

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

Andrés, Giraldo Toro*, Johanna Aristizábal Galvis**, Reinaldo Velasco Mosquera***

Palabras clave

Hojas de yuca, harina, consumo humano, digestibilidad.

Key words

Cassava leaves, flour, human consumption, digestibility.

Resumen

El objetivo del 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, 3,9 mg de hierro y 58 mg de vitamina C por cada 100 g 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 y del no uso 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 de forma solar y artificial.

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 en la implementación de 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.

* Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca. Cali-Colombia. Trabajo de grado realizado en Clayuca. 2006. E-mail: . andresgtoro@hotmail.com

** Ingeniera Química. Asistente de Investigación. Manejo Poscosecha Yuca. Clayuca, Cali-Colombia. E-mail: j.aristizabal@cgiar.org

*** Ingeniero Químico. Docente Universidad del Cauca. Popayán-Colombia. E-mail: rvelasco@unicauca.edu.co

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.

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 actúan como fuente de proteína sobrepasante, pues ésta pasa al intestino y es digerida por el animal y no es consumida por las bacterias ruminales¹. 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 humano². 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 y de alto valor nutricional con un contenido de proteína de 22,7%, cenizas de 10,9%, grasa de 6,8%, fibra de 11% tomados con una humedad base de 7,80%³ y 3,9 mg de hierro y 58 mg de vitamina C por cada 100g de proteína digerida⁴.

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. Las hojas de yuca pueden utilizarse en la preparación de sopas o guisos, ya sea en pequeños trozos o picadas. En países como Tailandia se observó la cantidad y la 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 proteína⁵. Las hojas y retoños se pican y, posteriormente, se secan en hornos. Después del secamiento las hojas se muelen hasta convertirlas en polvo⁶.

¹ Becerra J, Castaño MH. 2006. Manejo Eficiente de la Vaca en Producción dentro del Sistema de Doble Propósito. Centro de Investigación de Turipaná. Departamento de Tecnologías de Información. CORPOICA. [citado 10 de febrero de 2006]. Disponible en Internet www.turipana.org.co/manejo_vaca.htm

² Revista Interamericana Ambiente y Saneamiento A&S. Maravillas Curativas de las Hojas de Yuca. Perú. 2004.p. 32-36.

³ Buitrago JA, Gil JL; Ospina B. 2001. La yuca en la alimentación avícola. Cuadernos avícolas 14. FENAVI, FONAV. Bogotá. 47 p.

⁴ DIT GIZI, Daftar komposisi bahan makanan Dit Gizi Dep. Kesehatan. Bhratosa, Yakarta, 1987.

⁵ Rojanaridpiched Ch. 1977. Comprimidos de Hojas de Yuca como Fuente de Proteína en Tailandia. En: Yuca, Boletín Informativo. Cali: CIAT, N° 1, Enero/ Junio 1977. p. 6.

⁶ Lancaster PA, Brooks JE. 1983. Cassava Leaves as Human Food, The New York Botanical Garden. Economic Botany. p. 341 – 348.

En otros países 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 de vitaminas y minerales en el organismo⁷.

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. 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, esta enzima actúa sobre los glucósidos cianogénicos presentes en la planta (Linamarina y Lotaustralina) y dan origen al ácido cianhídrico libre. El ácido cianhídrico es liberado naturalmente por la acción de la enzima con la linamarina, el contacto de la enzima ocurre cuando los tejidos de la planta sufren daños mecánicos por trituración o por destrucción de la estructura celular.

Normalmente, los trozos de yuca secados al sol contienen niveles de cianuro menores a los obtenidos 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 efectiva⁸.

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 extrudidos.

Materiales y Métodos

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. 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 Cali. Las pruebas de digestibilidad se hicieron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

⁷ Brandão C, Brandão F. 1991. Alternative Nourishment an educational program on nutrition based on regional solutions and simplified technology. CNBB. Brasil

⁸ Domínguez CE. 1981. YUCA: Investigación, Producción y utilización. Documento de Trabajo #50. Programa de Yuca. Cali. CIAT. 656 p.

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 empleadas 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.

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 2².
- Etapa de secado: Completamente aleatorio con tres repeticiones.
- Etapa de picado: Completamente aleatorio con tres repeticiones.

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.

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.

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 determinar la digestibilidad aparente se empleó 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:

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

Resultados y Discusión

Determinación de HCN en Hojas de yuca

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 se observan en la Tabla 1.

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 investigaciones⁹, 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; siendo la técnica con la adición de NaCl (2,5%) y sin carbón activado la que presentó la mejor extracción de HCN.

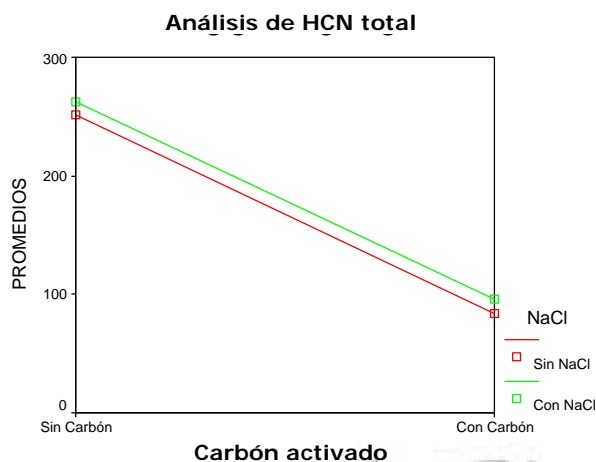
Tabla 1. Contenido de HCN total y libre.

| 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 |

Basándose en los análisis estadísticos con el método de Duncan, se observaron diferencias significativas al comparar los métodos, como se aprecia en la Figura 1, 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.

⁹ Rosero D. 2002. Evaluación, Producción y Calidad del forraje de yuca *Manihot esculenta* Crantz con corte periódico manual. Palmira, Valle del Cauca, 65 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Figura 1. Evaluación de HCN con diferentes técnicas.



Obtención de harina de hojas de yuca

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.

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 2 figuran los resultados de los análisis realizados por el laboratorio de Calidad de Yuca para el HCN en el CIAT.

Tabla 2. HCN Inicial en MCOL 1505

| 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 variaciones¹⁰.

¹⁰ Rosero D. 2002. Ibid

Técnica de lavado y desinfección: 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 se encuentran en la Tabla 3.

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 267¹¹. 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 3 se presentan los resultados del análisis realizado para una muestra de hojas de la misma variedad, las cuales fueron lavadas y desinfectadas y se les realizó el secado con 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 267¹² para un producto de consumo humano.

Tabla 3. Análisis Microbiológico. Secado solar y secado artificial.

| Análisis | Parámetros según NTC 267 (quinta actualización) | Resultado secado solar | Resultado secado artificial |
|--|---|------------------------|-----------------------------|
| Recuento de bacterias aerobias mesófilas | Hasta 300.000 UFC/g | 190.000 UFC/g | 187.500 UFC/g |
| Detección de <i>Escherichia coli</i> | Menor 10 UFC/g | POSITIVA | Menor de 10 UFC/g |
| Recuento de Levaduras | 1.000 – 5.000 UFC/g | < 10 UFC/g | < 10 UFC/g |
| Recuento de Hongos | 1.000 – 5.000 UFC/g | 35.500 UFC/g | < 10 UFC/g |
| Investigación de Salmonella 25g | Ausente en 25g | Ausente en 25g | Ausente en 25g |
| Estafilococo coagulasa positiva | Menor 100 UFC/g | < 100 UFC/g | < 100 UFC/g |
| Bacillus cereus | 700 – 1.000 UFC/g | < 100 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.

Técnica de picado: 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 observan en la Tabla 4. Se utilizó la sertaneja y la procesadora de alimentos con el disco de picado y con el disco de rallado.

¹¹ Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Harina de trigo. Quinta actualización. Bogotá: ICONTEC, 1998. 9. NTC 267.

¹² ICONTEC. 1998. Ibid

Tabla 4. HCN con equipos de picado

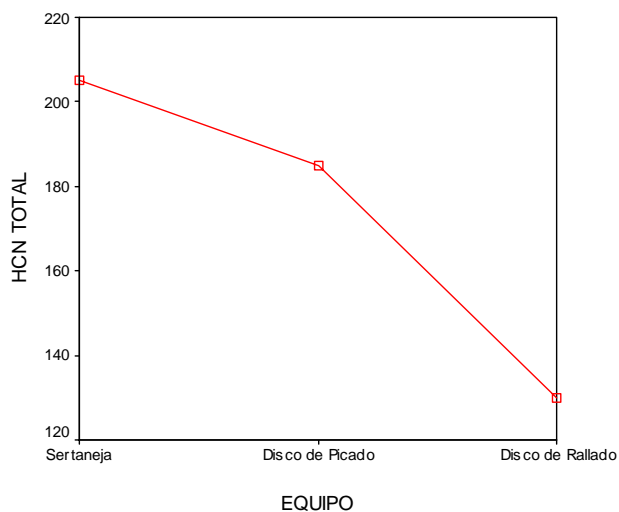
| Tratamiento | HCN total (ppm) | HCN libre (ppm) |
|--|-----------------|-----------------|
| Lámina foliar en fresco sin picar | 262 | 46 |
| Lámina foliar picada en sertaneja | 205 | 48 |
| Lámina foliar en procesadora de alimentos con disco de picado | 185 | 53 |
| Lámina foliar en procesadora de 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 planta¹³.

El ensayo con los tres equipos evaluados para la etapa de picado presentó diferencias significativas entre los datos de eliminación del HCN como se observa en la Figura 2 y 3, 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.

Figura 2. HCN total con tres equipos evaluados.



¹³ Domínguez CE. 1981. Op. Cit.

Técnica de secado: 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 se observan en la Tabla 5.

Figura 3. HCN libre con tres equipos evaluados.

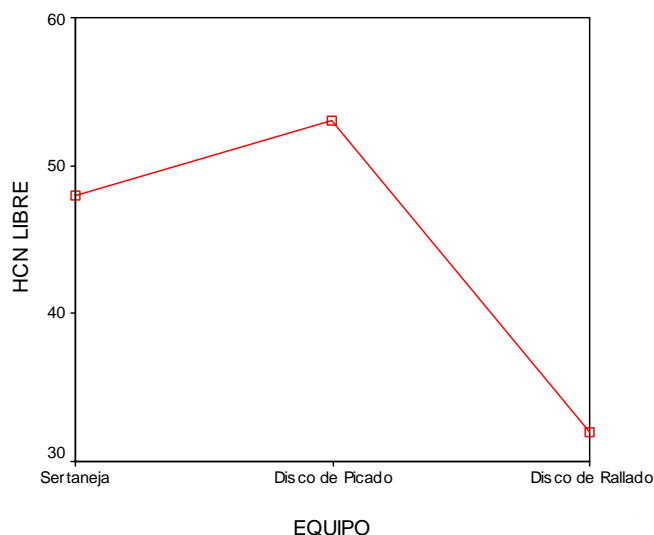


Tabla 5. Valores de HCN con T de secado.

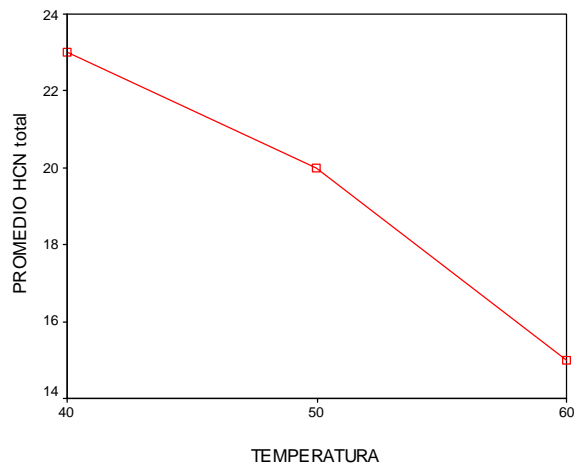
| Temperatura de secado (°C) | HCN total (ppm) | HCN libre (ppm) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| 40 | 23 | 5 |
| 50 | 20 | 9 |
| 60 | 15 | 5 |

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, usando el método de Duncan, en la Figura 4 se observa el comportamiento de la eliminación del HCN.

Figura 4. Resultados del análisis de HCN Total a tres temperaturas de secado en un secador de circulación de aire caliente.



El ensayo con los tres equipos evaluados para la etapa de picado presentó diferencias significativas entre los datos de eliminación del HCN como se observa en las Figuras 2 y 3, 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.

Técnica de molienda-tamizado: De tres molinos utilizados sólo el molino-tamiz (criba 177 μ m) permitió obtener una granulometría de acuerdo al parámetro que exige la NTC 267¹⁴, como se observa en la Figura 1, esto es que el 98% de las partículas pasen la malla 212 μ m, 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, este molino permite obtener dos productos: una harina gruesa y una harina fina en porcentajes de 53% y 47% respectivamente. Así, de las harinas obtenidas utilizando este equipo, la harina fina tuvo una granulometría en la cual el 94,3% pasaron el tamiz No. 70 valor que, aunque difiere en un 3,8% del parámetro exigido, es aceptable para una harina comercial; y la harina gruesa tuvo una granulometría en la que el 85% no pasaba el tamiz No. 70.

Caracterización de la Harina Obtenida

Del análisis proximal realizado a la harina de hojas de yuca obtenida de la variedad MCOL 1505 a 3 y 5 meses se observa que 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.

¹⁴ ICONTEC. 1998. Op. Cit.

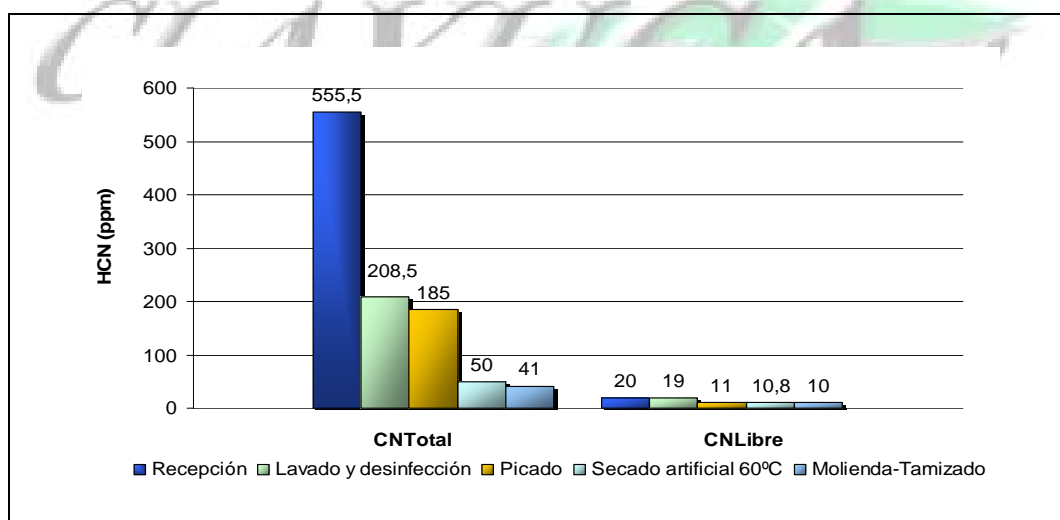
Según Buitrago¹⁵, las hojas de yuca secas presentan un contenido de proteína de 22,7%, cenizas 10,9%, grasa 6,8%, fibra 11% con humedad base de 7,8%, valores que están muy cercanos a los obtenidos en la harina de hojas de yuca con la variedad MCOL 1505. En la Tabla 6 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 6. Análisis proximal harina de hojas de yuca.

| Muestra | Proteína % | Cenizas % | Extracto etéreo % | Fibra Cruda % | Mat. Seca % |
|---------------------|------------|-----------|-------------------|---------------|-------------|
| 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 |

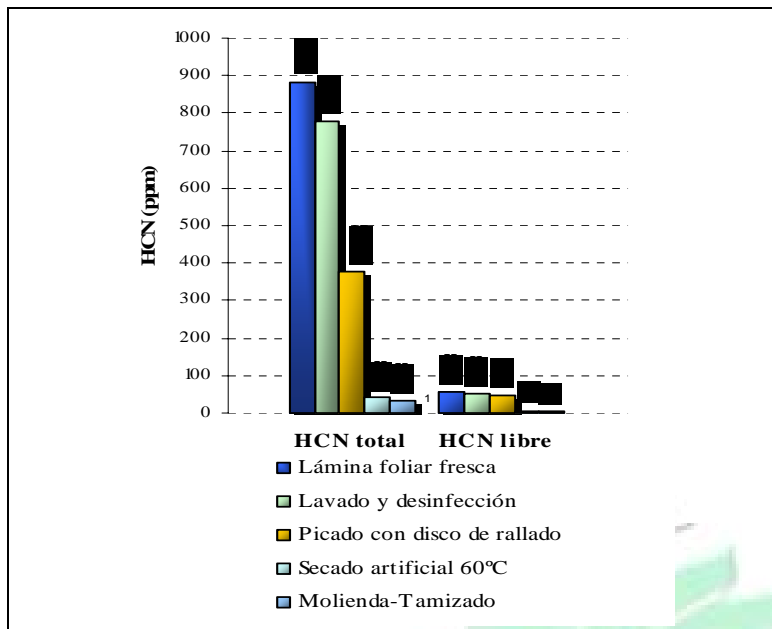
En las Figuras 5 y 6 se observa que aplicando la línea de proceso determinada, se logró que los contenidos de HCN se disminuyeran en gran proporción. En la Figura 5 el porcentaje de eliminación de HCN total entre la lamina foliar fresca y la harina obtenida es del 92,6%, lo cual indica que la línea de proceso permite una eficiente disminución del compuesto, favoreciendo de esta forma la calidad del producto final.

Figura 5. Eliminación de HCN con secado artificial para la variedad MCOL 1505 de 3 meses de edad.



¹⁵ Buitrago J. 1990. La Yuca en la Alimentación Animal. Cali. CIAT, p. 68-70.

Figura 6. Eliminación de HCN con secado artificial para la variedad MCOL 1505 de 5 meses de edad.



Como se observa en la Figura 6, 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.

Análisis de Digestibilidad de la Harina

En 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 de 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 la Tabla 7 se observan las diferencias altamente significativas que se presentaron entre cada una de las dietas, todas con una significancia del 100%.

Tabla 7. 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 7, 8 y 9 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 7. Análisis estadístico de la digestibilidad de materia seca de las dietas evaluadas.

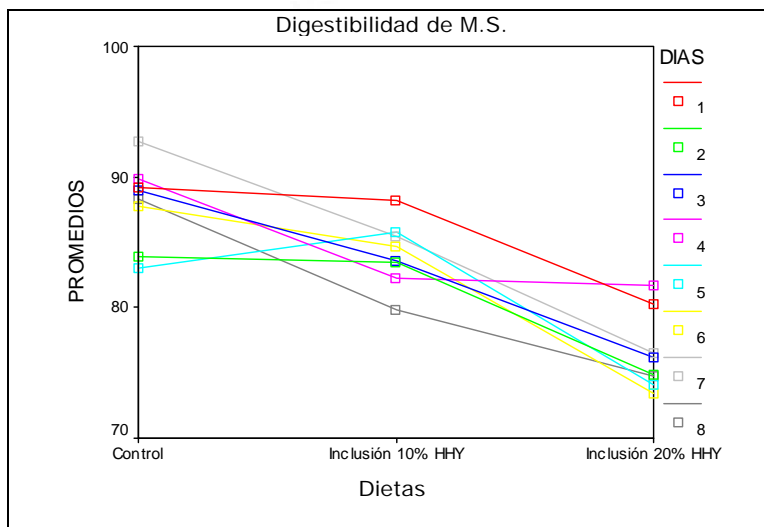


Figura 8. Análisis estadístico de la digestibilidad de proteína de las dietas evaluadas.

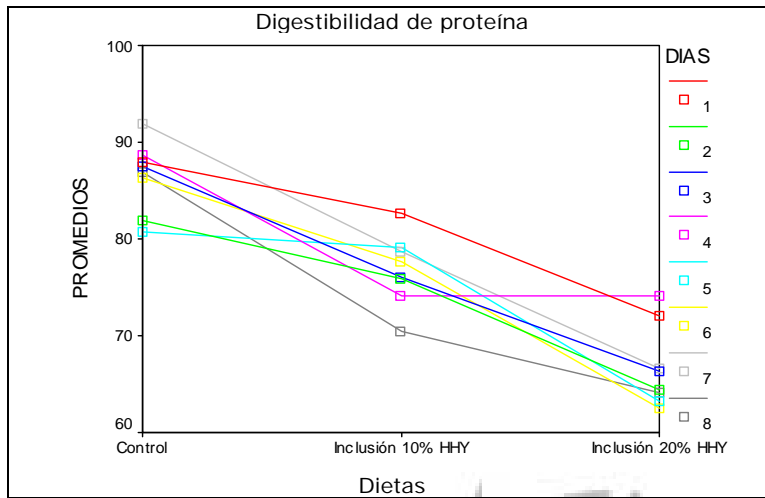
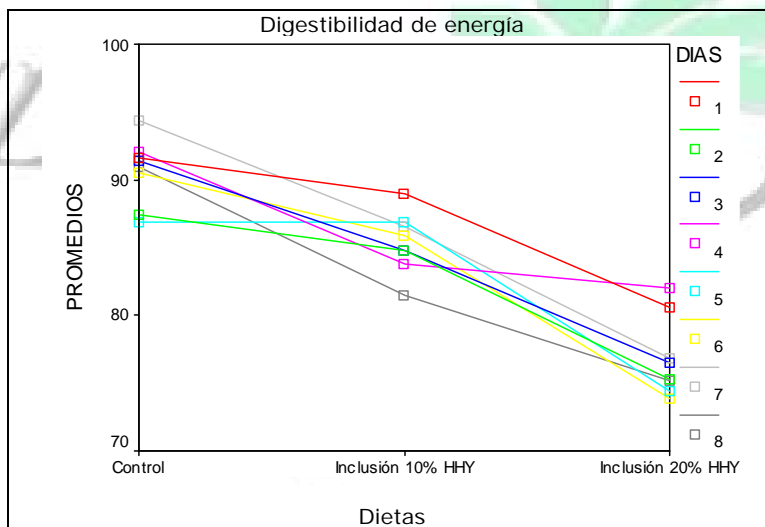


Figura 9. Análisis estadístico de la digestibilidad de energía de las dietas evaluadas.



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.

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 la 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.

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.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CIAT y a Clayuca por apoyar el desarrollo de este proyecto hasta obtener resultados satisfactorios. También agradecen el apoyo recibido del laboratorio de Calidad de Yuca del programa de Mejoramiento de Yuca en el CIAT.