



## Evaluación de dos procesos para mejorar la calidad nutricional de la harina de yuca (raíces y follaje) como alimento para cerdos en la etapa de ceba

Trabajo de Grado realizado por: Juan David Espinosa Árias  
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial  
Santiago de Cali, 2008



**EVALUACIÓN DE DOS PROCESOS PARA MEJORAR LA CALIDAD  
NUTRICIONAL DE LA HARINA DE YUCA (RAICES Y FOLLAJE) COMO  
ALIMENTO PARA CERDOS EN LA ETAPA DE CEBA**

**JUAN DAVID ESPINOSA ARIAS**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI**

**2008**

**EVALUACIÓN DE DOS PROCESOS PARA MEJORAR LA CALIDAD  
NUTRICIONAL DE LA HARINA DE YUCA (RAICES Y FOLLAJE) COMO  
ALIMENTO PARA CERDOS EN LA ETAPA DE CEBA**

**JUAN DAVID ESPINOSA ARIAS**

**TRABAJO DE GRADO**

**Directores**

**RAÚL ALBERTO CUERVO MULET M.Sc.**

**Universidad San Buenaventura**

**JORGE LUIS GIL LLANOS. Zoot.**

**Director Investigaciones Alimentación animal Clayuca - CIAT**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI**

**2008**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mis padres Fernando Espinosa y Maria Stella Arias, a mi familia que me dieron su apoyo incondicional, a todo el personal de CLAYUCA – CIAT por todo el apoyo que me brindaron y por permitirme hacer parte de su equipo de trabajo y a todas las personas que de una u otra forma estuvieron involucradas e hicieron posible la elaboración de este trabajo de grado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis agradecimientos a:

- Bernardo Ospina Patiño, Ingeniero Agrícola. Director Ejecutivo de CLAYUCA – CIAT, por brindarme su apoyo y la oportunidad de trabajar en el grupo CLAYUCA – CIAT.
- Jorge Luis Gil Llanos, Zootecnista. Coordinador de Investigación en alimentación animal CLAYUCA – CIAT, por su apoyo, recomendaciones, orientación, colaboración y su gran disposición en el desarrollo de este trabajo de grado.
- A todo el equipo de trabajo de CLAYUCA – CIAT por su apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.
- Raúl Alberto Cuervo Mulet M sc. Profesor de tiempo completo en la Universidad de San Buenaventura Cali, por su ayuda y colaboración en el desarrollo del proyecto investigativo.
- Laboratorio de Servicios Analíticos – CIAT, por el aporte y calidad de sus datos analíticos.
- Cooperativa de Porcicultores de Florida Valle, por su cooperación en el desarrollo de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	22
3.1.1. General	22
3.1.2. Específicos	22
4. ANTECEDENTES	23
5. MARCO TEORICO	28
5.1. Generalidades de la yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz)	28
5.1.1. Potencial nutricional de la yuca	29
5.1.2. Toxicidad	30
5.1.3. Uso de la yuca en la alimentación de cerdos	31
5.2. Fermentación en Estado Sólido (FES)	33
5.2.1. Ventajas de la FES	34
5.2.2. Factores ambientales en la fermentación en estado sólido.	35
5.3. Hidrólisis Acida	35
5.4. Alimentación del cerdo	36
5.4.1. Etapa de ceba	38
6. METODOLOGIA	41
6.1. Localización	41
6.2. Materiales y Métodos	42

6.2.1. Materiales empleados en la fermentación de la harina integral de yuca	42
6.2.2. Materiales empleados en la hidrólisis ácida	43
6.3. Fases del Proceso	44
6.3.1. Fase 1: Pruebas de fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en La harina integral de yuca para aumentar su valor nutricional	44
6.3.1.1. Consecución de materia prima	44
6.3.1.2. Limpieza y desinfección	44
6.3.1.3. Pesaje del material	45
6.3.1.4. Formulación	45
6.3.1.5. Mezclado	45
6.3.1.6. Fermentación	47
6.3.1.7. Secado	47
6.3.1.8. Materia Seca	49
6.3.2. Fase 2: Realización de pruebas de hidrólisis ácida al follaje de yuca para optimizar su digestibilidad en el organismo del animal	50
6.3.2.1. Consecución de materias primas y equipos	50
6.3.2.2. Pruebas de hidrólisis ácida	50
6.3.2.3. Secado al finalizar la hidrólisis	51
6.3.3. Fase 3: Evaluación técnica y económica de la inclusión de la pasta de yuca y el follaje hidrolizado en la elaboración de un Alimento balanceado para cerdos en la etapa de destete.	52
6.3.3.1. Evaluación Digestibilidad <i>in situ</i>	53
6.3.3.2. Evaluación DIMS	57
6.3.3.3. Evaluación Bromatológica	58
6.3.3.4. Elaboración de mezclas (Alimento balanceado)	60
6.3.3.5. Evaluación Económica	64
7. ANALISIS DE RESULTADOS	70
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
8.1. CONCLUSIONES	74

8.2. RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFIA	76
ANEXOS	79

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 1</b>	Comparación nutricional entre la yuca deshidratada, la yuca la yuca fermentada, la gallinaza y el hongo <i>Rhizopus</i> sp utilizados en el proceso de fermentación.	24
<b>Tabla 2</b>	Experiencias con harina de yuca amarga en raciones para cerdos Yorkshire en crecimiento.	27
<b>Tabla 3</b>	Composición nutricional de la harina de follaje de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz)	32
<b>Tabla 4</b>	Variación en las etapas de vida del cerdo	39
<b>Tabla 5</b>	Requerimientos nutricionales para cerdos en desarrollo y engorde de líneas genéticas magras de acuerdo al sexo (H: hembras; M: machos castrados)	40
<b>Tabla 6</b>	Cantidad de ingredientes empleados en la elaboración de la pasta fermentada de yuca	46
<b>Tabla 7</b>	Resultados de materia seca de la harina de yuca fermentada	49
<b>Tabla 8</b>	Resultados de materia seca de la harina de follaje hidrolizada	52

<b>Tabla 9</b>	Resultados de la digestibilidad <i>In situ</i> de la pasta fermentada y el follaje hidrolizado de yuca	57
<b>Tabla 10</b>	DIVMS% de la harina fermentada y el follaje hidrolizado.	59
<b>Tabla 11</b>	Promedio de Resultados del análisis Bromatológico del follaje de yuca hidrolizado.	60
<b>Tabla 12</b>	Promedio de Resultados del análisis Bromatológico de la Pasta de yuca fermentada	60
<b>Tabla 13</b>	Composición alimenticia de la dieta para ceba de cerdos a base de pasta fermentada de yuca y follaje hidrolizado	62
<b>Tabla 14</b>	Aporte nutricional de la dieta elaborada con pasta fermentada de yuca.	63
<b>Tablas 15</b>	Costos de producción para etapa de ceba en explotaciones porcícolas (abril 2007 )	65
<b>Tabla 16</b>	Costos de producción en explotaciones porcícolas de ciclo completo ( Abril 2007 )	66
<b>Tabla 17</b>	Costo de elaboración de una dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca para ceba de cerdos	67
<b>Tabla 18:</b>	Costo de elaboración de una dieta a base de harina de yuca para ceba de cerdos	68

<b>Tabla 19:</b>	Costo de elaboración de una dieta utilizada por la Asociación Floridana de Porcicultores	69
<b>Tabla 20:</b>	Comparación nutricional de la dieta utilizada por la AFP con la dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca.	71
<b>Tabla 21:</b>	Comparación nutricional de la dieta a base de harina de yuca con la dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca.	72

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
<b>Grafica 1</b> Uso del maíz para etanol en Estados Unidos	18
<b>Grafica 2</b> Crecimiento del precio del maíz amarillo vs la variación La variación porcentual del IPC en los últimos años.	18

## LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A:</b> Resultados de materia seca de la Pasta de yuca fermentada con levadura.	79
<b>Anexo B:</b> Resultados de materia seca de la Pasta de yuca fermentada con levadura	80
<b>Anexo C:</b> Resultados de materia seca del follaje hidrolizado de yuca	81
<b>Anexo D:</b> Resultados de materia seca del follaje hidrolizado de yuca	82
<b>Anexo E:</b> Resultados del análisis bromatológico realizado al follaje hidrolizado de yuca.	83
<b>Anexo F:</b> Resultados del análisis bromatológico realizado a la pasta fermentada de yuca	83

## RESUMEN

En este trabajo se emplearon dos procesos para mejorar la calidad nutricional de las harinas de raíces y follaje de yuca. Para la harina de raíces se empleó un proceso de fermentación en estado sólido donde se utilizó como sustrato harina integral de yuca y como inóculo levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La harina se dejó fermentar por un periodo de 4 días dando como resultado una pasta fermentada de yuca con un porcentaje de Materia Seca (MS) del 39.8%, una concentración de proteína de hasta un 9% proveniente en su gran mayoría de PUC (Proteína Unicelular) generada por la levadura en el proceso de fermentación, además se logró obtener una digestibilidad del 81.11%. Para la harina de follaje se usó una hidrólisis ácida, esta se realizó sumergiendo la harina de follaje de yuca en una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 5% y luego sometiéndola a un calentamiento a 120°C durante 15 minutos a contra flujo. Se obtuvo un follaje hidrolizado con una MS del 17.3%, una concentración promedio de proteína del 12.5% y una digestibilidad del 30.82%. Estos dos productos se utilizaron para elaborar una dieta para cerdos en etapa de ceba, la cual aporta una proteína cruda del 14.12% y 3.1 Mcal/kg de Energía Metabolizable. Se realizó una comparación de costos de fabricación y aporte nutricional con dos dietas, una con base en harina de yuca utilizada por una porcícola comercial en el municipio de Palmira, Valle del Cauca (\$805,92 /kg de alimento) y una con base en maíz utilizada por la Asociación Floridana de Porcicultores de Florida Valle (\$969,64 /kg de alimento), la dieta con inclusión de pasta fermentada de yuca y forraje hidrolizado tuvo un costo de \$750,85 /kg de alimento. Se encontró que al incluir la pasta fermentada de yuca y el follaje hidrolizado se obtuvo una dieta con costos relativamente bajos en comparación a las dietas empleadas por las porcícolas.

## ABSTRACT

In this paper we used two processes to improve the nutritional quality of meals from cassava roots and foliage. For the roots of flour was used in a fermentation process where the solid state was used as the substrate of cassava flour and yeast *Saccharomyces cerevisiae* as inoculum. The meal was left to ferment for a period of 4 days resulting in a fermented cassava dough with a percentage of dry matter (DM) of 39.8%, a concentration of protein to 9% from the vast majority of PUC (Protein Unicellular) generated by the yeast in the fermentation process, also get an achievement digestibility of 81.11%. For the flour is used a canopy of acid hydrolysis, this was done by immersing the foliage of cassava flour in a solution of sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) to 5% and then subjected to heating at 120 ° C for 15 minutes against reflux. It was obtained foliage hydrolyzed with an MS from 17.3%, an average concentration of protein of 12.5%, and digestibility of 30.82%. These two products were used to develop a diet for fattening hogs on stage, which gives a crude protein of 14.12% and 3.1 Mcal / kg for Metabolizable energy. We conducted a comparison of costs of manufacturing and nutritional diets with two, one based on cassava flour used for a commercial pig in the town of Palmira, Valle del Cauca (\$ 805.92 / kg food) and one based on corn used by the **Asociación Floridana de Porcicultores de Florida Valle** (\$ 969.64 / kg food) diet including pasta fermented cassava and forage hydrolyzed had a cost of \$ 750.85 / kg food. We found that by adding the paste of fermented cassava and the foliage was hydrolyzed with a diet relatively low in cost compared to the allowances used by the pig.

## INTRODUCCIÓN

La porcicultura colombiana ha evidenciado un proceso de expansión dentro de la economía nacional, con señales de dinamismo reflejadas en el aumento sostenido del sacrificio, registrando mayor oferta del producto, haciendo de esta cadena productora una de las más importantes en el territorio nacional. Con este aumento en la demanda, se ha generado la necesidad de buscar nuevas fuentes de nutrientes y generar alimentos que mejoren el nivel productivo del animal, disminuyendo el riesgo de enfermedades y aumentando la ganancia de peso diario (DANE. 2003).

El satisfacer los requerimientos nutricionales de los cerdos es uno de los factores que más afectan los rendimientos productivos. El porcicultor no solo debe saber cual nutrimento y en que cantidad se le debe suministrar al animal sino también su efecto sobre el organismo en las diferentes etapas productivas. En la cadena porcina, la implementación de la harina integral de yuca como materia prima base en la elaboración de alimentos balanceados no es una novedad, si embargo los niveles de inclusión en estos aun no se han establecido de forma concreta. La yuca se destaca por ser una excelente fuente energética, que es el nutrimento más importante en las raciones de cerdos en etapa de ceba o engorde, aun así una dieta solo a base de yuca no aporta la cantidad de nutrientes necesarios para el animal, pues esta a pesar de tener un alto valor energético no posee una concentración alta de proteínas, vitaminas y minerales, por eso toma importancia la parte aérea de la yuca (forraje) que contiene niveles altos de proteína y aporte de minerales y vitaminas.

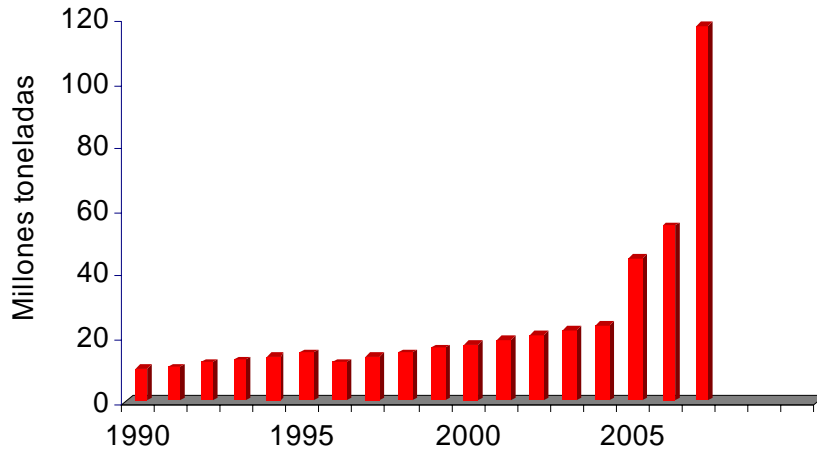
Por esta razón por medio de este proyecto se quiere plantear una alternativa de nutrición animal por medio de un alimento balanceado a base de la planta integral de yuca que posee un alto contenido de energía (Raíces) y proteína (Follaje) y, mediante un proceso de fermentación con levadura a la harina de raíces se buscará aportar nuevas fuentes de proteína como la PUC (Proteína Unicelular) generada por la levadura de *Saccharomyces cerevisiae*. Para la harina de forraje se realizará una predigestión por medio de una hidrólisis ácida para mejorar su digestibilidad.

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La porcicultura en el Valle del Cauca afronta limitaciones en el desarrollo de esta actividad que afectan su competitividad, las materias primas utilizadas en la elaboración del alimento tienen un efecto negativo sobre este sector, ya que presentan un elevado costo. La Asociación Colombiana de Porcicultores ACP (2008), dice que del total de los costos de producción de un ciclo completo, el 78.33% recae sobre la alimentación. Debido al auge en el desarrollo de nuevas fuentes energéticas como la producción de biocombustibles a partir de granos principalmente el maíz y biomasa (Celulosa) han ocasionado una disminución en la disponibilidad de granos para la alimentación porcícola afectando los precios de estas materias primas. El mayor productor de maíz a nivel mundial es Estados Unidos con 300 millones de toneladas por año, de esta producción 240 toneladas (80%) son destinadas para consumo interno y las 60 millones de toneladas restantes son para exportación. De este consumo interno la mayoría están encaminadas a la producción de bioetanol (Grafica 1), y la cual se va a incrementar en los próximos años generando un alza en el precio del maíz y convirtiendo a los EE.UU como el principal país productor de bioetanol del mundo.

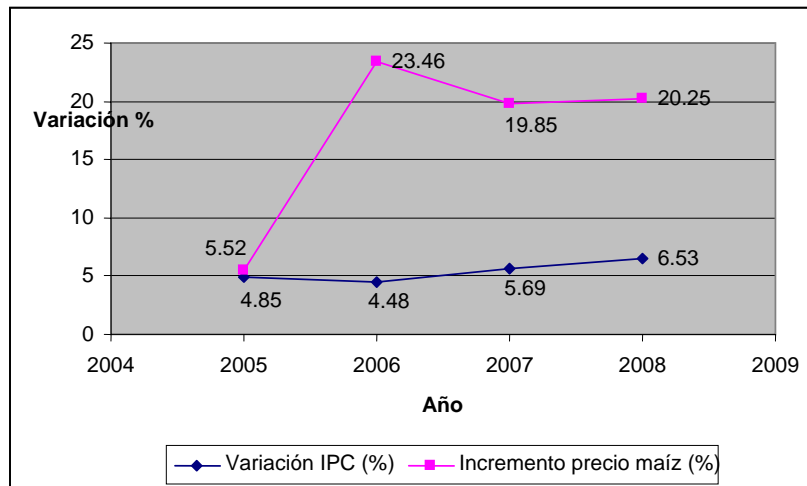
Los datos presentados por la Bolsa Nacional Agropecuaria BNA (2008) muestran que a finales del año 2005 el valor de una tonelada de maíz era de \$438.647, hoy en día el maíz se esta cotizando a \$780.547 la tonelada mostrando un incremento de el 43.8% en el transcurso de 2 años. En la Grafica 2 se muestra el incremento del precio del maíz comparado con la variación porcentual del IPC desde el año 2005.

**Grafica 1** Uso del maíz para etanol en Estados Unidos



Fuente: Preston, T.R. 2007. El declive del petróleo.

**Grafica 2** Crecimiento del precio del maíz amarillo vs. La variación porcentual del IPC en los últimos años.



Fuente: BNA. 2008. Tomado de Histórico de precios de paridad del maíz amarillo. , DANE. 2008. Variación porcentual anual del IPC.

Según el DANE (2004), en Colombia la producción tecnificada de maíz amarillo es aun relativamente pequeña frente a su gran demanda, de manera que es necesario importar anualmente cerca de 2.260.439 toneladas de producto, para atender la demanda de la industria de alimentos balanceados principalmente para el sector avícola seguido del porcícola. Todo esto repercute en la dificultad de expandir el mercado interno e implica una gran amenaza respecto al escenario futuro teniendo en cuenta la inminente apertura comercial para los productos del sector agropecuario.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La industria porcina ha tenido grandes cambios en los últimos 10 años, pasando por granjas pequeñas y medianas e inclusive de cerdos de traspatio, a grandes explotaciones de miles de animales. Antes de los años 90, una cerda producía entre 18 y 20 cerdos por año. Sin embargo este número no resulta rentable para los nuevos porcicultores por lo que se vio la necesidad de producir más de 22 cerdos por cerda al año (Campabadal, 2001). Pero este cambio ha generado graves problemas productivos debido a los altos costos de la alimentación ya que estos participan con el 70% y 80% del total de los costos de producción, esto se debe a la alta tasa de importación de materias primas, y al auge que tienen hoy en día los biocombustibles, a causa de que las materias primas utilizadas para la producción de estos son las mismas que se utilizan en la alimentación tanto animal como humana. Esto ha generado una escasez de material base para la elaboración de dietas para alimentación animal, obligando al poricultor a buscar otras alternativas las cuales muchas veces son de alto costo o no proporcional un nivel nutricional adecuado.

Por lo anterior y dada la importancia de este sector, es necesario buscar nuevas alternativas de nutrición y alimentación con precios asequibles para mejorar la productividad y por ende la competitividad de la porcicultura colombiana, Aquí es donde entra en juego las harinas de yuca (follaje y raíz), las cuales pueden llegar a aportar una gran cantidad de nutrientes, lo que repercutiría en incrementos de peso posiblemente a bajo costo, pero estas materias primas tienen un inconveniente, la raíz de yuca tiene niveles de proteína muy bajos y el follaje a pesar de contener niveles altos de proteína este tiene concentraciones altas de fibra lo que hace que sea difícil de digerir por el cerdo, esto genera la necesidad

de buscar nuevas alternativas para contrarrestar las problemáticas que vive el sector y aumentar los ingresos y la calidad de vida del porcicultor, una de estas alternativas es la fermentación previa de la harina integral de raíces de yuca y la predigestión del follaje por medio de una hidrólisis ácida. Estos procesos pueden aumentar la digestibilidad y palatabilidad de las materias primas, incrementando la biodisponibilidad de los nutrientes que portan el follaje y la raíz de yuca. De esta forma se puede obtener una materia prima que sea competitiva por costos y nivel nutricional a las importadas especialmente el maíz.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el uso de una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en el incremento de proteína en la harina de raíces de yuca y la implementación de una hidrólisis ácida para mejorar la disponibilidad de nutrientes en la harina de follaje de yuca y, usarlas como materias primas base en la elaboración de un alimento balanceado para cerdos en la etapa de ceba.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Realizar un proceso de fermentación con el uso de *Saccharomyces cerevisiae* a la harina integral de raíces de yuca que incremente su calidad nutricional como materia prima para la alimentación de cerdos en la etapa de ceba.

Realizar una hidrólisis ácida a la harina de follaje de yuca como un medio para el incremento de la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes en el organismo del animal.

Evaluar técnica y económicamente la inclusión de las materias primas fermentadas e hidrolizadas en la elaboración de un alimento balanceado para cerdos en la etapa de ceba.

#### 4. ANTECEDENTES

A nivel experimental se han evaluado sistemas para producir yuca enriquecida con proteína unicelular. Las experiencias realizadas en diferentes regiones abarcan desde métodos elementales hasta sistemas que involucran una tecnología compleja y altos costos de producción. En la mayoría de los casos, el principio de producción de proteína se basa en la utilización de raíces de yuca como sustrato para el desarrollo de organismos unicelulares, los cuales estimulan la conversión de parte de los almidones en proteína microbiana. (Buitrago, 1990)

Hutagalung y Tan (1976), emplearon harina de yuca (65-75%) y gallinaza seca (25%-35%) como sustrato y cepas del hongo *Rhizopus sp* como inóculo para la producción de proteína unicelular. El sustrato yuca-gallinaza se mezcla con agua hasta lograr una humedad del 50%, se esteriliza con calor (100°C por 4 horas) y luego se enfría; esta solución se mezcla con una suspensión de esporas del hongo (106 esporas/g de sustrato húmedo), se distribuye en bandejas y se pone a incubar a una temperatura de 27 a 30°C durante 48 horas. La yuca fermentada se traslada a un horno secador para obtener un producto final con aproximadamente 15% de proteína (Tabla 1).

Gregory (1977), citado por Buitrago (1990) empleó un método de fermentación líquida en la que se usan raíces de yuca fresca como sustrato y una cepa del hongo *Aspergillus fumigatus* como inóculo, obteniendo resultados más eficientes que al emplear un sustrato yuca-gallinaza con niveles de proteína superiores (35%-45%).

**Tabla 1:** Comparación nutricional entre la yuca deshidratada, la yuca fermentada, la gallinaza y el hongo *Rhizopus* sp utilizados en el proceso de fermentación.

Aspectos considerados	Contenidos de los productos			
	Yuca deshidratada	Yuca fermentada	<i>Rhizopus</i> sp.	Gallinaza
Factores nutricionales (%)				
Humedad	11.00	9.70	9.50	9.60
Proteína (N x 6.25)	2.30	15.00	21.50	27.60
Ceniza	1.60	16.71	-	24.40
Extracto etéreo	1.20	1.99	-	1.50
ENN	81.20	53.93	-	24.00
Fibra	2.70	8.19	-	12.90
Calcio	0.35	2.71	-	7.90
Fósforo	0.40	0.86	-	2.15
Aminoácidos (g/16 g de N de materia seca)				
Arginina	12.60	5.20	4.10	1.90
Histidina	2.60	1.30	1.30	0.60
Isoleucina	2.20	1.30	3.30	1.40
Leucina	3.90	3.00	5.20	2.70
Lisina	4.30	2.50	5.80	1.80
Metionina	1.30	1.10	0.80	0.50
Fenilalanina	2.20	1.20	4.60	1.30
Treonina	3.50	1.90	4.00	1.40
Triptófano	-	-	-	1.90
Valina	3.00	2.30	4.90	2.50

Fuente: Hutagalung y Tan, 1976

El proceso consiste en colocar yuca fresca rallada (desintegrada) en un tanque fermentador que contiene agua, y calentarla a 65-70°C para que el almidón se gelatinice; entonces se le agrega agua hasta obtener una concentración de

carbohidratos totales de aproximadamente 4% y una temperatura de 45°C; enseguida se le agrega ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para bajar el pH hasta 3.5, y finalmente se le adicionan urea como fuente de nitrógeno y fosfato potasio ( $KH_2PO_4$ ) como fuente de fósforo. Luego se le mezcla el inoculo (*A. fumigatus* I-21 A) con este medio y se deja fermentar durante 20 horas aproximadamente.

Los materiales celulósicos no son muy comunes en la alimentación de monogástricos, ya que estos poseen altos contenidos de fibra la cual es poco digerible por el organismo del animal (monogástricos), por lo que un exceso de ésta puede provocar una parálisis del sistema digestivo, además de no ser nutritiva.

Ferrer (2002) estudió la producción de azúcares reductores (AR) a partir de la hidrólisis ácida del bagacillo de caña, ya que ellos representan una fuente fundamental de carbohidratos para procesos biotecnológicos, orientados a la producción de proteína unicelular y compuestos orgánicos. El bagacillo tratado (BT) y no-tratado (BNT) con inmersión en agua (TA) a temperatura ambiente, se hidrolizó, mediante ebullición a reflujo, con diferentes concentraciones (C) de ácido sulfúrico diluido (2%, 4%, 6% y 8 % v/v) a diferentes tiempos de reacción (TR) (4, 8 y 12 h.), en una relación líquido: sólido de 30/1. La determinación cuantitativa de AR se realizó por espectrofotometría UV-Vis por el método del ácido 3,5 dinitrosalisílico (DNS). El experimento involucró un diseño totalmente al azar con un arreglo factorial 2 x 3 x 4 con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico "Statistical Analysis System" (SAS); se utilizó la prueba HSD de Tukey para los efectos principales y el método de mínimos cuadrados para las interacciones. Los resultados demostraron que todos los factores en estudio y sus interacciones, excepto la interacción (TA x TR), afectaron

significativamente ( $P < 0,01$ ) la concentración (g/L) de AR. La concentración de AR varió de 2,58 a 20,45 g/L, con un promedio general de 10,53 g/L. La mayor producción de AR ( $16,76 \pm 1,71$  g/L) se obtuvo en la hidrólisis de BNT con ácido sulfúrico al 6% y 4 horas de reacción.

El tratamiento acuoso implementado en el estudio realizado por Ferrer (2002), permitió disminuir el contenido de celulosa y hemicelulosa, en forma relativa, en un 24,35 % y 37,21 %, respectivamente. Al mismo tiempo, provocó una disminución en el contenido de lignina del 28 %. La hidrólisis ácida desarrollada en esta investigación, demostró ser eficiente para la separación de los monómeros constituyentes de los polímeros celulosa y hemicelulosa, los que fueron identificados como azúcares reductores.

La utilización de la harina de yuca en la alimentación porcina data desde los años 30. Varios trabajos de investigación se han realizado en Costa Rica y Cuba para determinar el valor nutritivo de la harina de yuca en dietas para cerdos. Los aumentos en las ganancias de peso vivo se debieron a una mayor eficiencia alimenticia de las dietas a base de yuca, quizás relacionadas con una alta digestibilidad de la yuca (Best. 1990).

El uso de la yuca como fuente energética en la alimentación animal no es nueva, diferentes autores afirman que se pueden incluir niveles de harina de yuca de hasta 48% en las raciones para cerdos en la etapa de crecimiento (Ayerbe 2002). Además, los elevados rendimientos (+ de 25 toneladas de raíces frescas por hectárea) que actualmente se obtienen en varias regiones del país hacen

posible la producción de yuca para uso industrial a unos costos competitivos respecto al maíz amarillo.

La yuca fuera de ser aprovechada como fuente energética en la alimentación de animales, utilizando sus raíces, también se puede usar la parte aérea aunque su uso es reducido, ya que no se le ha dado la importancia y valor que tiene. El cultivo de la yuca se ha expandido a escala nacional gracias a la cantidad de usos potenciales que tiene. Uno de ellos es la utilización del forraje (láminas foliares, pecíolos y tallos frescos) para la alimentación de animales monogástricos (aves, cerdos) y rumiantes (bovinos) (Ospina, B. Sf).

En experiencias del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT (1975) con raciones a base de harina de yuca amarga y tres suplementos azufrados para cerdos Yorkshire en crecimiento (Tabla 2) se encontró que:

- a. El aminoácido metionina fue el único componente azufrado que mejoró el incremento en el peso de los cerdos.
- b. La diferencia en metionina y el contenido de ácido cianhídrico en la harina de yuca amarga son los factores que se deben considerar como criterio para adicionar metionina sintética.

En esta evaluación se utilizaron cerdos de 20-50 kg. De peso vivo, con consumo del alimento a voluntad, el cual contenía un 16% de proteína, a base de harina de yuca (70%), torta de soya (25%), minerales y vitaminas.

**Tabla 2.** Experiencias con harina de yuca amarga en raciones para cerdos Yorkshire en crecimiento.

Composición de las raciones	Rendimientos		
	Aumento de peso diario (Kg.)	Consumo alimento diario (Kg.)	Consumo / ganancia
Testigo	0.67	1.81	2.43
Testigo + 0.2% metionina	0.70	1.77	2.29
Testigo +0.8% tiosulfato de sodio	0.61	1.58	2.32
Testigo + 0.2% azufre elemental	0.65	1.64	2.29

Fuente: CIAT, 1975

## 5. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace referencia a la yuca, los procesos de fermentación en estado sólido, a la hidrólisis ácida y la alimentación de cerdos.

### 5.1. Generalidades sobre la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

La yuca es una planta que se puede encontrar en una gran variedad de condiciones tropicales como son los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas, trópicos de altitud media y en los subtropicos con inviernos fríos, aunque no tolera encharcamientos en el suelo ni condiciones salinas. Por su alta adaptabilidad a las condiciones marginales, la yuca se ha diseminado en toda las zonas tropicales del mundo. (Buitrago. 1990)

Hoy en día, el cultivo se ha extendido a cerca de 90 países tropicales y subtropicales, calculándose que sus raíces, ricas en almidón, y sus hojas, ricas en proteína, alimentan alrededor de 500 millones de personas. De las 170 millones de toneladas de raíces frescas que se cosechan en el mundo, aproximadamente la quinta parte (34 millones) es producida por América Latina y el Caribe (Cadavid 2006)

Según la FAO (2004) Colombia produce alrededor de 1.850.000 TM, con un rendimiento promedio de 10 t/ha y posibilidades de incrementar (25 o más t/ha) de acuerdo con las nuevas tendencias de manejo del suelo y del cultivo.

**5.1.1. Potencial nutricional de la yuca.** Para obtener una primera aproximación acerca del valor nutricional de la planta de yuca, se puede considerar el valor total de la energía alimenticia y de la proteína cruda que una hectárea de cultivo puede producir. Con un rendimiento promedio de 25 toneladas de raíces y 12 toneladas de follaje una hectárea de yuca proporcionaría en un año 31 millones de kilocalorías de energía metabolizable y 613 kilogramos de proteína cruda. En el caso de una ha de yuca forrajera, los niveles de producción pueden estar alrededor de 100 toneladas de forraje verde y aportar 5681 kg de proteína (Gil, 2004)

Tanto las raíces como el follaje de la yuca (hojas, peciolo y tallos tiernos) son productos primarios de la planta que se pueden utilizar como alimento para animales, si bien las raíces aportan la mayor cantidad de nutrientes totales. Aunque la variedad y las condiciones de suelo y del ambiente afectan las proporciones en que se encuentran cada uno de estos órganos o partes en la planta madura, en promedio tales proporciones son las siguientes: 50% para las raíces, 40% para los tallos y peciolo y 10% para las hojas (Buitrago, 1990)

Con excepción del follaje, los productos y subproductos de la planta de yuca son esencialmente energéticos debido a su alto contenido de almidones (Buitrago, 1990). Para Gil (2006) la parte aérea de la yuca puede ser destinada a la alimentación animal, especialmente en rumiantes, sin descartar su uso en herbívoros no rumiantes y monogástricos. Se caracteriza por su alto nivel de proteína cruda (22% en promedio), muy similar al que presenta la alfalfa (*Medicago sativa*).

Los principales factores nutricionales que facilitan o limitan la utilización de yuca en la alimentación animal tienen que ver con las concentraciones de energía, nitrógeno no proteico y nitrógeno proteico, aminoácidos azufrados, vitaminas y minerales en este producto. Como factor específicamente anti nutricional se debe considerar el contenido de ácido cianhídrico (Buitrago. 1990).

Al deshidratar las raíces, la concentración de energía metabolizable se incrementa hasta 3200-3600 Kcal/kg, nivel que ya resulta adecuado para la alimentación animal. El fenómeno anterior también se observa en el follaje de la yuca, en cuyo caso el contenido de fibra bruta tiene un importante efecto adicional en la disminución del nivel de energía. Las hojas frescas contienen menos de 500 Kcal/kg de energía metabolizable, mientras la harina de hojas contiene 1600 a 1700 Kcal. Los dos factores limitativos mencionados hacen de las hojas un producto más adecuado para la alimentación de rumiantes pero esto no indica que no se puedan utilizar en monogástricos simplemente se debe tener cuidado en la inclusión de las hojas en la dieta. (Buitrago. 1990)

**5.1.2. Toxicidad.** Los diferentes cultivos de yuca contienen cantidades variables de glucósidos cianogénicos, estos tóxicos se encuentran tanto en la raíz como en el follaje, el contenido de estos varían según las condiciones de crecimiento, suelos, humedad, temperatura, entre otros. De acuerdo al contenido de estos tóxicos, las variedades de yuca se clasifican en dulces o no tóxicas cuando contienen niveles de ácido cianhídrico (HCN) inferiores a 50 ppm y amargas cuando contienen valores superiores (50 a 434 ppm). (Campabadal. 2001)

En el caso de las harinas de yuca, estos tóxicos no representan un gran problema, pues durante el procesamiento (secado) se destruye el HCN. La cocción en agua

o la deshidratación artificial o por radiación solar son procesos efectivos para eliminar el ácido cianhídrico, según las temperaturas utilizadas superiores a 40°C pueden remover entre el 80% y 90% (Buitrago. 1990)

**5.1.3. Uso de la yuca en alimentación de cerdos.** Los programas de alimentación a base de harina de yuca se pueden manejar más fácilmente, ya que al ser un producto seco y molido, se puede mezclar con otros ingredientes energéticos o proteicos para producir una mezcla balanceada y de fácil manejo. A partir del destete los cerdos superan la dificultad para digerir la mayoría de los carbohidratos, incluyendo los almidones presentes en las raíces de yuca; por esta razón, el potencial para utilizar esta harina se eleva notablemente durante las etapas de levante y engorde. (Buitrago. 1990)

La harina de yuca es una muy buena fuente energética. Su composición nutricional varía de acuerdo con la variedad, suelo, clima, entre otros factores. La yuca contiene 65% de agua, y un 35% de materia seca, la cual su principal componente son los carbohidratos, donde un 64 a 72% son almidones, haciendo de la yuca una gran fuente de energía. (Campabadal. 2001)

La buena calidad de las raíces utilizadas en la producción de harina de yuca es de primordial importancia, así como la correcta suplementación de las raciones con los elementos menores (minerales y vitaminas).

La planta de yuca no solo nos puede proporcionar una fuente de energía (raíces) sino también nos aporta proteína la cual se encuentra en la parte foliar de la planta. La factibilidad de usar el follaje de yuca es alta, debido al alto contenido

nutricional y a la adaptabilidad del cultivo en diferentes suelos y climas del país. La composición nutricional del follaje de yuca, presenta una gran variación en cuanto a su calidad y cantidad, por efecto de una variedad de factores tales como tipo de cultivar, condiciones y clase de suelo, condiciones climatológicas (especialmente precipitación), edad de la planta, época de corte, proporción entre lámina foliar-pecíolo y tallos. A mayor edad de la planta, se obtiene menor contenido de proteína y mayor cantidad de fibra y materia seca (Ospina, B. s.f.). La proteína y la fibra determinan la calidad del follaje y su producto final para la alimentación de animales, especialmente los monogástricos. (Ospina, B. s.f.)

Cuando se trata de alimentos para monogástricos, normalmente el contenido de harina de follaje de yuca no debe pasar del 10% a 15% ya que con niveles mayores las raciones presentan alto contenido de fibra y baja palatabilidad. Las raciones con esta concentración de harina de follaje no presentan una mayor variación en los nutrimentos menores.

Una harina de follaje de yuca con alta proporción de hojas debe acercarse a la siguiente composición nutricional (Tabla 3).

Con respecto a la concentración de aminoácidos en el follaje es importante destacar el alto contenido de lisina (7.2g/100 gramos de proteína cruda), y el bajo nivel de metionina (1.7g/100 gramos de proteína cruda); estas concentraciones se deben tener en cuenta aun en el caso de usar bajos niveles de follaje. (Buitrago. 1990)

**Tabla 3.** Composición nutricional de la harina de follaje de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	10.00	%
E. metabolizable, aves	1.25	Mcal/Kg.
E. digestible, cerdos	1.45	Mcal/Kg.
E. digestible, rumiantes	2.70	Mcal/Kg.
Fibra	18.50	%
NDT, rumiantes	65.00	%
Proteína	20.00	%
Metionina+cistina	0.52	%
Lisina	1.40	%
Calcio	1.20	%
Fósforo	0.30	%

Fuente: Buitrago. 1990

## 5.2. Fermentación en Estado Sólido (FES)

Los procesos de FES existen de manera natural desde el comienzo de la vida en el planeta y fueron empleados de forma artesanal en los países del Sudeste Asiático, África y América Central desde hace siglos para la elaboración de alimentos a partir de cereales, yuca, entre otros. El objetivo fundamental con estas fermentaciones ha sido no solo aumentar el contenido proteico de estos alimentos, sino mejorar las posibilidades de conservación, cambiar las características físicas, el color, el olor o el sabor de los mismos. (Correa, H. sf)

Hesseltine (1972) empleó el término de fermentación en estado sólido a todas las fermentaciones donde el sustrato no es líquido. Posteriormente, Raimbault (1980) propuso un término más preciso: “Las fermentaciones en las cuales el sustrato no está ni disuelto ni en suspensión en un gran volumen de agua”. No obstante, Moo-Young y col. (1983), propusieron un término a todos los procesos que utilizan materiales insolubles en agua para el crecimiento de microorganismos en ausencia de agua libre; autores como Mudgett (1986) y Durand. y col. (1988), han planteado una definición más general: “Es un método de cultivo de microorganismos sobre y/o dentro de partículas sólidas”. El líquido ligado a las partículas sólidas debe estar en una cantidad que asegure la actividad del agua adecuada para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos, pero sin exceder el máximo poder de retención de este líquido en la matriz sólida. (Correa, H. sf)

La definición más general y reciente fue formulada por Viniegra-González (1997), donde se plantea que “es un proceso microbiológico que ocurre comúnmente en la superficie de materiales sólidos que tienen la propiedad de absorber y contener agua, con o sin nutrientes solubles”. Esta definición abarca a procesos donde el soporte sólido es inerte y los sustratos que utiliza el microorganismo pueden ser sustancias solubles en agua, como el proceso de bioconversión de etanol y el crecimiento de *Candida utilis* sobre amberlita (Christen y col., 1993).

### **5.2.1 Ventajas de la FES**

Doelle y col. (1992) consideran como ventajas los siguientes aspectos:

- Los medios de cultivo son simples, generalmente subproductos agrícolas que presentan un alto contenido de los nutrientes necesarios.

- La baja actividad del agua es de gran ayuda para evitar las contaminaciones, especialmente de bacterias y levaduras.
- 
- La concentración natural del sustrato permite utilizar reactores más pequeños en comparación con los utilizados en otro tipo de fermentación. Tienen mayor productividad volumétrica.
- 
- La aireación forzada es facilitada por la porosidad del soporte, lo que permite una alta transferencia de oxígeno al microorganismo.
- 
- Pueden emplearse, frecuentemente conidios como inóculo en los procesos de crecimiento de hongos, lo cual disminuye los costos y las manipulaciones en la preparación del inóculo.
- 
- Los conidios de los hongos que se producen son mucho más resistentes y tienen mejor adaptabilidad a las condiciones en las que se aplican como agente de biocontrol.
- 
- El proceso de recobrado es simplificado. Algunos productos son utilizados integralmente, como alimento animal, productos para el control biológico, etc.
- Los procesos se consideran generalmente como tecnologías limpias.

### **5.2.2. Factores ambientales en la fermentación en estado sólido.**

Las condiciones ambientales tales como la humedad, la actividad del agua, el pH, la temperatura, la concentración y disponibilidad del sustrato, la aireación, el tamaño de partículas y la forma de inoculación afectan significativamente tanto el

crecimiento como la formación de productos. En el cultivo líquido agitado el control de las condiciones ambientales es relativamente simple, ya que estos sistemas son homogéneos desde el punto de vista de la concentración celular, nutrientes y productos. Sin embargo se presentan serios problemas en los sistemas sólidos con el mezclado, la transferencia de oxígeno, el intercambio de calor y el control de la humedad y el pH, debido, principalmente, a la heterogeneidad y la consistencia del sistema (Doelle y col., 1992). La cantidad de humedad en la fermentación sólida puede variar entre 30 y 80% (Oriol y col., 1988), en dependencia del sólido utilizado, el microorganismo. El pH es otra variable que afecta el desarrollo de los procesos de fermentación en estado sólido, al igual que lo hace en los cultivos sumergidos. Sin embargo, en el caso de la fermentación sólida, su control es prácticamente imposible, debido a la ausencia de instrumentos capaces de medir el pH en la capa de líquido que rodea el sólido, por otra parte, el mezclado de sólidos es un proceso complejo por lo cual se dificulta también el control de esta variable durante el desarrollo de la fermentación. (Mitchell y col., 2002).

### **5.3 Hidrólisis ácida**

El bajo “valor nutricional” de algunos forrajes se debe principalmente a la baja disponibilidad de los carbohidratos (no a su concentración) porque algunos poseen un alto contenido de ellos, pero normalmente se encuentran paquetes de lignina envolviendo los carbohidratos como la hemicelulosa y celulosa y de esta manera impidiendo el acceso a ellos en el proceso de digestión del animal. Si se logra disminuir el contenido de lignina con respecto al de los carbohidratos, se facilitaría el acceso y asimilación de éstos (Segura. 2007). Por esta razón se han venido desarrollando nuevos procesos como la hidrólisis acida que permite aumentar la

digestibilidad de un material vegetal rompiendo los enlaces lignina-celulosa, haciéndolo mas asimilable en el organismo del animal.

En general la hidrólisis acida es realizada con HCl o con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (entre 2 y 5% de concentración) a temperaturas cercanas a los 160°C, generan factores cruciales que favoreces a la formación de sustancias toxicas, temperaturas moderadas (< 160 °C) proveen una adecuada hidrólisis del material celulósico, de otro lado temperaturas superiores a los 160 °C favorecen a la hidrólisis de la celulosa y lignina. Según Sun and Cheng (2002), la hidrólisis acida se debe realizar adicionando 50 ml de acido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de material seco. A una temperatura de 125 °C durante un periodo de 15 minutos (Monsalve G. 2006).

#### **5.4. Alimentación del cerdo**

El satisfacer los requerimientos nutricionales de los cerdos es uno de los factores que más afectan los rendimientos productivos. El porcicultor debe conocer no solo cual nutrimento y en que cantidad lo necesita el cerdo para cada una de sus fases productivas, sino que debe también entender el efecto que tiene ese nutrimento sobre el crecimiento y la reproducción de los cerdos. No solo es necesario seleccionar los diferentes ingredientes que deben utilizarse en la formulación de una ración, sino además, utilizar aquellos ingredientes de alta calidad que estén libres de agentes contaminantes que pudieran poner en riesgo la salud de los animales y como consecuencia sus rendimientos productivos. (Campabadal. 2001)

Las materias primas utilizadas en la alimentación de monogástricos en este caso cerdos, deben proporcionar de una manera balanceada los nutrimentos que el animal necesita para crecer rápidamente sin llegar a provocar un problema digestivo por sobre alimentación, es decir, la ración debe aportar los nutrimentos necesarios en cantidades no exageradas de alimento. Las materias primas utilizadas en la alimentación de cerdos se dividen en dos grandes grupos, materias primas de aporte proteico y materias primas de aporte energético. Dentro de las materias de aporte proteico podemos encontrar, torta de algodón, torta de soya, torta de palmiste, harina de pescado, harina de sangre, alfalfa, entre otras; en materias primas de aporte energético podemos encontrar, sorgo, maíz, afrecho de yuca, residuos de galletería, aceite vegetal, manteca, grasa de pollo u otro tipo de grasa animal.(FEDNA. 2003)

En una formulación práctica de raciones, nueve son los elementos o nutrimentos más importantes que se deben considerar en la elaboración de una dieta o alimento. Estos nutrimentos son la proteína, la lisina, la metionina, el triptofano, la treonina, el calcio, el fósforo aprovechable, y la energía digestible o metabolizable. Sin embargo, son también de gran importancia, los otros aminoácidos, los minerales y vitaminas.

Otro factor importante a conocer en el desarrollo de un programa de alimentación es entender el efecto de la nutrición sobre las características de la canal, y además, es necesario conocer la forma como el cerdo crece y se desarrolla en su vida productiva. Cualquier factor que limite el crecimiento de los cerdos, como son los cambios ambientales, la presencia de enfermedad, el consumo no adecuado de nutrimentos, los problemas de espacio físico, etc., afectaran el peso adulto y la composición corporal del animal (Campabadal. 2001).

**5.4.1 Etapa de ceba.** El periodo que comprende el desarrollo y el engorde del cerdo es una de las etapas mas importantes de la etapa productiva del animal, pues aquí se consume entre el 27 y el 80% del total del alimento necesario en su vida productiva. Siendo este rubro el principal costo de producción, la utilización eficiente del alimento repercutirá en la rentabilidad de la operación porcina. La etapa de engorde o ceba inicia cuando el animal tiene un sistema digestivo capaz de utilizar dietas simples y responder adecuadamente a situaciones de estrés calórico e inmunológico. Esta etapa ocurre cerca de los 20 Kg. de peso y termina cuando el cerdo es enviado al mercado. (Campabadal. 2001)

Los rendimientos productivos del cerdo en la etapa de ceba dependen de la genética, de la alimentación, de la salud y el manejo. Una alimentación eficiente en este periodo, debe cumplir con tres metas importantes: maximizar la eficiencia de producción de tejido muscular en relación del tejido graso de la canal y la producción de carne magra con características físicas, químicas y sensoriales aceptables (Stahly, 1993).

La clasificación de las diferentes etapas de alimentación para el periodo de desarrollo y engorde (Tabla 4) es de vital importancia, pues permite una máxima utilización de los nutrimentos. Existe una gran variedad en los pesos que dividen las etapas de vida para estos periodos entre instituciones de diversos países. Cualquiera de estas divisiones son correctas, siempre y cuando se sigan las recomendaciones de requerimiento de nutrimentos y de utilización de materias primas, de acuerdo a las líneas genéticas que se estén utilizando (Campabadal y Navarro, 1994)

**Tabla 4.** Variación en las etapas de vida

<b>Sistema</b>	<b>Etapas</b>	<b>Peso (kg)</b>
Americano	Desarrollo	20 a 50
	Engorde	50 a 110
Ingles	Crecimiento temprano	20 a 40
	Crecimiento	40 a 65
	Engorde	65 a 90
	Finalizador	90 a 120
Centroamericano	Desarrollo	30 a 50
	Engorde	50 a 90

Fuente: Campabadal 2001

Con cualquiera de las fases de alimentación que se utilice es importante considerar que en la etapa de crecimiento es donde existe una mayor síntesis de tejido magro y en la finalización donde prevalece la degradación de grasa.

Entre las diferentes instituciones de investigación existe una gran variación en los criterios sobre los requerimientos nutricionales para obtener máximos rendimientos. Estos requerimientos están afectados por el ambiente, el tipo de dieta, el propósito del animal, la genética y el sexo. La mayoría de las tablas de requerimientos presentan valores para los diferentes sexos y para el potencial para producir carne magra. En la Tabla 5 se presentan los valores recomendados por investigadores de las Universidades Purdue, Ohio State y Michigan State para machos castrados y hembras, ya sea de las líneas genéticas para producir carne magra o de las razas tradicionales de la industria. (Tri-State, 1998)

**Tabla 5.** Requerimientos nutricionales para cerdos en desarrollo y engorde de líneas genéticas magras de acuerdo al sexo (H: hembras; M: machos castrados)

Pesos Kg.								
Nutrimentos	22-45		45-70		70-90		90-mercado	
	H	M	H	M	H	M	H	M
Proteína	18-22	17-20	17-20	16-19	16-19	15-18	14-17	13-16
Lisina	1.10	0.95	1.00	0.85	0.90	0.75	0.75	0.60
Lisina g / día	18	16	21	18	21	18	19	16
Triptofano	0.20	0.17	0.18	0.15	0.16	0.14	0.14	0.11
Treonina	0.72	0.62	0.65	0.55	0.58	0.45	0.45	0.39
Metionina+cistina	0.66	0.57	0.60	0.51	0.54	0.45	0.45	0.36
Calcio	0.72	0.72	0.72	0.72	0.58	0.58	0.58	0.58
Fósforo Aprov.	0.30	0.30	0.30	0.30	0.21	0.21	0.21	0.21
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Campabadal. 2001

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Localización

Los procesos de fermentación en estado sólido y el desarrollo de pruebas para conocer el contenido de materia seca se realizaron en el laboratorio de procesamiento de yuca del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca – Clayuca, ubicado en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT. Este Centro de Investigación está localizado en el kilómetro 17 recta Cali – Palmira, municipio de Palmira, Valle del Cauca. Con una temperatura promedio de 24°C, una altura de 1001 m.s.n.m. y con coordenadas 3° 29'56.42" Latitud Norte, 76° 21'22.36" Longitud Oeste.

Las pruebas de laboratorio que involucran los análisis de Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS), se desarrollaron en el laboratorio de pastos y forrajes del CIAT, los análisis bromatológicos fueron desarrollados por el Laboratorio de Servicios Analíticos - LSA del CIAT y las pruebas de digestibilidad *In Situ* fueron desarrollados en el Centro de Investigaciones Corpoica Tibaitata en Mosquera Cundinamarca.

El desarrollo de las pruebas de hidrólisis ácida se hizo en el laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de San Buenaventura Cali.

## **6.2. Materiales y Métodos**

### **6.2.1 Materiales empleados en la fermentación de la harina integral de yuca.**

Para la fermentación de la harina integral de yuca y cálculo de materia seca se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Frascos de vidrio con capacidad para 3 litros
- Frascos de vidrio con capacidad para 100 ml
- Mangueras plásticas
- Masilla epóxica
- Cinta pegante
- Balanza digital
- Mezcladora con capacidad para 2 kg.
- Cajas de petri
- Beakers de 250 ml.
- Espátulas.
- Mezcladores
- Laminillas medidoras de pH.
- Bandejas metálicas para secado.
- Horno secador.
- Molino de martillos
- Bolsas plásticas
- Frascos plásticos
- Rótulos y marcadores

El material biológico y reactivo utilizado fue:

- Harina integral de yuca.
- Azucar
- Levadura *Saccharomyces cerevisiae* fresco.
- Agua Destilada.
- Sal marina
- Urea
- Acido Fosforico al 40%

Para la desinfección de los materiales se utilizo alcohol al 70%e hipoclorito de sodio al 5%

**6.2.2 Materiales empleados en la hidrólisis ácida.** Para la Hidrólisis acida del follaje se utilizaron los siguientes materiales y reactivos:

- Harina de follaje de yuca.
- Acido Sulfúrico.
- Agua destilada
- Beakers de 1000 ml.
- Probeta de 100ml.
- Planchas magnéticas
- Mantas de calentamiento.
- Balones volumétricos de
- Soportes metálicos.

- Equipo de contra reflujo.
- Erlenmeyer kitsato.
- Trompas de vacio
- Mangueras
- Papel filtro
- Balanza triple brazo
- Embudo de porcelana
- Crisoles
- Espátula.
- Agitadores magnéticos

### **6.3. Fases del proceso**

#### **6.3.1. Fase 1: Pruebas de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* en harina integral de yuca para aumentar su valor nutricional.**

**6.3.1.1. Consecución de Materia prima:** La materia prima empleada en este proceso correspondió a harina integral de yuca de la variedad HMC-1, suministrada por el consorcio Clayuca, quien también suministro los recipientes de vidrio, el agua destilada, la sal y la urea. El material biológico (Levadura) fue comprado a Levapan S.A.

**6.3.1.2. Limpieza y desinfección:** Para evitar una posible contaminación del material biológico y asegurar un buen desarrollo del proceso de fermentación, se realizo una limpieza y desinfección a todo el material y equipo con el que se

trabajo en esta fase del proyecto. Esta desinfección se realizó inicialmente con una solución de hipoclorito de sodio al 15% y luego con la ayuda de un atomizador se le aplicó alcohol a cada uno de los materiales utilizados en la fermentación.

**6.3.1.3. Pesaje del material:** todas las materias primas empleadas en el proceso fueron pesadas con el empleo de una balanza digital marca O'hause (Foto 1) cumpliendo con la siguiente formulación:

**Foto 1:** Balanza digital marca O'hause



**6.3.1.4. Formulación:** Para preparar la harina de yuca para el proceso de fermentación esta se mezcló con una serie de materias primas que permiten el buen desarrollo de la fermentación en la Tabla 6 se muestran las materias primas utilizadas. Para la preparación de esta formulación se tomó en cuenta los factores ambientales planteados por Doelle y col (1992), Oriol y col (1988) y Mitchell y col (2002).

**6.3.1.5. Mezclado:** Para el proceso de mezclado se utilizo una mezcladora Hoover con capacidad para 2 kg (foto 2) inicialmente se mezclo la harina y el almidón agrio con el agua; la levadura, la sal y la urea se diluyeron en agua y se agrego a la mezcla de harina. Se dejo en proceso de mezclado por un periodo de 5 minutos. Durante el mezclado también se realizo un control del pH con una solución de acido fosfórico al 25%, este pH se mantuvo en un rango entre 4.0 y 5

**Tabla 6.** Cantidad de ingredientes empleados en la elaboración de la pasta fermentada de yuca

<b>Material</b>	<b>%</b>	<b>Peso (g)</b>
Harina integral de yuca	30	700
Agua	60	1100
Azúcar	5	100
Levadura	2	40
Urea	1.5	30
Sal	1.5	30
TOTAL	100	2000

**6.3.1.5. Fermentación:** Para la fermentación no se utilizo una metodología especifica, se trabajo en base a los trabajos realizados en Clayuca CIAT en la producción de etanol a partir de yuca y se adaptaron para realizar un fermentación sólida de la harina de yuca. Luego del mezclado se obtiene una pasta de consistencia viscosa, esta pasta se lleva a los recipientes de fermentación (foto 3), donde se dejaran por 4 días. Durante este periodo,

diariamente se le realizó dos agitaciones al día (una en la mañana y otra en la tarde) y se mantenía un control del pH.

**Foto 2:** Mezcladora Hoover con capacidad de 2 kilos



**Foto 3:** Recipientes de fermentación para la harina integral de yuca



**6.3.1.6 Secado:** El contenido de Materia Parcialmente Seca (MSP) se determinó utilizando la metodología definida por el Laboratorio de Servicios Analíticos - LSA del CIAT (2006), la cual consiste en tomar muestras frescas de cada uno de los productos a analizar (Pasta fermentada) en bandejas de aluminio (Foto 4) y llevarlos a una estufa a 60°C con circulación de aire forzado durante 24 horas (Foto 5), una vez transcurrido el tiempo, se sacan las muestras y se dejan reposar por 10 minutos dentro de una mufla, seguidamente se pesan para determinar el valor de la MSP. El producto final se llevara al Laboratorio de servicios Analíticos del CIAT donde se realizaran los análisis bromatológicos y de DIVMS.

**Foto 4:** Bandejas de Secado



**6.3.1.7. Materia seca:** al finalizar los dos días de secado se realizo una análisis de materia seca, en total se analizaron 24 muestras, cuyos valores valores de materia seca están entre el 35 y el 43% como se muestran en las tabla 7.

**Foto 5** Horno de secado



**6.3.2. Fase 2: Realización de pruebas de hidrólisis acida al follaje de yuca para optimizar su digestibilidad en el organismo del animal.**

Al igual que en la primer fase, el fin de esta fermentación es aumentar la digestibilidad de los carbohidratos de la yuca (almidón) y aumentar el nivel nutricional del alimento con proteína unicelular (PUC). Para cumplir este objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

**6.3.2.1. Consecución de materias primas y equipos:** Clayuca proporciono 50 kg de harina de follaje de yuca, los cuales se destinaron para la hidrólisis ácida que tubo lugar en el laboratorio de química de la Universidad de San Buenaventura Cali.

**Tabla 7:** Resultados de materia seca de la harina de yuca fermentada

<b>Análisis:</b>	Materia Seca		
<b>Tipo de Muestra:</b>	Pasta fermentada de yuca		
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 07 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 17 -2007
<b># de Muestra</b>	<b>% M.S.</b>		
1	35%		
2	35%		
3	38%		
4	38%		
5	38%		
6	38%		
7	38%		
8	38%		
9	43%		
10	42%		
11	42%		
12	42%		
13	41%		
14	42%		
15	43%		
16	41%		
17	40%		
18	41%		
19	41%		
20	41%		
21	40%		
22	41%		
23	42%		
24	42%		

**6.3.2.2. Pruebas de Hidrólisis acida:** Se realizaron 2 pruebas de Hidrólisis en la harina de follaje de yuca en el laboratorio de química de la universidad de San Buenaventura Cali. Para el desarrollo de la hidrólisis se utilizo la metodología planteada por Monsalve,G. (2006) por la metodología utilizada El procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Se preparo 1 litro de la solución de acido sulfúrico a una concentración del 5%.
- Se pesaron 4 muestras de harina de follaje de yuca, cada una de 50 gramos.
- Se preparo el equipo de contra reflujo.
- En balones volumétricos se introdujo la harina junto con la solución acida.
- Con la ayuda de las mantas de calentamiento se llevo la solución a ebullición y se dejo por un periodo e 15 minutos.
- Al terminar la hidrólisis el material se dejo enfriar y se filtro.

**6.3.2.3. Secado:** Al finalizar la hidrólisis el material resultante se llevó a un horno secador para obtener un producto final el cual se llevara al laboratorio de servicios analíticos del CIAT para realizar los análisis de DIVMS. El material de se dejo secando por un periodo de 12 horas a una temperatura de 45 °C. después de realizado el secado se hizo un análisis de materia seca donde se evaluaron 12 muestras las cuales poseen valores entre el 12 y el 22%, como se muestra en la Tabal 8.

**Tabla 8:** Resultados de materia seca de la harina de follaje hidrolizada.

<b>Análisis:</b>	<b>Materia Seca</b>		
<b>Tipo de Muestra:</b>	<b>Follaje hidrolizado</b>		
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 22 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 23 -2007
<b># de Muestra</b>	<b>% M.S.</b>		
1	12%		
2	17%		
3	19%		
4	22%		
5	19%		
6	21%		
7	16%		
8	14%		
9	14%		
10	17%		
11	19%		
12	14%		

**6.3.3. Fase 3: Evaluar técnica y económicamente la inclusión de las materias primas fermentadas en la elaboración de un alimento balanceado para cerdos en la etapa de destete.**

Con base a los productos obtenidos y la información recolectada en las anteriores fases se realizara una evaluación técnica y económica de la inclusión de el *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación de harina de yuca y así determinar la viabilidad nutricional y económica del alimento balanceado. Este producto se comparará con una dieta comercial a base de harina de yuca y otra de maíz.

### **6.3.3.1. Evaluación de Digestibilidad *in situ***

Se le realizaron pruebas de Digestibilidad *in situ* en monogástricos a la harina fermentada para determinar el grado de digestibilidad y la biodisponibilidad de nutrientes que ofrece esta harina al animal. Estas pruebas de digestibilidad fueron desarrolladas por Corpoica Tibaitata Cundinamarca.

Para el bioensayo de la técnica de bolsa de nylon móvil (TBNM), los cerdos fueron sometidos a una técnica operatoria para la inserción duodenal de una cánula simple (24 mm x 65 mm largo). La cirugía se realizó en la clínica de grandes animales de la Universidad Nacional, de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. La técnica de duodenostomía consiste en extraer y fijar una pequeña porción del duodeno utilizando una cánula la cual se fija al duodeno y se extrae hacia la cavidad pélvica hacia el flanco derecho del animal a través del 11 a 12 espacio intercostal. Esta cánula fue elaborada manualmente y sirve como vehículo para permitir el paso de las bolsas de nylon a nivel tracto gastrointestinal y finalmente ser expulsadas en heces para su posterior análisis. Hasta el momento un cerdo con peso promedio de 35 kilos fue sometido a esta cirugía obteniendo hasta el momento una buena respuesta post operatoria, actualmente el cerdo se encuentra en periodo de observación y bajo tratamiento por cinco días administrándole un antibiótico de amplio espectro y un analgésico AINES, además una adecuada desinfección de la herida a nivel local, se espera que el proceso de recuperación sea por un periodo no mayor de dos semanas para iniciar los bioensayos, de digestibilidad y poder someter a los otros cerdos al mismo procedimiento quirúrgico (Ariza C. 2008)

Los cerdos utilizados para el desarrollo de este proyecto corresponden a tres cerdos machos castrados de raza *Landrace*, obtenidos de una explotación porcina bajo un sistema de producción intensivo de la granja experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá "MARENGO", los animales tenían un peso promedio inicial de 15.5 kilos, y 45 días de edad. Fueron trasladados a las instalaciones de CORPOICA y bajo adecuadas condiciones de mantenimiento recibieron alimento de preinicio a una ración diaria de 750gramos/animal/día durante la primera semana incrementando gradualmente hasta recibir actualmente una ración diaria de alimento para etapa de inicio de 1.26 kilos-día de alimento y agua a voluntad (Ariza, C. 2008)

Se utilizaron pequeñas bolsas de nylon (Foto 6) donde se depositaron muestras de un gramo cada una y se llevaron a congelar. Para insertar las bolsas en cada uno de los animales, estas deben ser descongeladas a 37°C en baño maria por 5 minutos e insertadas a través de la cánula duodenal en forma de T (Foto 7) en un periodo de tiempo no mayor a 5 minutos y en horas de alimentación de los cerdos durante el suministro de cada ración. Para nuestro experimento durante a cada cerdo se le inserta un total de 8 bolsas diarias 4 durante el periodo de alimentación de la mañana (9:30 am) y 4 durante la tarde (4:30 pm) . Durante cada periodo de alimentación se insertan 2 bolsas al inicio y 15 minutos después las 2 bolsas restantes.

Una vez se termine el periodo de prueba, las bolsas serán recuperadas en heces en un periodo de 24 a 48 horas, serán desechadas aquellas bolsas contaminadas por orina o por otro agente externo.

**Foto 6:** Bolsa de nylon



Fuente: Corpoica

**Foto 7:** Cánula Duodenal



Fuente: Corpoica

Una vez obtenidas, las bolsas se deben, limpiar sin agua y aislarse para ser congeladas inmediatamente (-20C) hasta su procesamiento, siguiendo la liofilización las bolsas son cortadas y abiertas para estimar los valores. Los ingredientes de las materias primas serán evaluados determinando el contenido de de energía digestible y digestibilidad de la materia orgánica, proteína cruda, almidón y fracciones fibra de los productos de la yuca, estos análisis se realizaran en las instalaciones del laboratorio de nutrición animal de CORPOICA CI-Tibaitatá-CBB.

**Foto 8:** Inserción de la cánula a nivel duodenal



Fuente: Corpoica

**Foto 9:** Cerdo canulado y post operatorio



Fuente: Corpoica

En la Tabla 9 se muestran los resultados de la digestibilidad *In situ* que se le realizó a la pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca, estos resultados se compararon con la digestibilidad de una harina integral y harina de follaje de yuca.

**Tabla 9:** Resultados de la digestibilidad *In situ* de la pasta fermentada y el follaje hidrolizado de yuca.

Serial	Muestra	Energía (Kcal/kg)	% Digestibilidad <i>In situ</i>
1	Pasta Fermentada	3553	81.11
2	Harina integral de yuca	3015	67.50
3	Follaje hidrolizado	1330	30.82
4	Harina de follaje	1200	18.14

**6.3.3.2. Evaluación DIVMS:** Adicional al análisis de digestibilidad *in situ* se realizaron pruebas de digestibilidad de materia seca DIVMS tanto a la harina fermentada como al follaje hidrolizado.

Con el objetivo de evitar errores ajenos a la exactitud de los análisis se decidió realizar la toma de muestras de los materiales por medio de la metodología aplicada por Lees R (1992), la cual se realizó de la siguiente forma: para los materiales granulares o pulverulentos se depositó en una bandeja de aluminio y se mezcló con una espátula, luego se trazó una cruz sobre el montó del material apilado y se tomó dos de los segmentos diagonalmente opuestos que se introdujeron en el paquete original, luego con el material restante se esparció nuevamente en la bandeja y se realizó el mismo procedimiento hasta que queda

una muestra de 100g.

Se enviaron 12 muestras cada una de 100 gramos al laboratorio de servicios analíticos de CIAT. Previo al envío de estas muestras, estas se sometieron a una molienda con un molino de martillos móviles (Foto 10) y una criba de 1 mm. Los análisis de digestibilidad de materia seca se utilizaran como un parámetro alternativo para evaluar la digestibilidad de la harina fermentada y el follaje hidrolizado. En la Tabla 10 se muestran los resultados de la DIVMS.

#### **6.3.3.3. Evaluación Bromatológica:**

Para la recolección de muestras se utilizó la metodología aplicada por Lees R (1992), Las muestras fueron empacadas en frascos de polietileno y se rotularon con su respectivo nombre, finalmente se llevaron las muestras al LSA del CIAT y el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. La caracterización Bromatológica estuvo a cargo del laboratorio de nutrición animal y la determinación de macro y micro minerales estuvo a cargo del LSA del CIAT. A continuación se muestran los resultados de los análisis (tablas 11 y 12)

#### **6.3.3.4. Elaboración de mezclas (Alimento balanceado).**

Con base a los resultados de los análisis bromatológicos y de digestibilidad in situ, se elaborara un alimento balanceado tomando como base las harinas fermentadas de yuca, y los requerimientos nutricionales (Proteína, minerales, energía, etc.) del

cerdo en la etapa de ceba y con base a este se elaborara un análisis de costos para evaluar la viabilidad de la implementación de este pienso en la producción porcícola.

**Foto 10:** Molino de martillos móviles



**Foto 11:** harina integral de yuca fermentada y follaje hidrolizado



Tomando como base los estudios realizados por Ayerbe 2002, quien realizó una dieta a base de harina de yuca, la cual fue utilizada por Granjas Paraíso Ltda. para la alimentación de cerdos en etapa de ceba. En esta ración se reemplazo la

harina integral de yuca por la pasta fermentada de yuca y además se adicionó el follaje hidrolizado. (Tabla 13)

**Tabla 10:** DIVMS% de la harina fermentada y el follaje hidrolizado.

<b>Serial</b>	<b>Muestra</b>	<b>DIVMS%</b>
1	Harina Fermentada	97.18
2	Harina Fermentada	95.31
3	Harina Fermentada	96.04
4	Harina Fermentada	95.24
5	Harina Fermentada	95.39
6	Harina Fermentada	95.43
7	Harina Fermentada	95.50
8	Harina Fermentada	96.16
9	Follaje hidrolizado	34.37
10	Follaje hidrolizado	23.50
11	Follaje hidrolizado	34.39
12	Follaje hidrolizado	35.48

Fuente: Laboratorio de servicios analíticos de CIAT

**Tabla 11:** Promedio de Resultados del análisis Bromatológico del follaje de yuca hidrolizado.

<b>Muestra</b>	<b>Proteína (g/kg)</b>	<b>EM (Mcal/kg)</b>	<b>Cen (g/kg)</b>	<b>E.ET. (g/kg)</b>	<b>FC (g/kg)</b>	<b>Humedad (g/kg)</b>
	<b>125.27</b>	<b>2.66*</b>	<b>53.65</b>	<b>75.45</b>	<b>397.30</b>	<b>189.60</b>

Fuente: Laboratorio de servicios analíticos de CIAT

\* La EM se calculo por diferencia.

**Tabla 12:** Promedio de Resultados del análisis Bromatológico de la Pasta de yuca fermentada

<b>Muestra</b>	<b>Proteína (g/kg)</b>	<b>EM (Mcal/kg)</b>	<b>Cen (g/kg)</b>	<b>E.ET. (g/kg)</b>	<b>FC (g/kg)</b>	<b>Humedad (g/kg)</b>
	<b>74.29</b>	<b>3.6</b>	<b>45.92</b>	<b>8.15</b>	<b>78.00</b>	<b>53.52</b>

Fuente: Laboratorio de servicios analíticos de CIAT

Para la elaboración de este pienso, inicialmente se debe hacer el pesaje de las materias primas, luego se procede a mezclar durante 15 a 20 minutos utilizando una mezcladora horizontal (Foto 12) y finalmente al proceso de formación de pellets, este último se logra con la ayuda de un molino para carnes el cual se adaptó para desempeñarse como un peletizador (Foto 13).

**Foto 12:** Mezcladora Horizontal



**Tabla 13** Composición alimenticia de la dieta para ceba de cerdos a base de pasta fermentada de yuca y follaje hidrolizado

Item	%
Pasta Fermentada de yuca	46.72%
Follaje hidrolizado	8.00%
Aceite de palma	4.00%
Mogolla de trigo	7.81%
Sorgo	10.68%
Soya integral extruida	20.00%
Carbonato de calcio	0.64%
Fosbic 18	1.15%
Sal	0.46%
DL – Metionina	0.17%
Lisina	0.23%
Triptófano	0.04%
Px levante	0.10%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

Con esta formulación se logra suplir los requerimientos nutricionales básicos al cerdo tanto de proteína, energía y minerales, se debe tener en cuenta que las contribuciones nutricionales de esta dieta fueron calculadas en base a los aportes que tiene cada una de las materias primas. En la tabla 14 se muestra más detalladamente el aporte nutricional de este alimento balanceado.

**Tabla 14:** Aporte nutricional de la dieta elaborada con pasta fermentada de yuca.

	<b>Aporte (%)</b>
proteína	14,118
E. Dig	3,644
E. Met	3,101
met	0,298
met + cis	0,448
Lisina	0,609
triptofano	0,164
Ac linoleico	3,391
fibra	8,867
ceniza	4,861
calcio	0,684
fósforo	0,326
sodio	0,163
ELN	63,022
grasa	9,133
NDT	79,015
balance	100,000

**Foto 13:** Peletizador



### **6.3.3.5. Evaluación económica.**

Antes de realizar una evaluación económica primero se realizó un sondeo al mercado porcícola, mediante entrevistas y visitas a puntos de distribución de alimentos balanceados y cooperativas de porcicultores que fabrican su propio alimento. Se indagó sobre las diversas materias primas que se están utilizando en la elaboración de piensos para ceba de cerdos, precios, y las problemáticas que esta viviendo hoy en día el sector porcícola.

Se realizó una visita a la cooperativa de porcicultores del municipio de Florida Valle (CPF) donde se observaron los diferentes equipos, y materias primas utilizadas para la elaboración del alimento. La producción diaria es de alrededor de 68 bultos de 40 kg cada uno, tienen equipo de pesaje, molienda, mezclado y empaque con capacidad de 500 kg/Bach. Dentro de las materias primas utilizadas se encuentran: Maíz, soya, trigo, aceite de palma entre otros, la mayoría de estas materias están siendo utilizadas en la producción de biocombustibles (etanol y biodiesel) lo que ha generado una gran controversia en el sector agropecuario ya que la disponibilidad de estos materiales para la alimentación se ha visto afectada generando u ocasionando diversas problemáticas tanto para el pequeño como para el gran poricultor. Con base a la entrevista con los asociados de la cooperativa una de las principales problemáticas que ellos tienen en el momento es la poca disponibilidad de materia prima y los altos costos de estas, lo que hace que siempre estén en busca de materias primas sustitutas, las cuales muchas veces no son de la mejor calidad y su aporte nutricional no es el adecuado, obligando al poricultor a cambiar muchas veces de forma semanal las formulaciones haciendo al animal más susceptible a enfermedades respiratorias e intestinales y disminuyendo la utilidad del poricultor debido a los bajos rendimientos del animal. Según la revista Porcicultura Colombiana No. 108 la

participación del costo del alimento sobre los costos totales de producción para la etapa de ceba en una explotación porcícola esta alrededor del 56 al 59 %, y para explotaciones porcícolas de ciclo completo los costos de alimento se encuentran alrededor del 78 y 79 % como se muestra en las tablas 15 y 16.

**Tablas 15:** Costos de producción para etapa de ceba en explotaciones porcícolas (abril 2007 )

RUBRO	BOGOTÁ		CALI		MEDELLÍN	
	Valor (\$)	Partic. (%)	Valor (\$)	Partic. (%)	Valor (\$)	Partic. (%)
Lechón	108.895	33%	107.476	34%	108.895	31%
Instalaciones	2.648	1%	2.648	1%	2.832	1%
Pie de cria	-	0%	-	0%	-	0%
Tasa de partos	-	0%	-	0%	-	0%
Repeticiones	-	0%	-	0%	-	0%
Mortalidad	1.742	1%	1.696	1%	1.791	1%
Alimento	184.423	57%	180.156	56%	204.951	59%
Droga y vacunas	276	0%	276	0%	276	0%
Mano de obra	12.704	4%	12.704	4%	13.281	4%
Comercialización	14.995	5%	14.593	5%	17.665	5%
Otros	250	0%	250	0%	250	0%
<b>TOTAL</b>	<b>325.933</b>	<b>100%</b>	<b>319.799</b>	<b>100%</b>	<b>349.941</b>	<b>100%</b>

Fuente: Adaptada de Revista Porcicultura Colombiana No.109. Mayo 2007

**Tabla 16:** Costos De Producción En Explotaciones Porcícolas De Ciclo Completo ( Abril 2007 )

RUBRO	BOGOTÁ		CALI		MEDELLÍN	
	Valor (\$)	Partic. (%)	Valor (\$)	Partic. (%)	Valor (\$)	Partic. (%)
Lechón	-	0%	-	0%	-	0%
Instalaciones	8.338	3%	8.334	3%	8.519	2%
Pie de cria	6.894	2%	6.894	2%	6.669	2%
Tasa de partos	395	0%	378	0%	42	0%
Repeticiones	1.126	0%	1.091	0%	1.149	0%
Mortalidad	3.032	1%	2.961	1%	3.093	1%
Alimento	250.784	78%	245.038	78%	274.240	79%
Droga y vacunas	7.062	2%	7.034	2%	7.034	2%
Mano de obra	26.626	8%	26.626	8%	27.204	8%
Comercialización	14.995	5%	14.953	5%	17.665	5%
Otros	1.547	0%	1.547	0%	1.547	0%
<b>TOTAL</b>	<b>320.799</b>	<b>100%</b>	<b>314.856</b>	<b>100%</b>	<b>347.162</b>	<b>100%</b>

Fuente: Adaptada de Revista Porcicultura Colombiana No.109. Mayo 2007

A continuación en las tablas 17, 18 y 19 se muestran tres diferentes dietas incluyendo una a base de pasta fermentada de yuca, se muestra los precios de cada una de las materias primas utilizadas, el costo de materia prima de un Kg. de alimento y el costo de elaboración de un Kg. de alimento.

Para la elaboración de los costos del alimento, se tomo como base los precios del año 2008 de las materias primas. Estos precios fueron suministrados por la Cooperativa de Porcicultores de Florida Valle y Clayuca CIAT (CPF)

**Tabla 17:** Costo de elaboración de una dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca para cebsa de cerdos

Item	%	Cant. (g)	Costo por kg MP (\$)	Costo M.P. de 1 kg de alimento (\$)
Pasta Fermentada de yuca	46,72%	467,20	378	171,93
Follaje hidrolizado	8,00%	80,00	242	19,36
Aceite de palma	4,00%	40,00	2500	100,00
Mogolla de trigo	7,81%	78,10	550	42,96
Sorgo	10,68%	106,80	650	69,42
Soya integral extruida	20,00%	200,00	1264	252,80
Carbonato de calcio	0,64%	6,40	104	0,67
Fosbic 18	1,15%	11,50	1780	20,47
Sal	0,46%	4,60	350	1,61
DL - Metionina	0,17%	1,70	14500	24,65
Lisina	0,23%	2,30	5800	13,34
Triptofano	0,04%	0,40	15000	6,00
Px levante	0,10%	1,00	9650	9,65
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>1000,00</b>		<b>732,85</b>
Mano de Obra (\$/kg)				6
Energia (\$/kg)				4
Empaque (\$/kg)				8
<b>Costo total kg alimento</b>				<b>750,85</b>

**Tabla 18:** Costo de elaboración de una dieta a base de harina de yuca para ceba de cerdos

Item	Cant. (g)	%	Costo por kg MP (\$)	Costo M.P. de 1 kg de alimento (\$)
Harina de yuca	480,93	49,00%	480	230,85
Aceite de palma	33	3,36%	2050	67,65
Mogolla de trigo	149,98	15,28%	550	82,49
Torta de soya 48	108,98	11,10%	1174	127,94
Soya integral extruida	186	18,95%	1264	235,10
Carbonato de calcio	12	1,22%	104	1,25
Fosbic 18	4	0,41%	1780	7,12
Sal	3,9	0,40%	350	1,37
DL - Metionina	1,69	0,17%	14500	24,51
Px levante	1	0,10%	9650	9,65
<b>Total</b>	<b>981,48</b>	<b>100,00%</b>		<b>787,92</b>
Mano de Obra (\$/kg)				6
Energia (\$/kg)				4
Empaque (\$/kg)				8
<b>Costo total kg alimento</b>				<b>805,92</b>

Fuente: Modificado de Dieta utilizada por Granjas Paraiso. Ayerbe. 2002

**Tabla 19:** Costo de elaboración de una dieta utilizada por la Asociación de Porcicultores de Florida

Item	%	Cant. (g)	Costo por kg MP (\$)	Costo M.P. de 1 kg de alimento (\$)
Maiz	520,17	52,02%	804	418,21
Torta de soya	186,06	18,61%	1174	218,43
Germen de maiz	100,03	10,00%	684	68,42
Harina de trigo	60,02	6,00%	494	29,65
Galleta	22,01	2,20%	650	14,30
Aceite Recuperado	20,01	2,00%	1414	28,29
Aceite de palma	10,00	1,00%	2050	20,51
Nucleo de maiz	30,01	3,00%	674	20,23
Fosfato 18%	34,01	3,40%	1780	60,54
Carbonato de calcio	10,00	1,00%	104	1,04
nucleo mineral	6,00	0,60%	9650	57,92
Lisina	1,18	0,12%	5800	6,85
Metionina	0,50	0,05%	14500	7,25
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>100,00%</b>		<b>951,64</b>
Mano de Obra (\$/kg)				6
Energia (\$/kg)				4
Empaque (\$/kg)				8
<b>Costo total kg alimento</b>				<b>969,64</b>

Fuente: Cooperativa de Porcicultores de Florida Valle. 2008

## 7. Análisis de resultados

Hutagalung (1977), dice que la harina de yuca posee alrededor de un 3% en proteína y alrededor de 3.7 Mcal/kg de Energía Metabolizable (EM), lo que convierte a la yuca en una excelente fuente energética, pero una mala fuente de proteína, con el proceso de fermentación este contenido de nutrientes se elevó a valores desde 6.5 hasta 9.2% en proteína (Tabla 11), la EM se mantuvo 3.6 Mcal/kg. Con este incremento de proteína podemos empezar a hacer una comparación con el maíz el cual tiene un contenido entre el 8 y 9% en proteína y 3.76 Mcal/kg de EM, e inclusive podemos empezar a hacer una sustitución de este en la formulación de dietas para animales.

Si se compara los aportes nutricionales de la dieta a base de pasta fermentada de yuca con los de una dieta comercial (Tabla 20) y tomando como base los requerimientos del cerdo en la etapa de ceba podemos observar que ambas dietas suplen la mayoría de estos. La dieta utilizada por CPF tiene déficit en el aporte energético, de fibra y mineral, a diferencia de la dieta propuesta en este trabajo de grado que suple todos los requerimientos nutricionales del cerdo, aunque las dos dietas suplen la necesidad de proteína del animal, el aporte proteico de la dieta de la CPF es mayor con una concentración del 17.64% en comparación con la dieta propuesta la cual tiene un aporte del 14.12%.

**Tabla 20:** Comparación nutricional de la dieta utilizada por la CPF. con la dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca.

	<b>Requerimiento</b>	<b>Aporte (%) dieta de CPF</b>	<b>Aporte (%) dieta propuesta</b>
<b>proteína</b>	13,0000	17,6447	14,118
<b>E. Dig</b>	3,4000	3,1652	3,644
<b>E. Met</b>	3,1000	2,9537	3,101
<b>met</b>	0,3300	0,3551	0,298
<b>met + cis</b>	0,3000	0,6417	0,448
<b>Lisina</b>	0,5700	0,7588	0,609
<b>triptofano</b>	0,1500	0,1224	0,164
<b>Ac linoleico</b>	3,0000	2,6143	3,391
<b>fibra</b>	5,0000	3,7008	8,867
<b>ceniza</b>	4,0000	2,8915	4,861
<b>calcio</b>	0,6500	1,1036	0,684
<b>fósforo</b>	0,3200	0,8606	0,326
<b>sodio</b>	0,1600	0,0006	0,163

Al comparar la dieta propuesta con una dieta a base de harina de yuca (Tabla 21) y tomando de nuevo los requerimientos nutricionales del cerdo en la etapa de ceba podemos observar que ambas dietas suplen la mayoría de estos. La dieta a base de harina de yuca tiene déficit en el aporte energético y de fibra, el aporte proteico es mas alta que la dieta propuesta con una concentración de 16.3% de proteína. La dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado tiene un aporte energético alto de 3.644 Mcal/kg esto puede deberse a que el follaje al someterlo a la hidrólisis incremento su energía metabolizable de 1.45 a 2.66 Mcal/g.

**Tabla 21:** Comparación nutricional de la dieta a base de harina de yuca. con la dieta a base de pasta fermentada y follaje hidrolizado de yuca.

	Requerimiento	Aporte (%) dieta harina de yuca	Aporte (%) dieta propuesta
<b>proteína</b>	13,0000	16,2879	14,118
<b>E. Dig</b>	3,4000	3,4200	3,644
<b>E. Met</b>	3,1000	3,0522	3,101
<b>met</b>	0,3300	0,5421	0,298
<b>met + cis</b>	0,3000	0,6107	0,448
<b>Lisina</b>	0,5700	0,7104	0,609
<b>triptofano</b>	0,1500	0,1646	0,164
<b>Ac linoleico</b>	3,0000	3,1949	3,391
<b>fibra</b>	5,0000	4,2172	8,867
<b>ceniza</b>	4,0000	4,2571	4,861
<b>calcio</b>	0,6500	0,9483	0,684
<b>fósforo</b>	0,3200	0,4320	0,326
<b>sodio</b>	0,1600	0,1424	0,163

Al realizar las pruebas de digestibilidad *In situ* se observa que al someter la harina integral de yuca a un proceso de fermentación en estado sólido con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) se logra un incremento de la digestibilidad en un 20%, pasando de 67.5 al 81.11% de digestibilidad. De igual forma el follaje al ser sometido a un proceso de hidrólisis acida la digestibilidad de este se incrementa en casi un 70%, pasando del 18.14% al 30.82% de digestibilidad.

En cuanto al follaje, Buitrago (1990) dice que una harina de follaje de yuca con una alta proporción de hojas debe acercarse a una concentración de alrededor del 20% en proteína y a 1.45 Mcal/kg de EM. Con el proceso de hidrólisis, la proteína

bajo hasta un 12 % (Tabla 10) pero tuvo un incremento energético con un aporte de EM de 2.66 Mcal/kg. La disminución de la proteína posiblemente es causada por el sometimiento de esta harina a altas temperaturas lo que puede generar una degradación de esta.

El análisis de costos se elaboro basándose en los resultados obtenidos en la visita realizada a la Cooperativa de Porcicultores de Florida Valle, los datos recolectados durante la elaboración de esta dieta y todo el desarrollo de este trabajo de grado. Si comparamos la dieta a base de pasta fermentada de yuca la cual tiene un costo de elaboración de \$750 por kg, con la dieta utilizada por la CPF con un costo de \$ 969 por kg, al reemplazar el maíz con la pasta fermentada y el follaje hidrolizado logramos un ahorro de \$ 219 por kg de alimento elaborado. Si la comparamos con la dieta de Ayerbe (2002) (Tabla 18) con un costo de \$ 806 por kg, logramos una disminución en los costos de \$ 56 por kg de alimento.

Si se observan los datos que muestra en la revista Porcicultura Colombiana (2008) (Tablas 15 Y 16) los costos de alimentación para un cerdo de 95 kg (ceba) es de \$ 180.156 lo que equivale al 56% de los costos totales y para un ciclo completo el costo del alimento es de \$245.038 equivalente al 78% de los costos totales. Si reemplazamos el alimento comercial por el de pasta fermentada, se obtiene un costo de \$135.000 manteniendo la tasa de consumo de 1.8 kg de alimento por animal día, pasando de una participación del 56% a una del 49% en la etapa de ceba y del 78% al 74% de los costos totales en el ciclo completo.

Al aumentar el nivel nutricional de la harina de yuca (raíces y follaje) por medio de los procesos de fermentación e hidrólisis, tenemos la capacidad de disminuir o quitar de las dietas materias primas como el maíz y la soya, las cuales al tener

precios tan elevados incrementan los costos de alimentación. De esta forma se puede tener una alternativa de alimentación más rentable con un buen aporte nutricional a un bajo costo en comparación con los alimentos actualmente utilizados en la industria porcina.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

### 8.1. Conclusiones

- El proceso de FES es una técnica que permite incrementar el nivel nutricional de la harina integral de yuca, elevando su contenido proteico de 3 a 9 % y, al mismo tiempo mejora su digestibilidad en un 20%. (Pasando de un 67.5 a un 81.11%)
- El costo de un kg de pasta fermentada (\$ 359) hace que esta metodología sea viable para el tratamiento de la harina integral de yuca y su posterior inclusión en dietas para cerdos en la etapa de ceba.
- La hidrólisis acida para el incremento nutricional de la harina de follaje yuca, posiblemente no es muy efectiva, ya que al someter este material a altas temperaturas desintegra la proteína disminuyendo la concentración de esta.
- El incremento del nivel nutricional de la Harina de yuca combinada con la inclusión del follaje hidrolizado permitió reemplazar el maíz de la formulación de la dieta, obteniendo un pienso que puede suplir las necesidades nutricionales básicas del cerdo en la etapa de ceba.
- El uso de la pasta fermentada y el follaje hidrolizado de yuca junto con otras materias primas, permite elaborar un alimento balanceado, que desde el punto de vista económico (\$ 789) puede presentar un mayor beneficio para el productor, al disminuir los costos de alimentación comparados con un alimento elaborado por productores (\$ 805 y \$ 969).

## 8.2. Recomendaciones

- Emplear el método de fermentación en estado sólido como medio para mejorar la calidad nutricional (Proteína y digestibilidad) de la harina integral de raíces de yuca.
- Desarrollar pruebas de fermentación en estado sólido y de hidrólisis ácida a nivel comercial con productores porcícolas de la región para determinar costos de producción.
- Experimentar con otro proceso de hidrólisis de la lignina y celulosa que pueda aumentar el nivel nutricional del follaje sin que se vea afectada la concentración de nutrientes de este.
- Evaluar técnica y económicamente la pasta fermentada de yuca y el follaje hidrolizado por medio de pruebas de campo.
- Realizar evaluaciones de FES con *Saccharomyces cerevisiae* empleando diferentes parámetros ambientales y equipos con agitación constante.

## BIBLIOGRAFIA

Ayerbe, A. Efecto en el rendimiento productivo de cerdos en la etapa de acabado por el reemplazo del total del maíz por harina de yuca en la dieta. Tesis de grado. Universidad de San Buenaventura. Cali – Colombia 2002

Best, R. 1990. El uso de la yuca en la alimentación animal.

Buitrago A., J. A. 1990. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Cadavid, L.F. 2006). Manual Aspectos Tecnológicos sobre Producción de Yuca.

Campabadal, C. Navarro, H.A. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales

Claudia Ariza, PhD. Investigadora Corpoica Tibaitata. Tomado de informe de avance del Proyecto “Evaluación y adaptación de sistemas de alimentación porcina con base en el cultivo de la yuca: una estrategia para mejorar la competitividad del sector porcícola en Colombia”, con fondos del MADR (Contrato No. 270/06 IICA-CIAT, Convenio No. 002/2006 IICA-MADR)

Correa, H. S.f. Aspectos fundamentales de las fermentaciones en estado sólido (FES).En:

<http://www.monografias.com/trabajos26/fermentaciones/fermentaciones.shtml>

DANE. Ficha técnica del censo de la actividad porcícola tecnificada en Colombia. 2003. En:

[http://64.233.167.104/search?q=cache:YMhUOzZ1zsgJ:www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/-Censo\\_Porcicola\\_2003.pdf+La+porcicultura+colombiana+ha+evidenciado+un+proceso+de+expansi%C3%B3n+dentro+de+la+econom%C3%ADa+nacional,+con+se%C3%B1ales+de+dinamismo+reflejadas+en+el+aumento+sostenido+del+sacrificio,+que+pas%C3%B3+de+crecer+el+0,29%25+en+2001,+al+9,18%25+en+2002+y+el+10,98%25+en+2003,&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co](http://64.233.167.104/search?q=cache:YMhUOzZ1zsgJ:www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/-Censo_Porcicola_2003.pdf+La+porcicultura+colombiana+ha+evidenciado+un+proceso+de+expansi%C3%B3n+dentro+de+la+econom%C3%ADa+nacional,+con+se%C3%B1ales+de+dinamismo+reflejadas+en+el+aumento+sostenido+del+sacrificio,+que+pas%C3%B3+de+crecer+el+0,29%25+en+2001,+al+9,18%25+en+2002+y+el+10,98%25+en+2003,&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co)

Danielsen, V. Nutrición y alimentación de lechones en condiciones de manejo del norte de Europa. En: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/98CAPXII.pdf>

Diego P. R. Ascheri. Sf. Determinación del tiempo óptimo de la fermentación del almidón de yuca (*manihot esculenta*, crantz), en la fabricación del almidón agrio ("polvilho azedo"). En: <http://www.monografias.com/trabajos6/deteti/deteti.shtml>

Doelle H. W., Mitchell D. A. y Rolz C. E. (1992). Solid Substrate Cultivation. Elsevier Applied Science, London, N. York, Chapter 3, 35.

FAO. 2004. Statizal. Data base. En: [http://www.fao.org/es/ESS/yearbook/vol\\_1\\_1/site\\_es.asp?page=trade](http://www.fao.org/es/ESS/yearbook/vol_1_1/site_es.asp?page=trade)

FEDNA. 2003. Índice Tablas FEDNA de ingredientes para piensos. En: <http://www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm>

Fermentación. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n>. 2007

Ferrer, J., G. Páez, Z. Mármol, E. Ramones, C. Chandler, M. Marín y A. Ferrer. 2001. Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes. Biores. Technol. 76: 39-44.

Gil, J.L. 2004 Seminario Uso de la yuca en la alimentación animal

Lees, R. 1992. Análisis de los alimentos. Métodos analíticos y de control de calidad. Ed. Acribia. Zaragoza.

Mitchell, D. A., Berovic, M. y Krieger N. (2002). Overview of solid state bioprocessing Biotechnology Annual Review 183 © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved. Volume 8. M.R. El-Gewely, editor.

Monsalve, G. Producción de etanol a partir de cascara de banano y almidón de yuca. En: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532006000300002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532006000300002&lng=es&nrm=iso)

Oriol E., Raimbault M., Roussos S., Viniegra G. (1988). Water and water activity in the solid state fermentation of cassava starch by *Aspergillus niger*. Appl. Microbiol. Biotechnol., 27: 498-503.

Ospina, B. Gil, J. L. Buitrago J. A. Sf. Producción de yuca forrajera. En: [www.clyuca.org](http://www.clyuca.org)

Preston, T.R. s.f. El follaje de la yuca (*Manihot esculenta* Cranz) como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. En: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris/espanol/document/agrofor1/presto24.htm>

SEGURA F., ECHEVERRI R., PATIÑO A y MEJÍA A. 2007. Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. En: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v14n1/v14n1a11.pdf>

## Anexos

### Anexo A

#### Resultados de materia seca de la Pasta de yuca fermentada con levadura.

<b>Análisis:</b>	Materia Seca						
<b>Tipo de Muestra:</b>	Pasta de yuca Fermentada						
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 07 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 09 -2007				
# de Muestra	Peso bandeja (g)	Peso Bandeja + Harina (g)	Harina Humeda (g)	Peso bandeja + Harina seca (g)	Harina seca (g)	Humedad retirada (g)	% M.S.
1	92	542	450	250	158	292	35%
2	94	582	488	265	171	317	35%
3	47	2050	2003	816	769	1234	38%
4	47	1893	1846	748	701	1145	38%
5	92	508	416	248	156	260	38%
6	103	549	446	271	168	278	38%
7	103	537	434	266	163	271	38%
8	94	551	457	266	172	285	38%

## Anexo B

### Resultados de materia seca de la Pasta de yuca fermentada con levadura

<b>Análisis:</b>	Materia Seca						
<b>Tipo de Muestra:</b>	Harina integral de yuca Fermentada						
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 15 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 17 -2007				
<b># de Muestra</b>	<b>Peso bandeja (g)</b>	<b>Peso Bandeja + Harina (g)</b>	<b>Harina Humeda (g)</b>	<b>Peso bandeja + Harina seca (g)</b>	<b>Harina seca (g)</b>	<b>Humedad retirada (g)</b>	<b>% M.S.</b>
1	92	607	515	313	221	294	43%
2	94	529	435	277	183	252	42%
3	93	551	458	285	192	266	42%
4	101	511	410	272	171	239	42%
5	94	526	432	271	177	255	41%
6	104	538	434	285	181	253	42%
7	103	580	477	308	205	272	43%
8	103	532	429	277	174	255	41%
9	102	560	458	286	184	274	40%
10	103	544	441	283	180	261	41%
11	91	535	444	272	181	263	41%
12	102	556	454	289	187	267	41%
13	105	560	455	287	182	273	40%
14	92	530	438	272	180	258	41%
15	102	559	457	292	190	267	42%
16	103	572	469	298	195	274	42%

## Anexo C

### Resultados de materia seca del follaje hidrolizado de yuca

<b>Análisis:</b>	Materia Seca						
<b>Tipo de Muestra:</b>	Follaje hidrolizado						
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 29 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 30 - 2007				
# de Muestra	Peso bandeja (g)	Peso Bandeja + Harina (g)	Harina Humeda (g)	Peso bandeja + Harina seca (g)	Harina seca (g)	Humedad retirada (g)	% M.S.
1	102	268	166	129	27	139	16%
2	102	262	160	123,8	21,8	138,2	14%
3	104	274	170	128	24	146	14%
4	102	268	166	130	28	138	17%
5	93	209	116	115	22	94	19%
6	103	221	118	120	17	101	14%

## Anexo D

### Resultados de materia seca del follaje hidrolizado de yuca

<b>Análisis:</b>	Materia Seca						
<b>Tipo de Muestra:</b>	Follaje hidrolizado						
<b>Fecha inicio:</b>	Nov - 22 - 2007	<b>Fecha Final:</b>	Nov - 23 - 2007				
<b># de Muestra</b>	<b>Peso bandeja (g)</b>	<b>Peso Bandeja + Harina (g)</b>	<b>Harina Humeda (g)</b>	<b>Peso bandeja + Harina seca (g)</b>	<b>Harina seca (g)</b>	<b>Humedad retirada (g)</b>	<b>% M.S.</b>
1	101	179,1	78,1	110	9	69,1	12%
2	92	161,6	69,6	104	12	57,6	17%
3	93	170,9	77,9	108	15	62,9	19%
4	93	153,4	60,4	106	13	47,4	22%
5	92	199,9	107,9	112	20	87,9	19%
6	102	153,8	51,8	113	11	40,8	21%

## Anexo E

**Resultados del análisis bromatológico realizado al follaje hidrolizado de yuca.**

<b>Muestra</b>	<b>Proteína (g/kg)</b>	<b>Cen (g/kg)</b>	<b>E.ET. (g/kg)</b>	<b>FC (g/kg)</b>	<b>Humedad (g/kg)</b>
<b>1</b>	<b>128.81</b>	<b>48.00</b>	<b>86.00</b>	<b>459.60</b>	<b>164.00</b>
<b>2</b>	<b>125.27</b>	<b>54.60</b>	<b>74.20</b>	<b>363.20</b>	<b>197.80</b>
<b>3</b>	<b>121.78</b>	<b>42.00</b>	<b>87.80</b>	<b>382.40</b>	<b>188.20</b>
<b>4</b>	<b>125.21</b>	<b>70.00</b>	<b>53.80</b>	<b>384.00</b>	<b>208.40</b>

Laboratorio de Servicios Analíticos CIAT

## Anexo F

**Resultados del análisis bromatológico realizado a la pasta fermentada de yuca**

<b>Muestra</b>	<b>Proteína (g/kg)</b>	<b>Cen (g/kg)</b>	<b>E.ET. (g/kg)</b>	<b>FC (g/kg)</b>	<b>Humedad (g/kg)</b>
<b>1</b>	<b>91.58</b>	<b>64.40</b>	<b>9.7</b>	<b>94.80</b>	<b>59.30</b>
<b>2</b>	<b>67.20</b>	<b>5.10</b>	<b>7.3</b>	<b>64.80</b>	<b>54.20</b>
<b>3</b>	<b>73.49</b>	<b>56.60</b>	<b>11.0</b>	<b>75.00</b>	<b>55.60</b>
<b>4</b>	<b>64.91</b>	<b>57.60</b>	<b>4.6</b>	<b>77.40</b>	<b>45.00</b>

Laboratorio de Servicios Analíticos CIAT