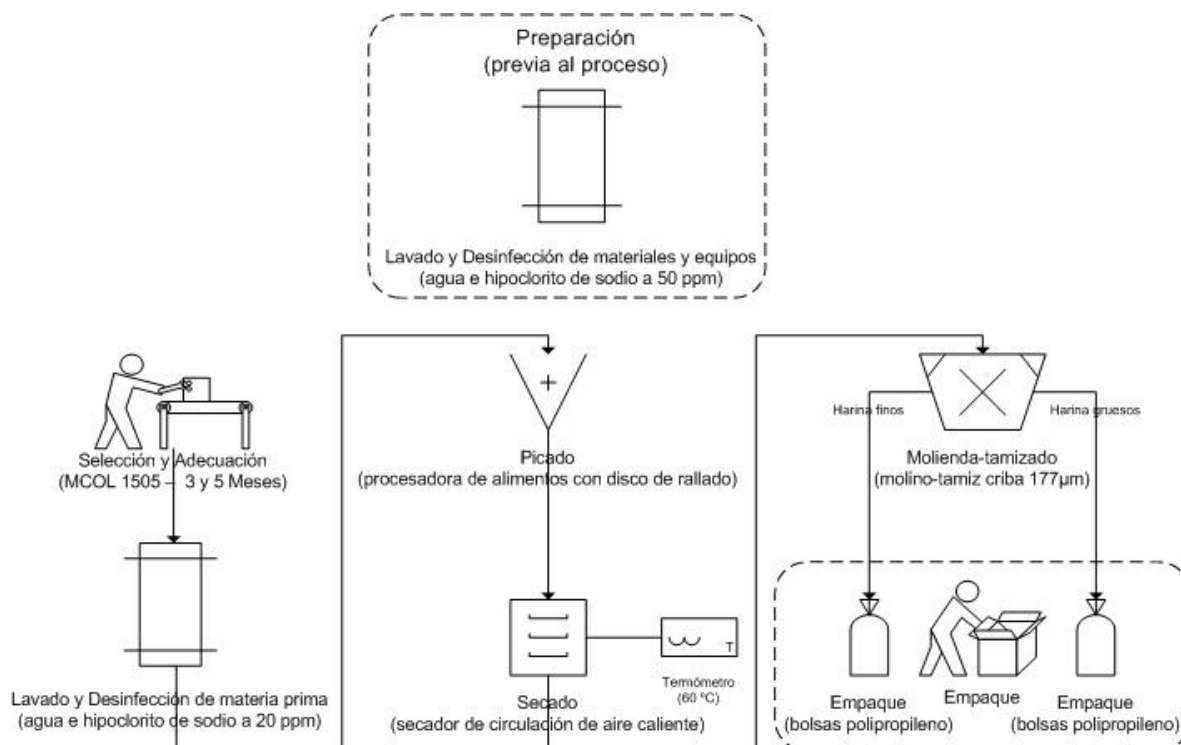
Figura 29. Porcentajes de acuerdo a la granulometría de las partículas finas obtenidas con el molino-tamiz y comparadas con la exigida por la norma NTC 267 para harina trigo.



4.3 LÍNEA DE PROCESO DETERMINADA

En la Figura 30 se observa la línea de proceso determinada con todas las especificaciones encontradas para cada operación durante el desarrollo de los ensayos.

Figura 30. Línea de Proceso.



Esta línea de proceso fue aplicada a la variedad de yuca MCOL 1505, cosechada a los tres y cinco meses de edad, para la obtención de harina de hojas.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA OBTENIDAS CON LA VARIEDAD MCOL 1505 A TRES Y CINCO MESES DE EDAD

En la Tabla 12 se observan los resultados del análisis proximal realizado a las harinas de hojas de yuca obtenidas de la variedad MCOL 1505 a tres y cinco meses de edad, respectivamente.

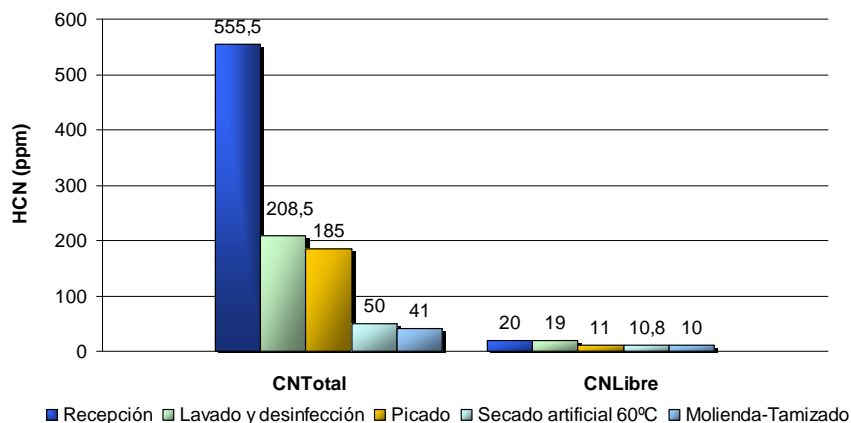
Tabla 12. Resultados de los análisis proximales de harina de hoja de yuca.

Muestra	Proteína (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	Humedad base (%)
MCOL 1505 (3 meses)	24,77	8,2	9,07	24,28	5,3
MCOL 1505 (5 meses)	26,16	7,66	8,34	26,19	4,0

Como se observa, la edad de cosecha influye sobre los contenidos de proteína y fibra cruda de la harina obtenida a partir de lámina foliar de yuca. Así, los contenidos de fibra y proteína aumentaron al aumentar la edad de cosecha del follaje de yuca. Los contenidos de cenizas son altos; explicables por la presencia en la lámina foliar de yuca de minerales tales como hierro, zinc, potasio, fósforo y calcio, entre otros. Se destaca el alto contenido de extracto etéreo que presentaron las harinas obtenidas. Según Buitrago, 1990, las hojas de yuca secas presentan un contenido de proteína de 22,7%, cenizas 10,9%, grasa 6,8%, fibra 11% con humedad base de 7,8%, valores que están muy cercanos a los obtenidos en la harina de hojas de yuca con la variedad MCOL 1505.

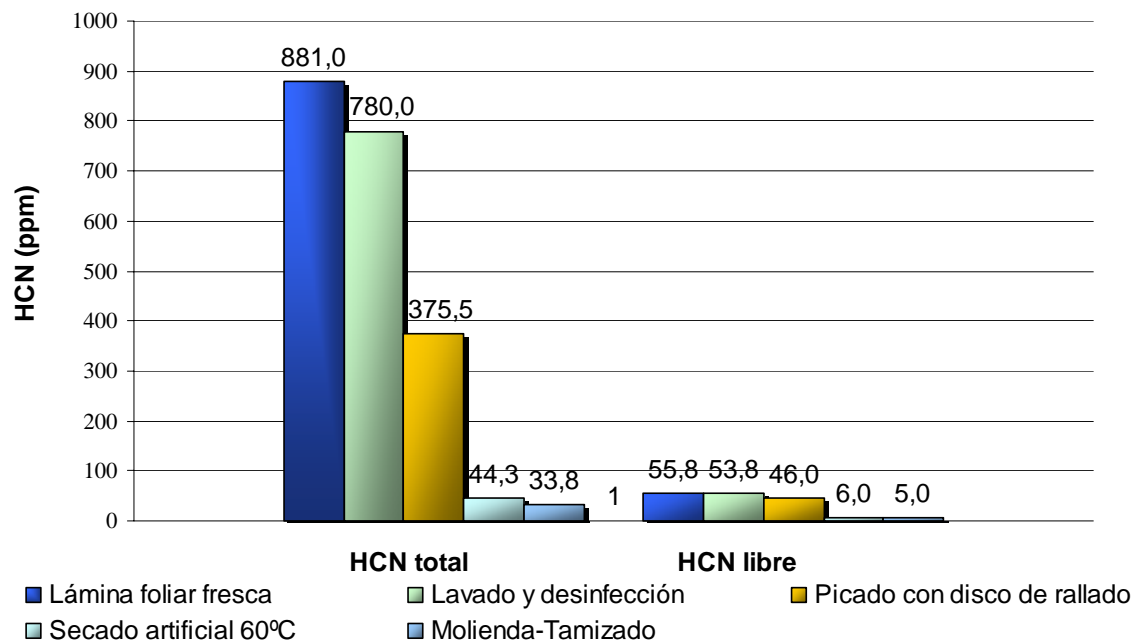
En las Figuras 31 y 32 se observa que aplicando la línea de proceso determinada, se logró que los contenidos de HCN se disminuyeran en gran proporción. En la Figura 31 el porcentaje de eliminación de HCN total entre la lamina foliar fresca y la harina obtenida es del 92,6%, lo cual indica que la línea de proceso permite una eficiente disminución del compuesto, favoreciendo de esta forma la calidad del producto final.

Figura 31. Eliminación de HCN de la variedad MCOL 1505 de tres meses de edad.



Como se observa en la Figura 32, en todas las etapas de proceso se produce una liberación de HCN. Analizando los resultados de los análisis de eliminación de HCN total, se observa que se pierde 11,46% en la etapa de lavado y desinfección, 57,3% en la etapa de rallado, 95% en la etapa de secado y 96% en la etapa de molienda-tamizado. Siendo en la etapa de rallado en donde se elimina el mayor porcentaje de HCN, seguida de la etapa de secado que con relación a esta elimina 88,2% de HCN.

Figura 32. Eliminación de HCN de la variedad MCOL 1505 de 5 meses de edad.



4.5 ANÁLISIS DE DIGESTIBILIDAD DE HARINA DE HOJAS DE YUCA

Para la realización de las pruebas de digestibilidad se utilizó la harina de lámina foliar de la variedad MCOL 1505 cosechada a tres meses de edad donde para su obtención se utilizaron las condiciones de operación más adecuadas en cada etapa del proceso obtenidas en el desarrollo experimental. Esta harina se utilizó para la elaboración de las dietas evaluadas con inclusión de 10 y 20% de este material.

De acuerdo al análisis estadístico realizado, en el Cuadro 2 se observan las diferencias altamente significativas que se presentaron entre cada una de las dietas, todas con una significancia del 100%.

Cuadro 2. Promedios obtenidos a partir de las dietas evaluadas y comparadas con la prueba de Duncan.

MATERIA SECA					
Prueba	Dieta	N	CONJUNTOS		
			1	2	3
Duncan	Inclusión 20% harina de hoja de yuca	3	76,46		
	Inclusión 10% harina de hoja de yuca	3		84,14	
	Control	3			87,96
	Significancia		1,000	1,000	1,000

PROTEÍNA					
Prueba	Dieta	N	CONJUNTOS		
			1	2	3
Duncan	Inclusión 20% harina de hoja de yuca	3	66,61		
	Inclusión 10% harina de hoja de yuca	3		76,79	
	Control	3			86,49
	Significancia		1,000	1,000	1,000

ENERGÍA					
Prueba	Dieta	N	CONJUNTOS		
			1	2	3
Duncan	Inclusión 20% harina de hoja de yuca	3	76,83		
	Inclusión 10% harina de hoja de yuca	3		85,38	
	Control	3			90,63
	Significancia		1,000	1,000	1,000

En las Figuras 33, 34 y 35 se presentan los datos obtenidos utilizando el paquete estadístico SPSS 9.0. En ellas se observa la comparación de las digestibilidades de materia seca, proteína y energía de las tres dietas evaluadas. Se observa en todos los casos, que la inclusión de harina de hojas de yuca disminuye la digestibilidad, siendo menor a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de harina de hojas de yuca en la dieta, presentando además diferencias significativas de acuerdo al tratamiento suministrado.

Figura 33. Análisis estadístico de la digestibilidad de materia seca de las dietas evaluadas
 [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]

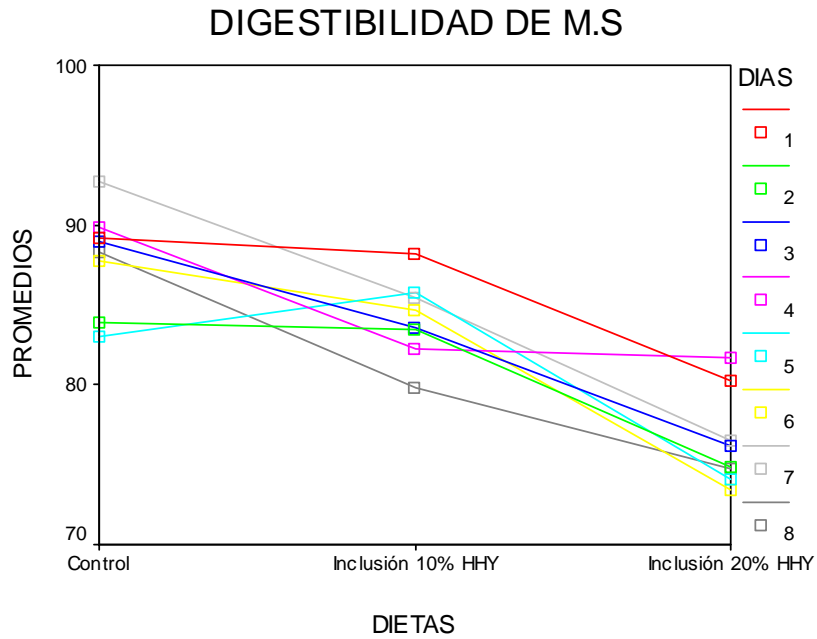
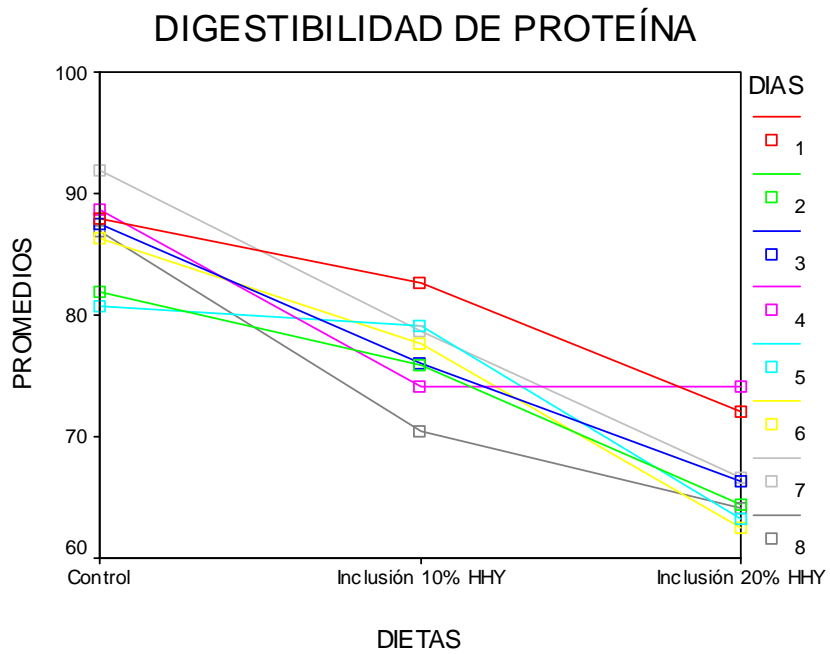
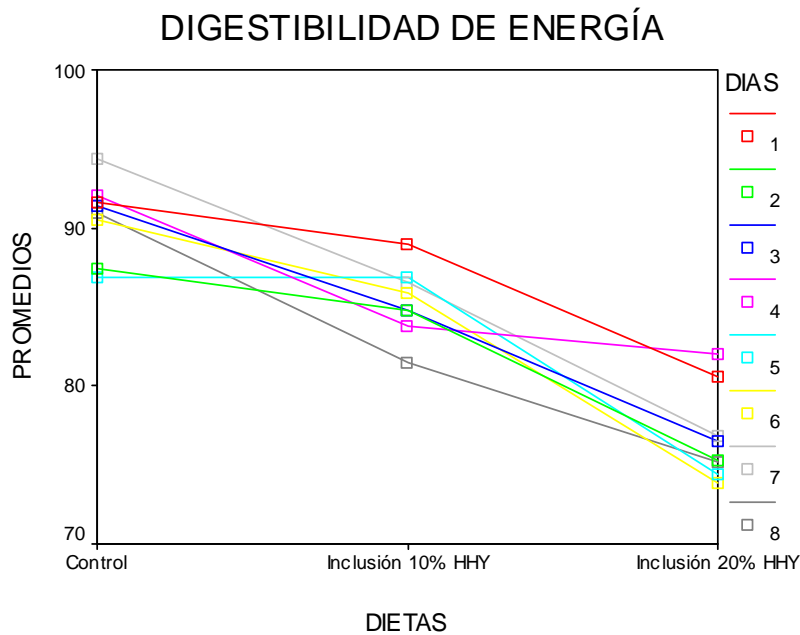


Figura 34. Análisis estadístico de la digestibilidad de proteína de las dietas evaluadas
 [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]



La digestibilidad, cuando los niveles de inclusión son del 10%, conserva en los tres casos niveles intermedios que permiten pensar que este nivel de inclusión es adecuado para su incorporación en la elaboración de un producto para consumo humano. De aquí que niveles menores de inclusión en las dietas pueden ofrecer mejores resultados, ya que la digestibilidad será mayor; por el contrario, niveles de inclusión mayores pueden presentar problemas, probablemente por altos contenidos de fibra, lo cual genera deficiencias digestivas del producto final y además disminuyen la digestibilidad del producto.

Figura 35. Análisis estadístico de la digestibilidad de energía de las dietas evaluadas [Imagen tomada del Paquete Estadístico SPSS 9.0]



En general, se presentan tendencias similares, en donde en cada día las dietas mantienen su "status", es decir, Control > HHY10% > HHY20%. Esto traduce que la interacción dieta x día no es significativa.

El porcentaje de digestibilidad de la harina de hojas de yuca como fuente total de proteína, es decir, con inclusión del 100% en la dieta, se calcula con la siguiente fórmula, que sigue el principio de aditividad:

$$\text{Dig.DietaConInclusion10\%HHY} = \text{dig.Control} * (\%inclusion) + \text{Dig.HHY} * (\%inclusion)$$

$$\text{Dig.HHY} = \frac{\text{dig.DietaConInclusion10\%HHY} - \text{dig.Control} * (\%inclusion)}{\%inclusionHHYenLaDieta}$$

Utilizando los valores promedio de digestibilidad de la dieta control y de la dieta con inclusión de harina de hojas de yuca 10%, la digestibilidad de la harina de hojas de yuca utilizada 100% como fuente de proteína en la dieta es:

$$\text{Dig.HHY} = \frac{84,14 - (87,97 * 0,9)}{0,1} = 49,67\%$$

Como se observa, si se utilizara la harina de hojas de yuca como fuente total de proteína, el porcentaje de digestibilidad es de 49,67%; por lo tanto, para aumentar este valor es recomendable mezclar con otras fuentes de proteína animal o vegetal para mejorar las cantidades del aminoácido limitante y complementar su valor nutricional.

Adicionalmente, en estudios realizados se encontró que la digestibilidad de la proteína de hojas de yuca estaba cercana al 80% en hojas jóvenes y 67% en hojas viejas, sin embargo el porcentaje de utilización es bajo, con 32% en hojas jóvenes y 39% en hojas viejas, aunque esto se podría mejorar si se mezclaran las hojas con alimentos ricos en metionina, que en este caso es el aminoácido limitante (Lancaster y Brooks, 1983).

Otra razón por la cual el valor de digestibilidad se puede presentar así, es por que cuando se calcula el valor de proteína cruda pueden ir incluidas sustancias nitrogenadas no proteicas que no significan mucho para la alimentación y por lo tanto disminuyen el porcentaje de digestibilidad⁶.

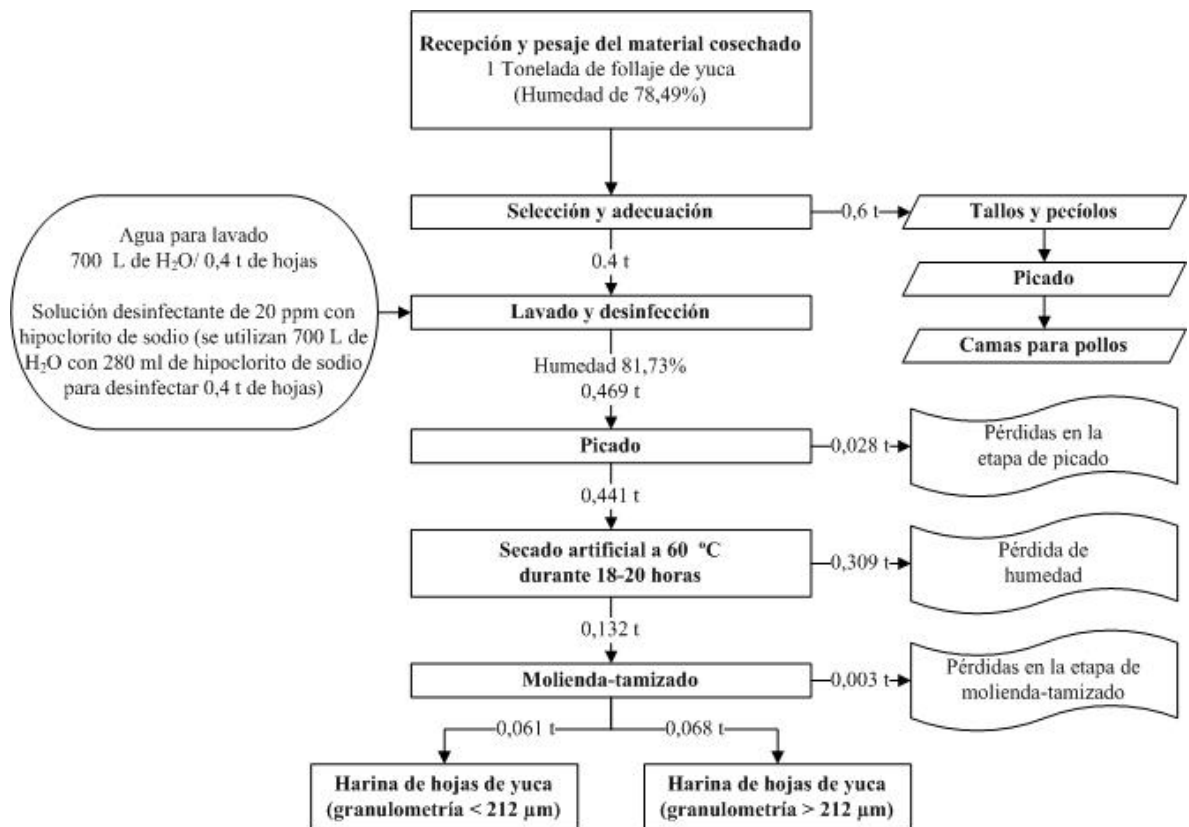
⁶ Comunicación personal. Dra. Luz Stella Muñoz. Directora Laboratorio de Nutrición Animal. Universidad Nacional de Colombia (Palmira), Teléfono: 2710000 Ext. 5259.

4.6 INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA PARA CONSUMO HUMANO

Para la determinación de los indicadores técnico-económicos de la producción de harina de hojas de yuca para consumo humano, se tuvieron en cuenta los aspectos técnicos relevantes del proceso y los costos de los equipos necesarios para que este proceso pudiera ser implementado por un productor de yuca forrajera que desee obtener harina de hoja de yuca para consumo humano, siendo esta una nueva opción de mercado para su agroindustria.

4.6.1 Evaluación de los aspectos técnicos de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano. Las etapas del proceso de obtención de harina de hojas de yuca son los definidos en la línea de proceso determinada (véase, Figura 36).

Figura 36. Línea de proceso para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.



4.6.2 Evaluación de los indicadores económicos de la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano. Partiendo del hecho de que el proceso estudiado fuera implementado por un productor de yuca forrajera, que vea en este mercado una nueva opción para comercializar el follaje de yuca diferente al sector de alimentación animal, se realizó la determinación de los costos para la producción de yuca forrajera por hectárea y los costos de los equipos en los cuales el productor de yuca tendría que invertir para poder obtener harina de hojas de yuca para consumo humano.

- **Costos de producción de yuca forrajera.** En las Tablas 13 y 14 se presentan los costos de producción de yuca forrajera por hectárea y por kilogramo de producto fresco.

Tabla 13. Costos de producción de yuca forrajera por hectárea, 100 toneladas de forraje fresco / año.

ITEM	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Análisis de suelos	Todos los minerales	9.030	9.030
Asistencia Técnica	Visita Técnica	27.000	27.000
Preparación Terreno	Todas las labores	150.000/ha	150.000
Semilla/Siembra	48.000 estacas	20	960.000
	Transporte	150.000	150.000
	25 jornales	11.900	297.500
Control de malezas	Todos los cortes	148.600	148.600
	8 jornales	11.900	95.200
Control de plagas y Enfermedades	Todas las aplicaciones	30.000	30.000
	2 jornales	11.900	23.800
Fertilización	Todas las aplicaciones	974.600	974.600
	8 jornales	11.900	95.200
Cosecha	24 jornales	11.900	285.600
Total			3.246.530

Fuente: CLAYUCA, 2005

Tabla 14. Costo por kg de producto fresco, según factor de conversión (9,09).

Producción kg/ha	Costo de producción/ha	Costo por kg de forraje fresco	Factor de Conversión
100.000	3.246.530	32,5	9,09

- *Costos necesarios para la obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano.* En la tabla 15 se presentan los costos de producción de harina de hojas de yuca a las condiciones evaluadas en este estudio, se debe tener en cuenta que muchos de los valores utilizados corresponden a las cantidades y costos manejados en CIAT por lo tanto los costos reales pueden incrementar el valor del producto.

Tabla 15. Información básica de los costos de producción de harina de hojas de yuca.

Producto principal:	Harina de hojas de yuca
INFORMACIÓN BÁSICA	(kg)
Follaje por tanda ⁽¹⁾	200,0
Producción de harina de hoja de yuca por tanda ⁽²⁾	22,0
Producción de harina de hoja de yuca por semana ⁽³⁾	66,0
Producción de harina de hoja de yuca por mes ⁽⁴⁾	264,0
Producción de harina de hoja de yuca por año ⁽⁵⁾	3168,0
FACTORES DECONVERSION	
Factor de conversión Follaje de yuca/Lámina foliar	1,80,
Factor de conversión Lámina foliar/Harina	5,02
Factor de conversión Follaje/Harina	9,09

En la tabla 16 se presentan los costos de los equipos de proceso y en la tabla 24 se registran los costos variables y fijos para el proceso de obtención de harina de hojas de yuca.

Tabla 16. Inversión inicial en equipos para producción de harina de hoja de yuca.

INVERSIONINICIAL ⁽⁶⁾	
Rubro	Total (Col\$)
Picadora	1.700.000
Horno	3.000.000
Molino tamiz	4.000.000
Báscula	700.000
INVERSION TOTAL PLANTA DE PROCESO	9.400.000

En la tabla 17 se encuentra la información de los costos referentes a materiales, equipos (con sus respectivos costos por depreciación y mantenimiento), mano de obra y otros insumos requeridos en el proceso.

Tabla 17. Información de los costos para la obtención de harina de hojas de yuca.

<i>Unidad de producción:</i>			
CONCEPTO	Unidad	kg de harina Costo unidad (Col\$)	unidades/kg de harina
Insumos			
Materia prima (Follaje de yuca) ⁽⁸⁾	kg	32,50	9,09
Agua de proceso ⁽⁹⁾	m3	1.300	0,012
Energía de proceso ⁽¹⁰⁾	kWh	196	2,15
Empaques	Unidad	300	0,01
Desinfectante (Hipoclorito de sodio) ⁽¹¹⁾	m3	1,77	0,0000025
Mano de obra ⁽¹²⁾	Hora-Hombre	1.875	1,13
COSTOS VARIABLES / Kg HARINA DE HOJA DE YUCA		Costo/Kg (Col\$)	Peso de los costos
Insumos			
Follaje de yuca		295	9,0%
Agua		16	0,5%
Energía		421	12,9%
Empaques		3	0,1%
Desinfectante (Hipoclorito de sodio)		0,0000044	0,00000014%
Subtotal insumos		735	22,5%
Mano de obra		2.119	64,8%
TOTAL COSTOS VARIABLES		2.854	87,3%
COSTOS FIJOS / Kg HARINA DE HOJA DE YUCA		Costo/Kg (Col\$)	Peso de los costos
Mantenimiento ⁽¹³⁾		119	3,6%
Depreciación ⁽¹⁴⁾		297	9,1%
TOTAL COSTOS FIJOS		415	12,70%
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN / Kg HARINA DE HOJA DE YUCA:		3.270	100%

Notas Aclaratorias:

- (1) Cantidad de follaje fresco de yuca a procesar para obtener lámina foliar con la que posteriormente se obtendrá harina.
- (2) Equivale a la producción de dos días por tanda.
- (3) Equivale a la producción de 3 tandas por semana.
- (4) Equivale a la producción de 4 semanas por mes.
- (5) Equivale a la producción de 12 meses por año.

- (6) El costo de los equipos utilizados en el proceso son estimados, ya que son equipos de laboratorio que están sujetos a frecuentes cambios.
- (7) Los costos de producción se obtienen para las condiciones del CIAT.
- (8) Precio del follaje fresco de yuca puesto en planta.
- (9) Precio del agua en zona industrial.
- (10) Precio de la energía en zona industrial.
- (11) Hipoclorito de sodio de concentración 5,25% P/V.
- (12) Se supone un jornal de trabajo de 8 horas diarias a \$15.000.
- (13) El costo del mantenimiento corresponde al 4% anual sobre la inversión inicial de los equipos.
- (14) La depreciación se calcula sobre 10 años, basado en la inversión inicial de los equipos.

Con base en los cálculos realizados a las condiciones planteadas en este estudio el costo de producción por kilogramo de harina de hojas de yuca fue de \$3.270. Sin embargo, los costos de este producto se podrían disminuir si se realizan algunos ajustes en el proceso como reducción en la inversión de equipos y utilización de fuentes de energía más económicas. El costo de mano de obra podría ser más barato, y para hacerlo más rentable sería preferible que el proceso lo realizara un productor de yuca forrajera, que no tuviera que pagar por el costo de materia prima si no que la tuviera disponible en cultivos propios.

5. CONCLUSIONES

- Para la obtención de harina de hojas de yuca se puede utilizar cualquier variedad, ya sea de yuca dulce o amarga; ya que los procesos de rallado y secado garantizan una eficiente eliminación de HCN, obteniéndose contenidos bajos en el producto final.
- Un lavado eficiente de las hojas y su posterior inmersión en piscinas de hipoclorito de sodio a una concentración de 20 ppm y adicionalmente el lavado y desinfección de equipos de proceso con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm permiten obtener una harina de hojas de yuca con calidad microbiológica aceptable.
- El tratamiento de rallado de hojas de yuca en comparación con el picado permite una mayor liberación de HCN, dado que con este tratamiento los tejidos de las hojas quedan más expuestas a la acción de la linamarasa sobre los glucósidos cianogénicos.
- La temperatura de secado de las hojas de yuca más adecuada es la de 60 °C, niveles superiores inhiben la acción de la enzima sobre los glucósidos cianogénicos. La liberación de HCN se favorece a largos tiempos de secado y temperatura alrededor de 60 °C cuando se utiliza un secador de circulación de aire caliente.
- Desde el punto de vista nutricional, el uso de harina de hoja de yuca para consumo humano es recomendable en niveles de inclusión máximo del 10%, ya que presenta digestibilidad mayor que la inclusión del 20%. Así, niveles de inclusión mayores producen niveles de digestibilidad menores y poco favorables para el consumidor.
- La inclusión de harina de hojas de yuca hace un buen aporte nutricional en la elaboración de otros alimentos en cuanto a niveles de proteína, vitaminas y minerales

importantes en la dieta de los humanos, fomentando así el uso de otras fuentes alimenticias como complemento nutricional para hacer de mejor calidad los productos finales.

- Bajo las condiciones en las que se elaboró la harina a partir de la lámina foliar de yuca, se encontró que, económicamente, los costos de producción son altos si el producto se dirige a personas de bajos recursos, sin embargo haciendo ajustes en el proceso y produciendo mayores volúmenes estos costos podrían ser menores.
- Para garantizar una harina de hoja de yuca para consumo humano que sea competitiva en el mercado es necesario utilizar sistemas de secado artificial e implementar buenas prácticas de manufactura en todo el proceso de obtención; con el objeto de minimizar los riesgos de contaminación y asegurar niveles altos de inocuidad y calidad del producto final.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios comparativos del proceso aplicado a diferentes variedades de yuca.
- Realizar estudios que demuestren la interferencia de los cortes del follaje a diferentes tiempos sobre la producción de raíces en la planta.
- Evaluar el efecto de las condiciones edafoclimáticas en las de hojas de yuca en el contenido de proteína y HCN a través de diferentes tiempos del cultivo.
- Sería importante realizar ensayos con inclusiones iguales o menores a 10% de harina de hoja de yuca en productos diferentes tales como arroz, pan, galletas, fideos que sean consumidos por algún grupo de personas específico, y de esta forma realizarles pruebas de aceptabilidad del producto.
- Realizar estudios utilizando otros equipos de secado, preferiblemente más rentables económicamente, de tal forma que sea aplicable a un productor tradicional de yuca.
- Dado que el uso de la hoja de yuca se debe a su contenido nutricional, se deben realizar estudios que determinen el efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la harina de las hojas de yuca y su composición en proteínas, vitaminas y minerales.
- Evaluar económicamente la producción de harina de hojas de yuca a gran escala.
- Se recomienda realizar estudios del uso de subproductos de proceso de obtención de harina de hojas de yuca para consumo humano (tallos y pecíolos), en la elaboración de camas para pollos y en dietas para la alimentación animal, dando así un uso eficiente a los residuos del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

BARBOSA, C. Aproveitamento da parte aérea da mandioca na alimentacao animal. Sao Paulo, Brasil. 1972. 71 p.

BECERRA, Juan; CASTAÑO, Maria Helena. Manejo Eficiente de la Vaca en Producción Dentro del Sistema de Doble Propósito. Centro de Investigación de Turipaná. Departamento de Teconologías de Información. CORPOICA, 2006. [citado 10 de febrero de 2006]. Disponible en Internet <www.turipana.org.co/manejo_vaca.htm>

BUITRAGO, Julián; GIL, Jorge Luís. La Yuca en la Alimentación Animal En: CEBALLOS, Hernán y OSPINA, Bernardo. La Yuca en el Tercer Milenio. Cali: CIAT, 2002. Pág. 28, p 531.

BUITRAGO, Julián. La Yuca en la Alimentación Animal. Cali. CIAT, 1990 p. 68-70

BUITRAGO, J. A; GIL, Jorge Luís; OSPINA, Bernardo. La yuca en la alimentación avícola. Cuadernos avícolas 14. FENAVI, FONAV. Bogotá: 2001. 47 p.

BLAS, C. *et.al.* Necesidades de treonina en animales monogasticos En: XVI curso de especialización. Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid. España. 2002.

BRANDÃO, Clara y BRANDÃO, Franco. Alternative Nourishment an educational program on nutrition based on regional solutions and simplified technology. CNBB. Brasil.1991.

CADAVID, L. F. Nutrición del cultivo de la yuca. Cali, CIAT, Colombia, 2001

CEBALLOS, Hernán; LÓPEZ, Arnobio y POSADA, César Augusto. Hidrólisis enzimáticas de seis fuentes proteicas. Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira). Acta Agronómica. 2004.

CEBALLOS, Hernán y DE LA CRUZ, Gabriel Antonio. Taxonomía y Morfología de la Yuca. En: CEBALLOS, Hernán y OSPINA, Bernardo. La Yuca en el Tercer Milenio. Cali: CIAT, 2002. p. 17-44.

CEBALLOS, Hernán y OSPINA, Bernardo. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CLAYUCA (Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca) La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, Colombia. 2002. 586p.

COCK H. James. La Yuca, Nuevo Potencial para un Cultivo Tradicional. 2ed. Cali, CIAT 1989, p 19-73. 84-89. ISBN 84-89206-82-1.

COCK, J. En Yuca: Investigación Producción y Utilización, Documento de trabajo # 50. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. s.f 656p.

COMBARÍZA, Angélica y SÁNCHEZ, David. Estudio de la obtención de un alimento precocido a partir de cultivos biofortificados. Cali, 2006. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

CONNOR, D.J., COCK, J.H. y PARRA, G.E. Response of cassava to water shortage. Growth and yield. Field crops research. Cap 4, p. 181-200.

COOKE, R.D, MADUAGWU, E.N. The effects of simple procesising on the cyanide content of cassava chips. Journal of food technology. 1978. Vol. 13. p 299-306.

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. [Citado 12 septiembre 2005]. Disponible en Internet <www.cci.org.co/manual/productos/tuberculos/yuca/yuca04.htm>

COURS, G. Le Manioc a Madagascar. Memoires de L'Institut Scientifique de Madagascar. 1951.

CLAYUCA. La hoja de yuca es una de las plantas más ricas del planeta. Periódico EL TIEMPO, sección ecologica. 2002. [Citado 15 noviembre de 2005]. Disponible en Internet <www.clayuca.org/articulos/hoja_yuca.htm>

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. Anuario estadístico 2004. [Citado 12 septiembre 2005]. Disponible en Internet <www.dane.gov.co>

DIAZ GOMEZ, Joaquina, Proteína: La ración recomendada. Unidad dietética y nutrición clínica. Hospital Universitario La Paz. Noviembre 2002. [Citado 12 julio 2005], Disponible en internet: <www.saludalia.com/saludalia/web.saludalia/vivir_sano>

DIT GIZI, Daftar komposisi bahan makanan Dit Gizi Dep. Kesehatan. Bhratosa, Yakarta, 1987.

ESSER, S.A. *Et al.* Studies of the quantification of specific cyanogens in cassava product and introduction of the new chromogen. J. Sci. Food. Agric. 63. p. 287-296.

DOMÍNGUEZ, Carlos E. YUCA: Investigación, Producción y utilización. Documento de trabajo #50. Programa de Yuca. Cali. CIAT. 1981. 656 p.

GOMEZ, G., SANTOS, J. y VALDIVIESO, M.. Utilización de la yuca en alimentación porcina. 1981.

GÓMEZ, Joaquina. Saludalia.com. Unidad Dietética Y Nutrición Clínica, Hospital Universitario La Paz. [citado 7 junio de 2005] Disponible en Internet <www.nacom.es/saludalia/web_saludalia/vivir_sano/doc/nutrición/doc/proteínas2.htm>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Harina de trigo. Quinta actualización. Bogota: ICONTEC, 1998. 9. NTC 276.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Compendio tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2005. 114p (NTC 1486, NTC 1160, NTC 1308, NTC 4490)

KENNEDY, David. El concentrado de hoja verde y hoja para la vida: Un manual práctico. 1993, p. 240.

LANCASTER, P. A., BROOKS J. E. Cassava Leaves as Human Food, The New York Botanical Garden. Economic Botany. 1983, p. 341 – 348

LE GUERROUÉ J. L., DOUILLARD, R. et. al. Proteínas de folhas de mandioca: Aspectos fisiológicos, nutricionais e importancia tecnológica. Arquivos de Nutricao e tecnologia, Curitiba, v. 14, n.2, 1996, p. 133 – 150.

Manihot esculenta Crantz.s.f. [en línea]. [citado abril 23 de 2005]. Disponible en Internet <www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/afris/es/data/535.htm>

MAEDA, E.E. Cassava leaves in the human diet. University of Agriculture Sokoine. Department of food science and technology. Morogoro, Tanzania. 1989.

MAYNARD, Leonard, LOOSLI, John. Nutrición Animal. tercera edición. Editorial Hispano-Americana. México, México D.F. 1975. 610 p.

MOORE, P.C. Uso del forraje de yuca en la alimentación de rumiantes. En: Memoria del seminario internacional de ganadería tropical. Acapulco. Mexico. 1976. p 47-62.

NECOCHEA, Carlos. Hoja de la Planta de Yuca Supera a la Espinaca. Revista Vida y Futuro. 2002 [citado 5 marzo de 2005]. Disponible en Internet <www.siamazonia.org.pe/detallesnoticias/octubre%202002/yuca_supera_espinaca.htm>

PADMAJA, G. Culpables de la toxicidad de la yuca: ¿los cianógenos o el bajo contenido de proteína?. Yuca boletín informativo, Vol. 19 No. 2, Diciembre 1995. pp. 4-5.

OSPINA, Bernardo, GIL, Jorge Luís, PELAEZ, Angélica María.. Establecimiento de alianzas sostenibles entre productores porcícolas y los proyectos agroindustriales. CLAYUCA, Febrero 2005

REED, J.D. et. al. Condensed tannins: a factor limiting the use of cassava foliage. J. Sci. Food agric.1982. p 213-220.

REVISTA INTERAMERICANA AMBIENTE Y SANEAMIENTO A&S. Maravillas Curativas de las Hojas de Yuca. Perú. 2004.p. 32-36.

ROJANARIDPICHED, Chareinsuk. Comprimidos de Hojas de Yuca como Fuente de Proteína en Tailandia. En: Yuca, Boletín Informativo. Cali: CIAT, N° 1, Enero/ Junio 1977. p. 6.

ROSAS, C., COCK, J.H. y SANDOVAL, G. Leaf roll in cassava. Experimental Agriculture. 1976. Cáp. 12, p. 395- 400.

ROSERO, Diego. Evaluación, Producción y Calidad del forraje de yuca Manihot esculenta Crantz con corte periódico manual. Palmira, Valle del Cauca, 2002, 65 p. Trabajo de grado

(Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

VARGAS, Clara Ruth, N.D. Revista Colombiana de Menopausia. Asociación de Menopausia. Vol. 2. Numero 2.1996 Resolución mingobierno N 107 de 1995.[Citado 11 julio 2005]. Disponible en Internet:< www.encolombia.com/meno_II_vol_II_editorial.htm>

UNICEF. Situación de la Infancia, Nutrición Infantil y Micronutrientes.[en línea].Colombia. UNICEF, 2005. [Citado 13 marzo 2005]. Disponible en Internet: <www.unicef.org.co/05-nut.htm>.

WANAPAT, M. Role of cassava hay as animal feed. En: 7th Regional Cassava Workshop (23 octubre-1 noviembre, 2002, Bangkok-Thailand). Memorias CLAYUCA, Palmira, CO. cd 1.

WARGIONO, J, RICHANA, N. HIDAJAT A. Contribution of cassava leaves used as a vegetable to improved human nutrition in Indonesia. 2002, 10p.

ANEXO A

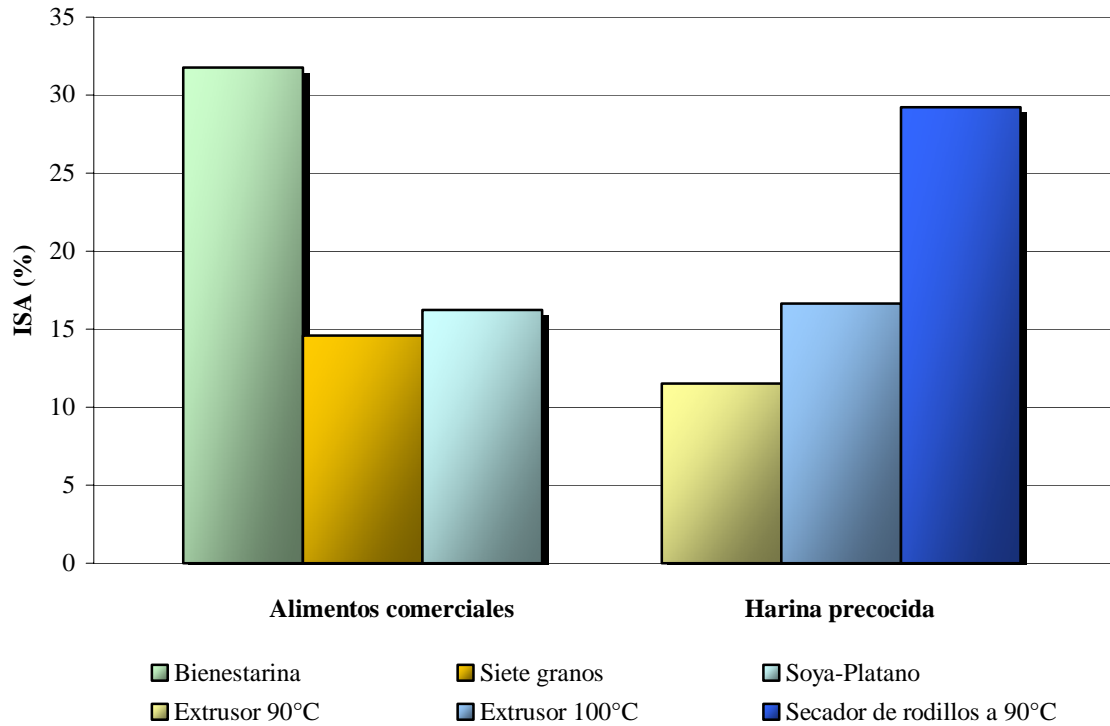
Evaluación de la incorporación de la harina de hojas de yuca obtenida en la elaboración de una harina precocida a partir de cultivos biofortificados

La harina de hojas de yuca obtenida se utilizó como materia prima en el marco de un proyecto de grado de Ingeniería Química de la Universidad del Valle. En este proyecto se utilizó la hoja de yuca en la elaboración de un producto precocido a partir de cultivos biofortificados, utilizando dos técnicas de precocción: secador de rodillos y extrusión. Así, la harina de hojas de yuca se mezcló con harinas de fríjol, arroz, maíz, batata y yuca en la siguiente proporción : harina de arroz (30%), maíz (15%), fríjol (25%), yuca (17,5%), batata (10%) y harina de hojas de yuca (2,5%), en el Cuadro 5 se observa la composición de cada una de las harinas utilizadas y su composición nutricional, como también la del producto final.

Cuadro 1. Composición nutricional de las materias primas y el producto final en la elaboración de harinas precocidas

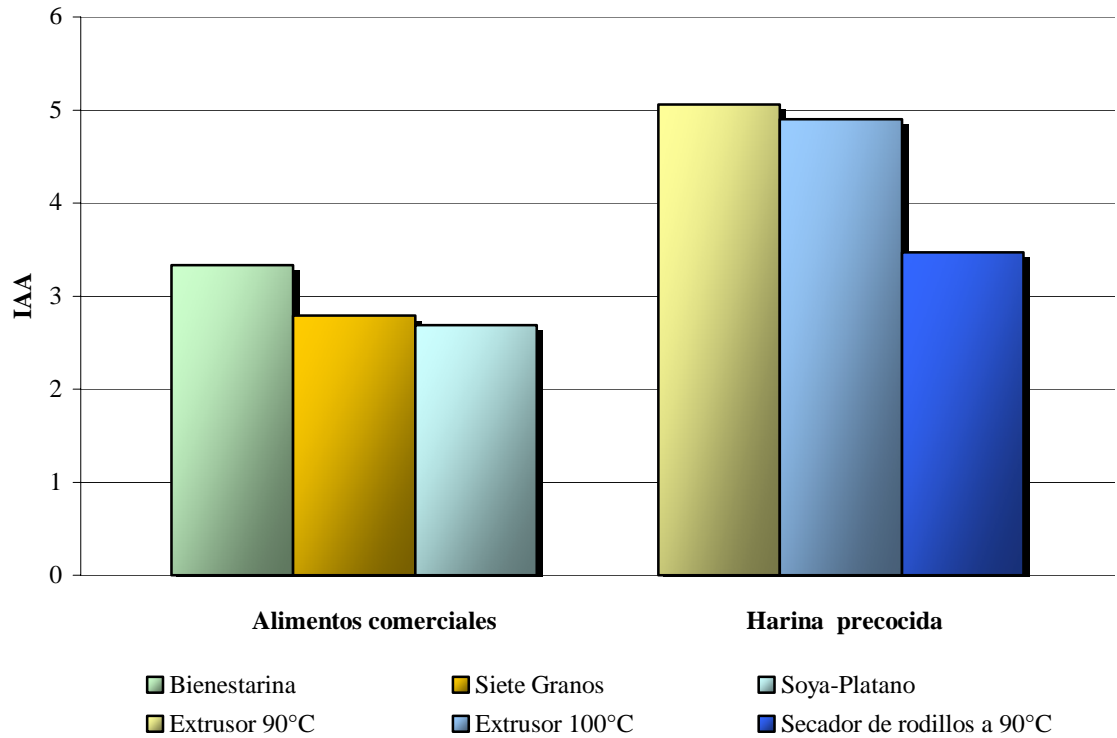
Descripción	Proteína (g/kg)	Cenizas (g/kg)	Extracto etéreo. (g/kg)	Fibra (g/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Arroz	56,77	5,60	6,60	21,80	358,45	16,07
Maíz	73,58	15,80	54,60	60,20	407,42	24,45
Batata	40,74	59,00	13,80	55,80	928,55	15,06
Fríjol	186,52	57,60	22,60	122,60	867,06	32,64
Yuca	31,57	33,20	8,00	34,20	468,63	13,39
Hoja yuca	255,02	75,80	84,80	346,40	399,96	42,39
Harina precocida	90,50	32,00	8,80	121,20	516,89	24,94

Figura 1. Comparación del índice de solubilidad del alimento con inclusión de harina de hojas de yuca con otros alimentos comerciales.



La harina fue extruída y secada en rodillos y el producto obtenido fue comparado con productos comerciales como bienestarina, siete granos y soya-plátano. En la figura 1 se observa que el índice de solubilidad en agua (ISA) de la harina precocida elaborada en el secador de rodillos fue similar al ISA obtenido para la harina de bienestarina, lo que indica que el producto presenta características favorables de solubilidad en agua y niveles altos de digestibilidad, ya que la solubilidad es un indicativo de esta.

Figura 2. Comparación del índice de absorción del alimento con inclusión de harina de hojas de yuca y otros alimentos comerciales.



Adicionalmente, como lo muestra la Figura 2, el índice de absorción de las harinas precocidas elaboradas es mayor al de las harinas comerciales (bienestarina, soya – plátano, siete granos), además se observa que el producto extruído presentó un valor de IAA mayor que la harina elaborada con secador de rodillos. De acuerdo a lo anterior, los más altos resultados representan una mejor capacidad de reconstitución en agua del producto.

ANEXO B

Análisis estadísticos utilizando la herramienta SPSS 9.0

- Análisis estadístico con SPSS 9.0 para el análisis de HCN en hojas de yuca (Diseño factorial 2²).

HCN Total

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
CARBON	0	Sin Carbón	6
	1	Con Carbón	6
NACL	0	Sin NaCl	6
	1	Con NaCl	6

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HCN Total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	443751,0 ^a	4	110937,8	5220,600	,000
CARBON	83166,750	1	83166,750	3913,729	,000
NACL	396,750	1	396,750	18,671	,003
CARBON * NACL	,750	1	,750	,035	,856
Error	170,000	8	21,250		
Total	443921,0	12			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)

3. CARBON * NACL

Dependent Variable: HCN Total

CARBON	NACL	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Sin Carbón	Sin NaCl	251,000	2,661	244,863	257,137
	Con NaCl	262,000	2,661	255,863	268,137
Con Carbón	Sin NaCl	84,000	2,661	77,863	90,137
	Con NaCl	96,000	2,661	89,863	102,137

Test Results para NaCl

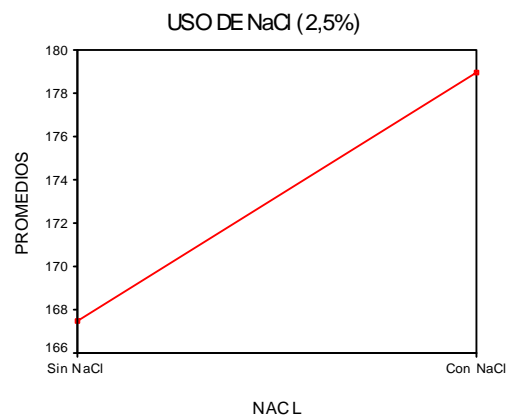
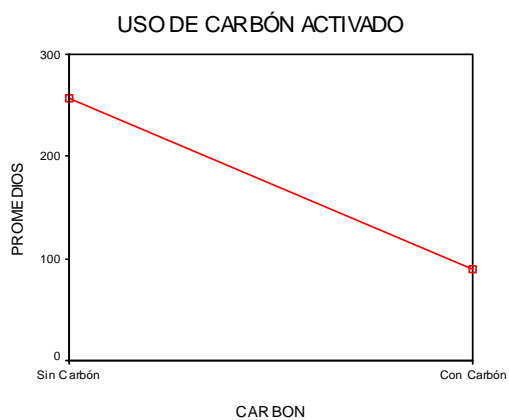
Dependent Variable: HCN Total

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	396,750	1	396,750	18,671	,003
Error	170,000	8	21,250		

Test Results para Carbón

Dependent Variable: HCN Total

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	83166,750	1	83166,750	3913,729	,000
Error	170,000	8	21,250		



HCN Libre

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Carbón	0	Sin Carbón	6
	1	Con Carbón	6
NaCl	0	Sin NaCl	6
	1	Con NaCl	6

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HCN libre

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Eta Squared
Corrected Model	338,250 ^a	3	112,750	6,938	,013	,722
Intercept	32760,750	1	32760,750	2016,046	,000	,996
CARBON	330,750	1	330,750	20,354	,002	,718
NACL	,750	1	,750	,046	,835	,006
CARBON * NACL	6,750	1	6,750	,415	,537	,049
Error	130,000	8	16,250			
Total	33229,000	12				
Corrected Total	468,250	11				

a. R Squared = ,722 (Adjusted R Squared = ,618)

3. Carbón * NaCl

Dependent Variable: HCN libre

Carbón	NaCl	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Sin Carbón	Sin NaCl	48,000	2,327	42,633	53,367
	Con NaCl	46,000	2,327	40,633	51,367
Con Carbón	Sin NaCl	57,000	2,327	51,633	62,367
	Con NaCl	58,000	2,327	52,633	63,367

Univariate Tests

Dependent Variable: HCN libre

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	330,750	1	330,750	20,354	,002
Error	130,000	8	16,250		

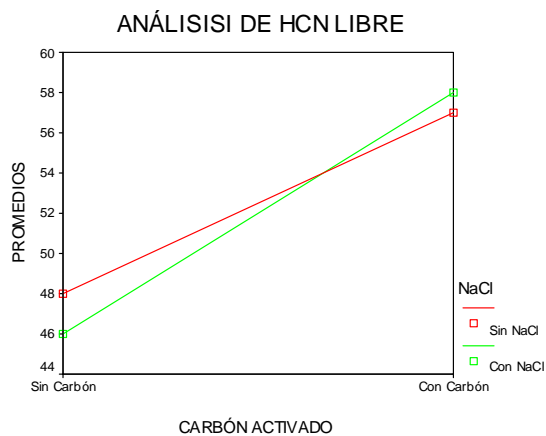
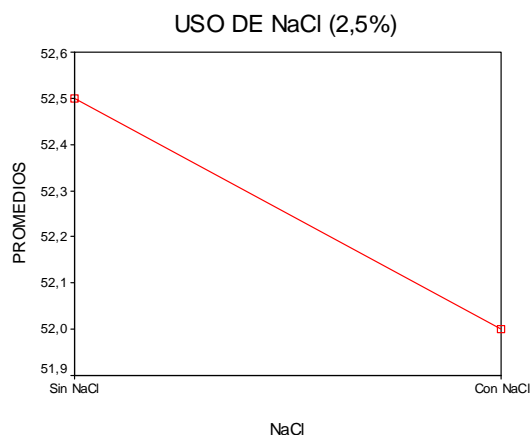
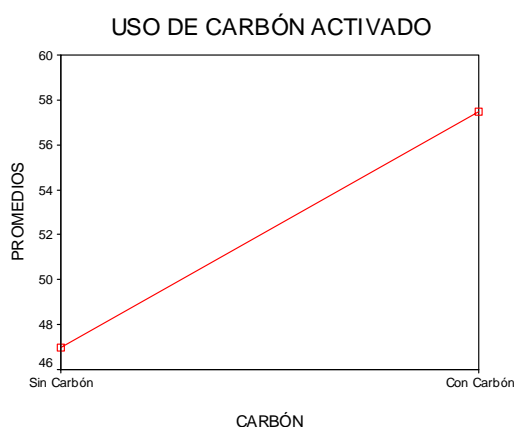
The F tests the effect of Carbón. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

Univariate Tests

Dependent Variable: HCN libre

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	,750	1	,750	,046	,835
Error	130,000	8	16,250		

The F tests the effect of NaCl. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.



- Análisis estadístico para la etapa de picado (Diseño Completamente aleatorio con tres repeticiones)

HCN TOTAL

Descriptives

HCNTOTAL

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Sertaneja	3	205,00	2,65	1,53	198,43	211,57	203	208
Disco de Picado	3	185,00	2,65	1,53	178,43	191,57	183	188
Disco de Rallado	3	130,00	2,65	1,53	123,43	136,57	128	133
Total	9	173,33	33,71	11,24	147,42	199,25	128	208

ANOVA

HCNTOTAL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9050,000	2	4525,000	646,429	,000
Within Groups	42,000	6	7,000		
Total	9092,000	8			

HCNTOTAL

		N	Subset for alpha = .05		
EQUIPO			1	2	3
Duncan ^a	Disco de Rallado	3	130,00		
	Disco de Picado	3		185,00	
	Sertaneja	3			205,00
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Ryan-Einot-Gabri el-Welsch Range	Disco de Rallado	3	130,00		
	Disco de Picado	3		185,00	
	Sertaneja	3			205,00
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

HCN LIBRE

Descriptives

HCN libre

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Sertaneja	3	48,00	4,58	2,65	36,62	59,38	44	53
Disco de Picado	3	53,00	6,24	3,61	37,49	68,51	46	58
Disco de Rallado	3	32,00	1,73	1,00	27,70	36,30	30	33
Total	9	44,33	10,30	3,43	36,42	52,25	30	58

ANOVA

HCN libre

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	722,000	2	361,000	17,190	,003
Within Groups	126,000	6	21,000		
Total	848,000	8			

HCN libre

EQUIPO		N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan ^a	Disco de Rallado	3	32,00	
	Sertaneja	3		48,00
	Disco de Picado	3		53,00
	Sig.		1,000	,230
Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Range	Disco de Rallado	3	32,00	
	Sertaneja	3		48,00
	Disco de Picado	3		53,00
	Sig.		1,000	,230

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

- Análisis estadístico para la etapa de secado

HCN Total

Descriptives

HCN total

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
40	3	23,00	3,00	1,73	15,55	30,45	20	26
50	3	20,00	1,73	1,00	15,70	24,30	18	21
60	3	15,00	2,00	1,15	10,03	19,97	13	17
Total	9	19,33	4,03	1,34	16,23	22,43	13	26

ANOVA

HCN total

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	98,000	2	49,000	9,188	,015
Within Groups	32,000	6	5,333		
Total	130,000	8			

HCN total

	Temperatura	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan ^a	60	3	15,00	
	50	3		20,00
	40	3		23,00
	Sig.		1,000	,163
Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Range	60	3	15,00	
	50	3		20,00
	40	3		23,00
	Sig.		1,000	,163

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

HCN Libre

Descriptives

HCN libre

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
40	3	5,00	2,65	1,53	-1,57	11,57	3	8
50	3	9,00	2,65	1,53	2,43	15,57	7	12
60	3	5,00	2,00	1,15	3,17E-02	9,97	3	7
Total	9	6,33	2,92	,97	4,09	8,57	3	12

ANOVA

HCN libre

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32,000	2	16,000	2,667	,148
Within Groups	36,000	6	6,000		
Total	68,000	8			

HCN libre

		N	Subset for alpha = .05
TEMPERATURA			1
Duncan ^a	40	3	5,00
	60	3	5,00
	50	3	9,00
	Sig.		,102
Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Range	40	3	5,00
	60	3	5,00
	50	3	9,00
	Sig.		,193

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.