

**ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA UTILIZACIÓN DE HARINA DE YUCA
EN PANIFICACIÓN**

SERGIO HENAO OSORIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SEDE PALMIRA**

2004

**ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LA UTILIZACIÓN DE HARINA DE YUCA
EN PANIFICACIÓN**

SERGIO HENAO OSORIO

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

Modalidad de trabajo de grado: Proyecto Final

Línea de profundización: Agroindustrias específicas

Programa estratégico: Ciencia, tecnología, desarrollo y comunicación.

Directora

JOHANNA ARISTIZABAL GALVIS

Ingeniera Química

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SEDE PALMIRA**

2004

“La facultad y los jurados del trabajo de grado no serán responsables por las ideas emitidas por el autor o autores del mismo”.

(Artículo 24, Resolución 04 de 1974)

Dedico a...

Mi madre por vivir para amarme, por sus sacrificios, por estar siempre a mi lado, por ser el motivo y la causa de mi lucha para salir adelante y por enseñarme a construir mis caminos con base en el presente.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Un agradecimiento especial a Johanna Aristizabal Galvis, mi directora, compañera y amiga, por contagiarme de su optimismo y perseverancia y por luchar a mí lado en la búsqueda y consecución de mis metas.

Al personal de CLAYUCA, por apoyarme, y compartir sus conocimientos durante el desarrollo de la investigación.

Un agradecimiento especial a Don Armando Marín, Propietario de la panadería “La Estrella”, por acogerme en su empresa con cariño sincero.

A los jurados por sus valiosos comentarios y correcciones, juicios fundamentales para la construcción del documento final.

A mis amigos y compañeros por compartir conocimientos y por hacer más ameno mi tiempo en la Universidad.

A Vanesa por estar junto a mí en las buenas y en las malas, por creer en mí y apoyarme en todos mis proyectos.

Un agradecimiento especial a la Dra. Blanca Lucía Ospina, por ser mi gran maestra y confiar en mis capacidades a lo largo de toda la carrera.

A mi abuela Libia, por la paciencia de tolerar mi humor y por acogerme en su hogar durante toda mi vida universitaria.

A la familia Echeverri Molina, por enseñarme el correcto proceder y mostrarme que la vida es una lucha diaria, que se debe lidiar con tesón y fiereza.

Nota de aceptación

I. A. I. Luis Fernando Mejía

Jurado 1

Ph.D. Alejandro Fernández

Jurado 2

I.Q. Johanna Aristizabal Galvis

Directora del Proyecto

Palmira, Noviembre 25 de 2004

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sección transversal de una raíz de yuca.	6
Figura 2. Producción mundial de yuca en los periodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005.	8
Figura 3. Distribución de la producción de yuca en Colombia (2001).	10
Figura 4. Esquema de un grano de trigo.	11
Figura 5. Importaciones de trigo en Colombia en el periodo 1997-2002.	14
Figura 6. Precio de importación de trigo en Colombia en el periodo 1997-2002.	14
Figura 7. Producción de trigo en Colombia en el periodo 1997-2002.	15
Figura 8. Balanza para el pesado de materias primas.	25
Figura 9. Mezcladora de harinas	25
Figura 10. Amasadora de harinas.	26
Figura 11. Rodillos para boleado de masas.	26
Figura 12. Formado manual de las masas.	27
Figura 13. Cortadora mecánica de 30 divisiones.	27
Figura 14. Cámara de fermentación.	28
Figura 15. Horno de panificación.	29
Figura 16. Consumo per cápita de pan en algunos países de Europa y Suramérica (2001).	31
Figura 17. Proteínas gliadina y glutenina, responsables de la estructura del gluten.	34
Figura 18. Diagrama de las variables de respuesta para la evaluación del potencial de panificación de las harinas compuestas trigo-yuca.	49
Figura 19. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad CMC-40.	57
Figura 20. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad MCOL 1505.	58
Figura 21. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad	59

HMC-1.	
Figura 22. Diagrama de flujo de la producción de pan común, molde y hamburguesa.	62
Figura 23. Características de las masas.	72
Figura 24. Amilograma de harinas de yuca de las variedades CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1 y de la harina de trigo.	74
Figura 25. Amilograma de harina de yuca CMC-40 y de harinas compuestas de esta variedad con porcentajes sustitución del 5, 10 y 15 %.	75
Figura 26. Amilograma de harina de yuca MCOL-1505 y de harinas compuestas de esta variedad con porcentajes sustitución del 5, 10 y 15 %.	75
Figura 27. Amilograma de harina de yuca HMC-1 y de harinas compuestas de esta variedad con porcentajes sustitución del 5, 10 y 15 %.	76
Figura 28. Absorción de agua en pan común	77
Figura 29. Trabajo mecánico en pan común	77
Figura 30. Absorción de agua en pan molde	77
Figura 31. Trabajo mecánico en pan molde	77
Figura 32. Absorción de agua en pan hamburguesa	78
Figura 33. Trabajo mecánico en pan hamburguesa	78
Figura 34. Muestras de panes tipo común obtenidos con harinas compuestas trigo-yuca y utilizados para medir el volumen específico.	79
Figura 35. Volumen específico en pan tipo común elaborado con harinas compuestas trigo-yuca a los niveles de sustitución indicados.	80
Figura 36. Panes comunes, molde y hamburguesa producidos en los ensayos	82
Figura 37. Miga del pan común de todas las variedades	82
Figura 38. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de aroma de las pruebas de consumidores	84
Figura 39. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de textura de la miga de las pruebas de consumidores	86
Figura 40. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de sabor de las pruebas de consumidores	87
Figura 41. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de aceptabilidad de	89

las pruebas de consumidores	
Figura 42. Esquema de un alveograma	115
Figura 43. Esquema de un farinograma	117
Figura 44. Esquema de un amilograma	119
Figura 45. Símbolos utilizados en la presentación del diagrama de cajas y alambres.	128

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química de la harina de yuca seca de la raíz completa y de la raíz sin cáscara.	7
Tabla 2. Producción mundial de trigo en el período 1995-2000.	13
Tabla 3. Alimentos en los cuales puede ser utilizada la harina de yuca en su elaboración.	17
Tabla 4. Composición normal de la harina de trigo para panificación.	33
Tabla 5. Constituyentes del gluten seco.	35
Tabla 6. Composición y normas de calidad de trozos de yuca seca en Colombia y Tailandia.	39
Tabla 7. Composición y normas de calidad de harina de yuca en Colombia y África.	40
Tabla 8. Características de las variedades de yuca seleccionadas.	47
Tabla 9. Diseño de experimentos propuesto.	48
Tabla 10. Listado de equipos.	50
Tabla 11. Tipo de análisis y métodos analíticos utilizados.	51
Tabla 12. Formulación de pan común.	61
Tabla 13. Formulación de pan molde.	61
Tabla 14. Formulación de pan hamburguesa.	61
Tabla 15. Análisis microbiológicos de las harinas de yuca obtenidas.	64
Tabla 16. Características fisicoquímicas de las harinas de trigo y yuca.	65
Tabla 17. Granulometría de la harina	67
Tabla 18. Características de las harinas según farinograma.	68
Tabla 19. Características de las harinas según alveograma.	70
Tabla 20. Valores de índices de caída o Falling Number de las harinas	71
Tabla 21. Características de las harinas según amilograma	73
Tabla 22. Características físicas de los panes.	80
Tabla 23. Observación de la presencia de moho en los panes tipo común.	81
Tabla 24. Costo de materias primas en la fabricación de pan.	95

Tabla 25. Estimación de los costos variables diarios promedio en la fabricación de pan.	95
Tabla 26. Mercado potencial para la compra de harina de yuca en panaderías de Palmira	96
Tabla 27. Mercado objetivo para la compra de harina de yuca en panaderías de Palmira	96
Tabla 28. Formulación de pan molde, según norma técnica Colombiana 291	120
Tabla 29. Formulación de pan tomada de Giacco y Appolonia, 1977	120
Tabla 30. Formulación de pan tomada de Gillian, <i>et al</i> , 1992	121
Tabla 31. Formulación de pan tomada de Crabtree, <i>et al</i> , 1978	121
Tabla 32. Formulación de pan tomada de Eggleston y Omoaka, 1994	121
Tabla 33. Formulación de pan tomada de Acuña, 1974	122
Tabla 34. Formulación de pan tomada de León, Máscara y Guillén, 1992	122
Tabla 35. Características fisicoquímicas de calidad de harina de trigo NTC-267	124
Tabla 36. Características microbiológicas de calidad para la harina de trigo NTC-276.	124

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Métodos de análisis de las harinas en el proceso de panificación.	30
Cuadro 2. Clasificación de harinas según los parámetros del alveograma.	36
Cuadro 3. Combinaciones de los 36 ensayos propuestos.	48

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Norma del Codex Alimenticio para la harina de yuca comestible	112
Anexo B. Análisis para determinar la calidad de una harina panificable	115
Anexo C. Formulaciones típicas de panes	120
Anexo D. Certificado de calidad de la harina de trigo panificable utilizada	123
Anexo E. Cuestionario de evaluación utilizado en las pruebas de consumidores	125
Anexo F. Equipo para determinar el volumen específico del pan	126
Anexo G. Descripción del método de análisis estadístico de diagramas de cajas y alambres	127

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la tecnología para la utilización de harina de yuca en panificación, contribuyendo al desarrollo de la agroindustria de la yuca en la generación de productos de mayor valor agregado, como lo es la harina de yuca para consumo humano. Se utilizaron tres variedades de yuca (CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1), tres tipos de sustitución (5, 10 y 15 %) en la elaboración de tres tipos de pan (común, molde y hamburguesa), para determinar su influencia en el producto obtenido. La metodología seguida se basó en la revisión del conocimiento científico y tecnológico de la literatura técnica, contempló la selección de las harinas de yuca y las formulaciones de pan más adecuadas para la producción de pan; confrontando experimentalmente la validez de los planteamientos teóricos por medio de los ensayos de panificación realizados en la panadería “La Estrella” en Palmira. Se determinó mediante análisis de tipo reológico, fisicoquímicos, pruebas sensoriales de aceptación y comportamiento en proceso, que el pan tipo común elaborado con la variedad MCOL-1505 presentó el mejor comportamiento usando niveles de sustitución de 5 % y 10 %. Finalmente, se determinaron los indicadores técnico-económicos para la fabricación de pan usando harina compuesta trigo-yuca, como base para determinar su valor agregado en el sector panadero.

SUMMARY

The objective of this work was to adapt and to validate the technology for use cassava flour in breadmaking, contributing to development cassava's agroindustry generating products with major added value, like is cassava flour for human consumption. Three cassava varieties were used (CMC-40, MCOL-1505 and HMC-1), three substitution types (5, 10 and 15%) in elaboration of three bread types (common, mold and hamburger), to determine their influence in the obtained product. The followed methodology was based on the review of the scientific and technological knowledge of technical literature, it contemplated the selection of cassava flours and appropriate formulations more suitable for breadmaking; confronting the validity of theoretical positions experimentally by means of breadmaking; tests carried out in the bakery "La Estrella", Palmira. Analysis of rheological and physicochemical characteristics, and sensorial tests of acceptance and behavior during the manufacturing process was determined where the bread common type elaborated with the variety MCOL-1505 presented the best behavior using levels of substitution of 5% and 10%. Finally, technical-economic indicators were determined for the production of bread using composite flour wheat-cassava, like base to determine its added value in the sector baker.

INTRODUCCIÓN

En muchos países en vías de desarrollo, el consumo de pan se ha extendido y hay una creciente dependencia del trigo importado. Sin embargo, la mayoría de estos países cultivan productos básicos distintos del trigo, como maíz, yuca, ñame, batata, entre otros, los cuales aunque no poseen las mismas características panificables del trigo, pueden usarse para la fabricación de pan. Desde el punto de vista de desarrollo económico del país sería favorable que los países dependientes del trigo, pudieran reducir estas importaciones, o incluso eliminarlas, satisfaciendo la demanda de pan con productos cultivados en el mismo país. Para ello es importante trabajar en el fomento de hábitos alimenticios con productos autóctonos de cada región.

Colombia es uno de los países más avanzados en el cultivo de yuca; pues cuenta con una experiencia secular y con uno de los centros mundiales más importantes de investigación sobre la yuca como lo es el CIAT y a nivel nacional con CLAYUCA y CORPOICA; donde se han generado grandes avances en el mejoramiento del cultivo. La yuca contribuye con más del 2 % de la producción agrícola nacional, muy por encima de cultivos como el trigo y el maíz, la cual puede destinarse a la producción de harina de yuca de alta calidad para utilizarse como sustituto parcial no solo de harinas de trigo, sino de harinas de otros cereales como el maíz y arroz, para utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pan, pastas, mezclas para tortas, bizcochería, mezclas de harinas para coladas, sopas y productos extruídos, entre otros.

Diferentes estudios en otros países y a nivel nacional se han realizado para fabricar pan por métodos tradicionales a partir de harina de yuca y la mayoría coincide en que el límite superior de dicha adición se encuentra entre 10-15 % de sustitución. Aunque la principal desventaja de la harina de yuca en la fabricación de pan es su bajo contenido de proteína en comparación con la proporción y propiedades de la proteína del trigo, que es la responsable de la formación del gluten en los procesos panarios, y es por eso que no puede ser sustituida completamente ni en porcentajes muy altos; el aporte que la harina de yuca presenta en la

elaboración de pan es su contenido de fibra mayor que el del trigo y la hace comparable con el uso de harinas integrales.

La sustitución parcial de la harina de yuca permite a los panaderos ahorrar en los costos de los insumos; ya que es posible obtener la harina de yuca a menor precio que la harina de trigo. Esto daría como resultado la reducción de las importaciones de trigo y la disminución de la fuga de divisas. Si se remplazara en un 10 % la harina de trigo consumida a nivel nacional, se requerirían aproximadamente 300.000 toneladas anuales de yuca para cubrir la demanda de la harina de yuca requerida.

El comportamiento panadero de las harinas compuestas trigo-yuca depende de varios factores que aún no están bien definidos, por lo cual no se han seleccionado variedades de yuca con buenas propiedades panificables.

Al respecto, este proyecto buscó contribuir al aporte científico sobre el comportamiento reológico y en proceso de las harinas compuestas trigo-yuca en la elaboración de pan. Consecuentemente, la metodología seguida contempló la definición de variables y niveles de operación, con base en el análisis de la información tecnológica disponible; se utilizaron tres variedades de yuca (CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1), tres tipos de sustitución (5, 10 y 15 %) en la elaboración de tres tipos de pan (común, molde y hamburguesa) para determinar su influencia en el producto obtenido. Se evaluaron diferentes tratamientos para el procesamiento de la harina y se definieron las formulaciones para la elaboración de los panes. La fase experimental se llevó a cabo en la panadería “La Estrella” ubicada en Palmira, siguiendo las mismas técnicas de elaboración del pan que sigue tradicionalmente esta panadería, solamente incluyendo la sustitución de harina de trigo por la harina compuesta trigo-yuca.

En el estudio se realizaron análisis para determinar la calidad de una harina panificable, que incluyeron farinograma, alveograma, amilograma, falling number, análisis microbiológicos y físicoquímicos, determinación de volumen específico, vida útil y pruebas sensoriales de

aceptación de los panes obtenidos entre otros, comparando siempre con los panes de harina de trigo como control.

Finalmente se determinaron los indicadores técnico económicos de la fabricación de pan usando harina compuesta trigo-yuca como base para estimar su viabilidad comercial y su beneficio económico en el gremio panadero.

1. ASPECTOS GENERALES

Como suceden en muchos países en Colombia existe un agudo y creciente desbalance entre la producción de trigo y los requerimientos para abastecer las necesidades del mercado. Esto se debe a la baja producción (40.000 toneladas en el 2002) y rendimientos (1.85 kg/ha en el 2002) de este cereal en el país, al incremento de la población y al aumento del consumo per cápita (18 kg/hab año, datos del 2001). Esta situación sólo se ha podido compensar mediante la importación del cereal en cantidades mayores cada año (véase figura 5), a precios que van en aumento. El problema no es nuevo ni exclusivo de nuestro país y a dado origen a que de tiempo atrás se hayan realizado estudios encaminados a incorporar materias primas de origen local en alimentos populares como son el pan y las pastas alimenticias entre otros. El uso parcial de harinas compuestas, en las cuales el componente trigo ha sido reemplazado por otro farináceo ha sido una solución planteada, donde la harina de yuca se ha identificado como un sustituto favorable tanto desde el punto de vista técnico como económico. A continuación se presenta una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio y del contexto que enmarca el proyecto.

1.1 LA YUCA

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. La yuca es originaria de Suramérica, fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada en los trópicos y subtropicos desde entonces. Es un arbusto de crecimiento perenne, se propaga desde los 30° de latitud norte y sur. Cerca del Ecuador crece a altitudes de 2300 msnm y a menores cuando se aparta de este. Se propaga de forma vegetativa, lo que permite formar clones de yuca. Es afectada por enfermedades de tipo sistémico (López, 2002). Dependiendo la región recibe diferentes nombres (Ceballos, 2002); la especie *Manihot esculenta* es denominada popularmente como *Yuca* (Norte de Sur América, América Central y las Antillas), *Mandioca* (Argentina, Brasil y Paraguay), *Tapioca* (sur del

continente), *Cassava* (UE, UK, USA), *Guacamote* (México), *Casabe* (en islas del Caribe, Colombia y Venezuela), *Aipim* y *macacheira* (Brasil), *Suahili*, *Mhogo*, *Omowogo* (Africa).

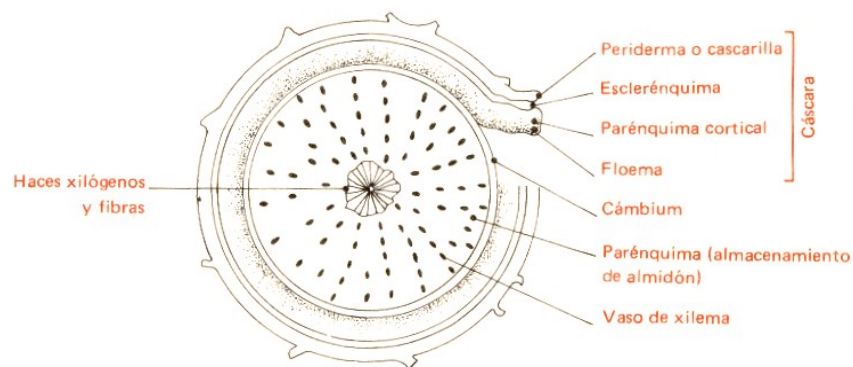
1.1.1 Prácticas de cultivo. Generalmente se cultiva en zonas tropicales de suelos pobres donde la precipitación es mayor de 750 mm por año. El ciclo de crecimiento (siembra-cosecha) depende de las condiciones ambientales, siendo más corto (9–12 meses) en áreas más cálidas y más largo (hasta 24 meses) en regiones más frías o más secas (Cock, 1979). Puede propagarse por medio de estacas o semilla sexual. Las estacas de yuca pueden sembrarse inmediatamente después de cortadas de plantas maduras o luego de un período de almacenamiento (alrededor de 6 meses), normalmente se cortan en varas (1 m o más largas). Las condiciones agroecológicas del cultivo, el manejo cultural y la variedad utilizada son factores que determinan los rendimientos del cultivo (Ellis y Roberts, 1979). La época de cosecha es definida por el agricultor en función de la productividad del cultivo, del contenido de almidón de las raíces y de las propiedades culinarias. En general, el factor principal para definir la cosecha es la edad del material vegetal, que por regla general es de 8 a 10 meses en regiones por debajo de los 1000 metros de altitud y por encima de esta altura la cosecha se demora un mes por cada 100 metros de elevación (López, 2002).

1.1.2 Variedades de yuca. La especie *Manihot esculenta* Crantz es la única cultivada entre las docenas de especies del género *Manihot* pertenece a la clase Dicotyledoneae, al orden Euphorbiales, familia Euphorbiaceae, tribu *Manihoteae*, género *Manihot*, especie *Manihot esculenta* Crantz. Puede decirse que el orden euphorbiales está representado por unas 7200 especies. (Jaramillo, 2002). Dentro del género *Manihot* se han clasificado alrededor de un centenar de especies, entre las cuales la única cultivada comercialmente es la *Manihot esculenta* Crantz, cuyos sinónimos son: *Manihot utilísima*, *Manihot edulis*, y *Manihot aipi* (Domínguez *et al*, 1982). Dentro de esta especie existen variedades amargas y dulces según su contenido de ácido cianhídrico. Existen numerosos cultivares de esta especie, los cuales se distinguen por sus características morfológicas tales como altura de la planta, tamaño, forma y color de la hoja; tamaño, forma y color de las raíces. Las variedades amargas se utilizan en la fabricación de almidón comercial por ser de más alto rendimiento y las variedades dulces son utilizadas para consumo en la mesa.

1.1.3 Características de la raíz. Las partes externas que se distinguen de las raíces de una planta adulta de yuca son: la porción tuberosa; que en el extremo inferior puede tener un carácter fibroso y en la parte superior el cuello o pedúnculo, mediante el cual las raíces permanecen unidas al tallo. El tamaño del cuello varía desde ser ausente o corto (menos de 1 cm) hasta muy largo (mas de 8 cm). El largo del cuello es una característica de interés comercial; cuando es muy corto dificulta el proceso de separación de las raíces tuberosas del tallo y cuando es muy largo este se rompe fácilmente. El tamaño y forma de las raíces puede ser muy variable, dependen de la variedad y de las condiciones ambientales en que la planta crece (Ceballos *et al*, 2002). Los tejidos que componen la raíz tuberosa son sucesivamente, de la parte externa hacia el interior, la cáscara, la pulpa y las fibras centrales. En la figura 1 se muestran las partes más importantes de una raíz de yuca.

Uno de los aspectos mas relevantes en la utilización de la yuca es la presencia del glucósido cianogénico *linamarina*, el cual en presencia de la enzima linamarasa y de ácidos, se hidroliza originando ácido cianhídrico en dosis que pueden ser desde inocuas hasta mortales (Domínguez *et al*, 1982). El ácido cianhídrico se halla en mayor concentración en la cáscara de la raíz; también se encuentra en similares concentraciones en las hojas.

Figura 1. Sección transversal de una raíz de yuca.



Fuente: Tomado de Wheatley y Fernández, 1983.

Sin duda alguna el principal valor económico del cultivo de la yuca depende de sus raíces, por ser el órgano de almacenamiento de energía tiene diversos usos en la alimentación humana, animal y en la extracción de almidones. El contenido de materia seca de la raíz de yuca fluctúa entre 30-40 % aunque ocasionalmente se observan casos que exceden este

rango. Tanto las raíces como las hojas de yuca son utilizadas; las primeras son una fuente importante de carbohidratos y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas. En la tabla 1 se presenta la composición en base seca de la raíz de yuca, donde se observa que el contenido de almidón es mayor en la raíz con cáscara que en la raíz pelada, dado que el almidón se encuentra almacenado en la parénquima del material.

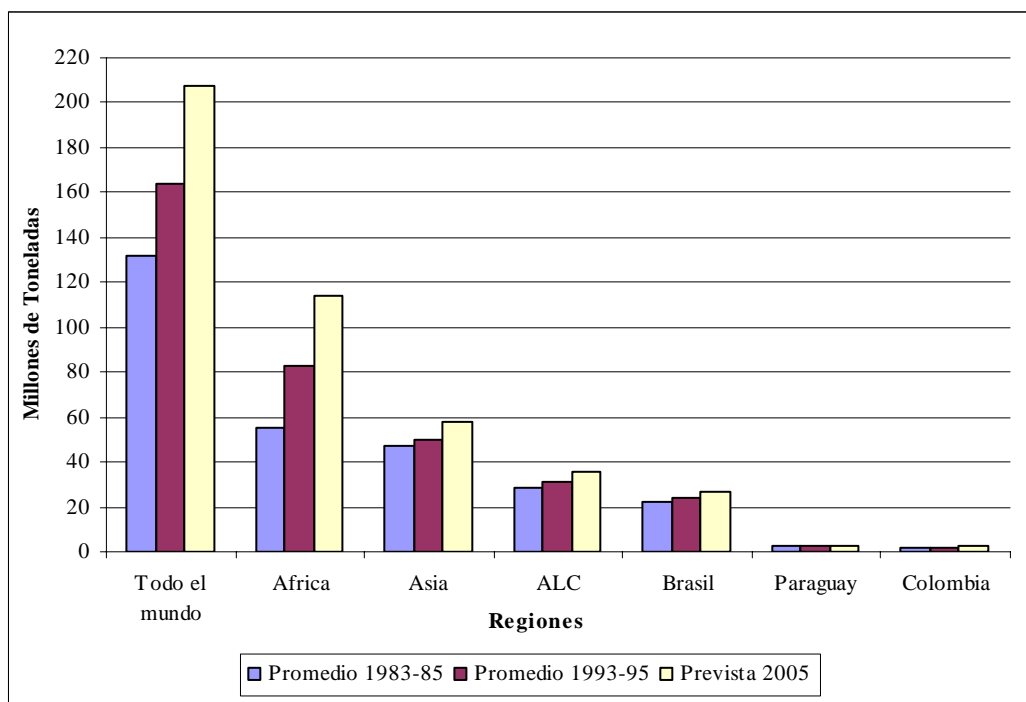
Tabla 1. Composición química de la harina de yuca seca de la raíz completa y de la raíz sin cáscara.

Componentes	Contenido (base seca) (%)	
	Raíz con cáscara	Raíz sin cáscara
Materia seca	100,00	100,00
Carbohidratos disponibles	83,80	92,40
Proteína cruda	3,05	1,56
Extracto etéreo	1,04	0,88
Ceniza	2,45	2,00
Fibra detergente neutra	6,01	3,40
Fibra detergente ácida	4,85	1,95
Hemicelulosa	1,16	1,45

Fuente: Tomado de Buitrago, 1990.

1.1.4 Producción mundial de yuca. Las proyecciones de la FAO para el 2005 indican que la producción de yuca aumentará a casi 210 millones de toneladas y el crecimiento de la producción prevista para Colombia es 2,5 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento con relación a la década pasada de 3,1 %, superior a la tasa mundial proyectada en 2,2 %. Véase la figura 2. Este estudio determinó que los rendimientos promedio de yuca a nivel mundial, en el 2005 se situarán alrededor de 11,2 t/ha y en ALC de 12,8 t/ha (FAO-IFAD, 2000).

Figura 2. Producción mundial de yuca en los períodos 1983-85, 1993-95 y prevista para 2005.



Fuente: el autor con datos de FAO-IFAD, 2000.

Según las proyecciones la utilización de la yuca en el año 2005 estará distribuida en alimentación 59 %, piensos (concentrados para animales) 22 %, usos industriales 6 % y pérdidas poscosecha 13 %. Aunque probablemente, la yuca en trozos y en gránulos para piensos continuará siendo el principal producto de yuca objeto de comercio, no hay duda que el comercio mundial de almidón industrial y sus derivados se encuentra en fase de expansión. Del 59 % de la producción de yuca destinada a la alimentación humana, los productos con alto valor agregado, serán el principal factor de crecimiento del sector, en detrimento de las raíces frescas, dado su gran volumen y carácter perecedero, y a la vez se debe trabajar para reducir las pérdidas poscosecha con manejos adecuados para prolongar la conservación de la raíz (FAO-IFAD, 2000).

A nivel mundial la utilización de la yuca para fines industriales como papel, cartón, dextrinas, colas, textiles, resinas, maderas compuestas, productos farmacéuticos, edulcorantes, alcohol, etc., se estima que pasará de 6 millones de toneladas, en la década pasada, a 13 millones de toneladas en el 2005 en el equivalente en raíces. La harina, almidón y otros productos para alimentación humana con gran valor agregado como trozos deshidratados, copos, productos para refrigerios, mezclas para tortas, panadería, tallarines,

harinas instantáneas, helados son los que según la nueva tendencia, se intensificarán. Sin duda alguna es un mercado en el que Colombia puede incursionar, ya que en la producción de piensos aún es modesta su participación (FAO-IFAD, 2000).

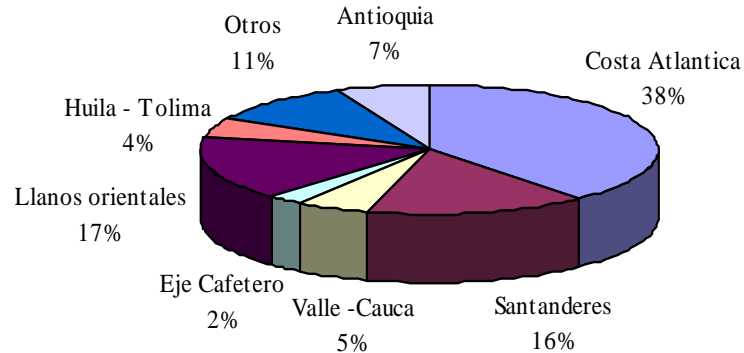
La incorporación de nuevas tecnologías en el sector yuquero implica el aprovechamiento integral de la planta de yuca con técnicas de cultivo sostenibles y permite la utilización de materiales de la planta considerados como residuos en productos que le agregan valor a la cadena. Debido a la demanda inelástica de la yuca, la tecnología mejorada de producción no impactará en el ingreso del agricultor a menos que se identifiquen nuevos mercados para la yuca, que permitan aumentar su valor agregado. El asociar la producción de yuca con mercados en expansión para la harina de yuca podría conducir a establecer un precio mínimo para la yuca y una oportunidad para expandir la producción y aumentar los ingresos de pequeños productores.

1.1.5 Producción de yuca en Colombia. En Colombia la yuca es considerada un cultivo de pequeña escala sembrado por pequeños agricultores que genera alrededor de casi 100.000 empleos directos. Es un cultivo típico de economía campesina, el cual presenta en promedio un área sembrada por finca entre 1-5 hectáreas, tiene una oferta atomizada y sistemas de producción atrasados aunque actualmente se han incorporado sistemas mecanizados para hacer más eficientes las labores de siembra y cosecha. Gran parte de su producción se orienta hacia el mercado en fresco, de la producción total alrededor del 65–70 % se vende en forma de raíces frescas para consumo humano (Acosta y Salcedo, 2004).

El promedio de la producción nacional para el año 2001 fue de 10,4 t/ha, aunque existen zonas en el país que tienen mayores rendimientos, como los cultivos experimentales implementados por CIAT, donde se han alcanzado las 20-30 t/ha.. Colombia es el tercer productor en ALC produciendo 1.980.110 toneladas (2001). El cultivo se distribuye por regiones y según información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Costa Atlántica es el mayor productor, en 2001 participó con cerca del 38 % del total nacional, seguida por los Santanderes (16 %), Eje Cafetero (2 %), Valle-Cauca (5 %) y Llanos

orientales y Amazonía (13 %), Antioquia (7 %) y otros que produjeron el 22 %. Véase la figura 3.

Figura 3. Distribución de la producción de yuca en Colombia (2001).



Fuente: El autor con datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

1.2 EL TRIGO

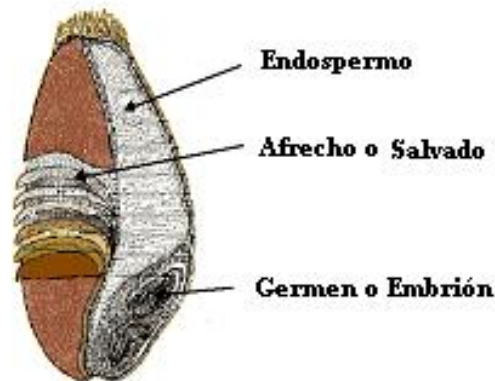
El trigo es el cereal más cultivado en el mundo, por encima del maíz y el arroz. Pertenece a la familia de las gramíneas (monocotiledóneas de tallos cilíndricos, Ej. cereales, bambú), es una planta de recolección anual aunque se puede sembrar en tres épocas del año (otoño, invierno y/o primavera). Es la materia prima principal para la elaboración del pan y ha sido cultivado como alimento desde tiempos prehistóricos por los pueblos de las regiones templadas. El grano de trigo comprende tres partes esenciales como se muestra en la figura 4.

◆ **Afrecho o Salvado.** Formado por las capas externas del pericarpio, las capas envolventes del endospermo o aleurona y las del germen, que constituyen el 14% del total del grano y cuyo componente químico mayoritario es celulosa y hemicelulosa, seguido de proteínas, minerales y vitaminas B₁ y B₂.

◆ **Germen o Embrión.** Constituye el 3% del total del grano y su finalidad es formar la futura planta. El componente mayoritario de este grupo es la materia grasa, seguido de proteínas (principalmente enzimas), también contiene azúcares, minerales y vitaminas B y E (Tocoferol).

♦ **Endospermo.** Constituye el 83% del total del grano y su componente químico mayoritario es el almidón, seguido de proteínas (responsables del gluten) y en un menor porcentaje lípidos. Los gránulos de almidón se encuentran en el interior de células vegetales, llamadas plastidios, cuya composición química son: pentosanas, principalmente, seguido de hemicelulosa y beta-glucanos.

Figura 4. Esquema de un grano de trigo.



Fuente: Adaptado de Cortés, 2003.

En la Biblia y en los libros más antiguos es nombrado el trigo como base de la alimentación de muchos países. Para muchos pueblos el trigo llegó a tener tanto valor que se le dio un significado religioso y era considerado regalo de los dioses. En la península Ibérica el cultivo del trigo debió empezar hacia el año 4000 a.C.; bajo la dominación romana y fue uno de los principales productos de exportación, junto con la vid y el olivo (Peña, 2002).

1.2.1 Variedades de trigo. Las especies de trigo se clasifican botánicamente en función del número de cromosomas de las células vegetativas, se reconocen tres series diploide (14 cromosomas), tetraploide (28 cromosomas) y hexaploide (42 cromosomas). Estas especies se hibridan con bastante frecuencia en el medio natural. La selección de las mejores variedades para su cultivo tuvo lugar en muchas regiones hace siglos (Lelley, 1976). La clasificación según su importancia comercial se determina según su dureza, el color de su grano y la época del año en que se siembra. Cada clase tiene sus propias características (FAO, 2002). En panificación las más importantes son:

- ◆ ***Duro Rojo de Invierno.*** Posee buena calidad de proteínas. El gluten es balanceado elástico y extensible.
- ◆ ***Duro Rojo de Primavera.*** Tiene alto contenido y calidad de proteínas, superior al trigo Duro Rojo de invierno. El gluten es balanceado.
- ◆ ***Blando de Invierno.*** Posee poca proteína y gluten muy extensible. Se usa en harina para tortas y galletería.
- ◆ ***Durum.*** Es el mas duro de todos los trigos, tiene alto contenido de proteínas, de esta variedad se extrae la sémola y sémolina para la fabricación de pastas.

1.2.2 Producción mundial de trigo. Según la información de la base de datos del Departamento Nacional de Planeación, la producción mundial de trigo en los años 1995 – 2000 fue en promedio aproximadamente de 584,2 millones de toneladas; donde China fue el principal productor con 112 millones de toneladas. Los mayores molinos harineros del mundo están localizados hoy en países que no son productores de trigo, como Sri Lanka, Indonesia y Nigeria. En Suramérica la producción promedio, en el mismo periodo, fue de 18,07 millones de toneladas; donde el mayor productor fue Argentina con 12,97 millones de toneladas. La tabla 2 permite comparar la producción de trigo de grandes y pequeños productores. Donde se resalta que Colombia, seguido de Ecuador se encuentran dentro de los países de menor producción de trigo en el mundo.

Tabla 2. Producción mundial de trigo en el período 1995-2000.

País	Millones de toneladas
China	112
Estados Unidos	65,7
Territorio Británico	56,68
Antigua URSS Asia	52,9
Antigua URSS Europa	51,9
Argentina	12,97
Brasil	2,4
Chile	1,5
Uruguay	0,51
Paraguay	0,38
Bolivia	0,13
Perú	0,13
Colombia	0,05
Ecuador	0,02

Fuente: El autor con datos del Departamento Nacional de Planeación.

Según lo expuesto por Pylar¹ en el año de 1973 la producción mundial de trigo se destinó para los siguientes usos: 58% a la panificación, 17% para pastas de sopa y galletas, 12% para sembrar, 12% para piensos y 0.5 % para usos industriales. Y según el Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela², el consumo aparente en ese país se distribuyó en los siguientes usos: pan y pastelería 65,5 %, pastas alimenticias 22 %, galletería 4,8 % y harina de uso doméstico 7,6 %. Estudios que demuestran que alrededor del 60% del trigo es utilizado para productos de panificación.

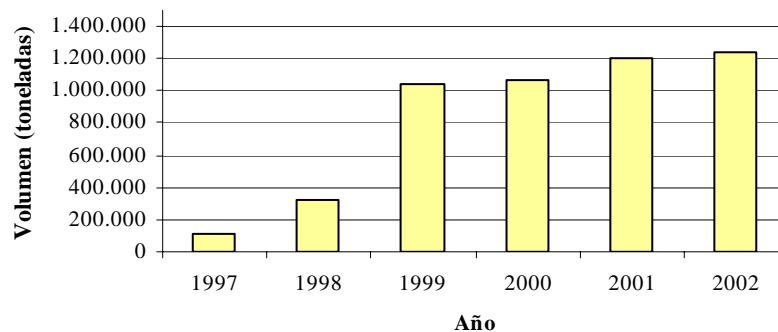
Brasil es el mayor importador mundial de trigo, incluso a pesar de ser el tercer mayor productor mundial de productos como los macarrones y contar con una capacidad para fabricar 1,4 millones de toneladas. Sin embargo, este país es capaz de importar 6,7 millones de toneladas de trigo. Esto ha provocado que los productores redujeran considerablemente sus márgenes de beneficio, a pesar de que Brasil no es un país eminentemente consumidor de pan, de hecho el consumo anual per cápita se sitúa en 27 kg (Industria Alimenticia, 2003).

¹ PYLER, E.J. The bakers digest. Baking science & technology. 1973

² UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. El circuito agro-alimentario del trigo. Importaciones, precios y producción industrial. Caracas: UCV, 1985.

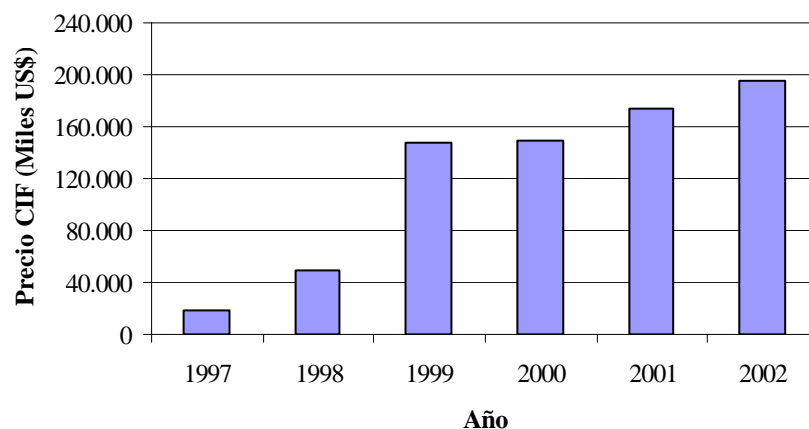
1.2.3 Producción e importaciones de trigo en Colombia. Colombia como la mayoría de los países situados en el trópico es un país dependiente de los grandes productores de trigo, muestra de esto son los grandes volúmenes de importaciones de este material. El 97 % del trigo consumido anualmente en Colombia es importado. En el año 2002 las importaciones fueron 1.241.360 toneladas por un valor de miles US \$ 195.306. Véase las figuras 5 y 6. Los países de donde se importa el trigo son principalmente Canadá, Estados Unidos y también de Australia, constituyendo los dos primeros más del 60 % de las importaciones.

Figura 5. Importaciones de trigo en Colombia en el período 1997-2002.



Fuente. El autor con datos del Departamento Administrativo de Estadística Nacional.

Figura 6. Precio de importación de trigo en Colombia en el período 1997-2002.

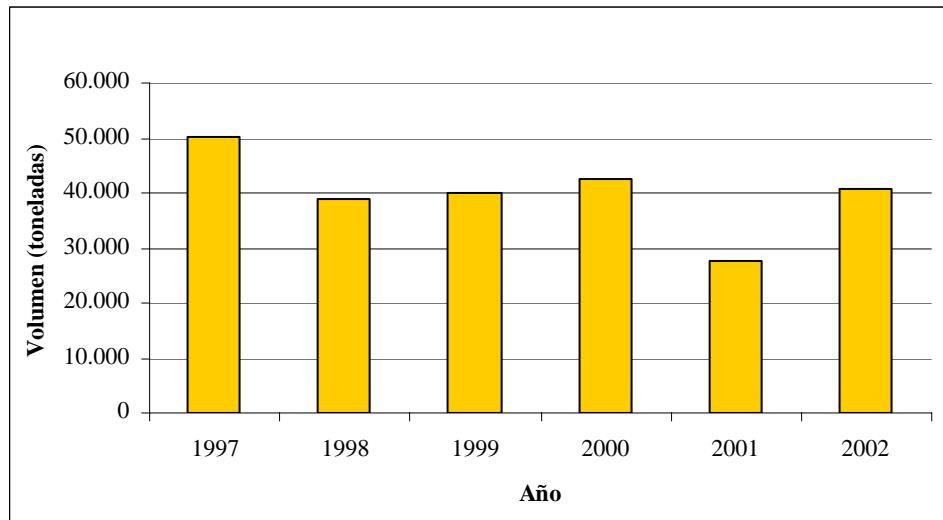


Fuente. El autor con datos del Departamento Administrativo de Estadística Nacional.

La producción de trigo en Colombia es muy baja, en el año 2002 la producción fue de 40.795 toneladas como lo muestra la figura 7. La participación de este cultivo en la

producción agrícola nacional fue de 0,07 %, valor muy por debajo de la participación de cultivos como el maíz y la yuca, cuyas participaciones fueron de 1,6 y 2,3 % respectivamente. En el período de 1997-2000 la producción de trigo permaneció constante, en el año 2001 presentó una notable disminución del 43 % y en el año 2002 la producción se reactivó en un 50 % en relación al año anterior.

Figura 7. Producción de trigo en Colombia en el período 1997-2002.



En Colombia, existen 80 empresas molineras de trigo, de las cuales 44 se encuentran afiliadas a FEDEMOL (Federación Nacional de Molineros de Trigo) y esta industria genera a nivel nacional entre 200.000 -210.000 puestos de trabajo en forma directa (EL PAIS, 2002).

Existen muchas pruebas de que el consumo de trigo es sumamente influenciado por los precios al consumidor, especialmente en los países tropicales. Mientras los precios al productor son evidentemente importantes para crear incentivos para los cultivadores locales y promover la autosuficiencia en alimentos básicos, parecería que el principal factor de la creciente importación de granos en los países de desarrollo ha sido la política de los precios al consumo. Fuera del cinturón arrocero de Asia, las importaciones de trigo, alentadas por los bajos precios del pan, están reemplazando rápidamente los alimentos básicos tradicionales (granos gruesos, raíces y tubérculos) en las zonas urbanas de muchos países.

En cierta medida, esto conduce a una trampa de la dependencia de las importaciones dado que el proceso no es fácilmente reversible y además en la mayoría de los países tropicales no son promisorias las perspectivas de la creación de una industria productora de trigo económicamente eficiente (Byerlee, 1985).

1.3 PERSPECTIVAS DEL USO DE LA YUCA EN PANIFICACIÓN

La harina de yuca para panificación presenta un alto potencial de uso, así lo han referenciado los estudios realizados en este tema tanto a nivel global como nacional. Si existieran en Colombia las unidades industriales para la producción de harina de yuca para consumo humano, su suministro estaría garantizado por la disponibilidad de raíces frescas de yuca. Si aproximadamente el 60 % del trigo importado se destina para productos de panificación y si se estableciera el reemplazo de un 10 % de este producto por harina de yuca, se podrían reemplazar la importación de alrededor de 75.000 toneladas de harina de trigo anualmente, lo que requeriría una producción de yuca cuatro veces las toneladas de la harina requerida (la conversión de yuca fresca: harina es 4:1), la cantidad de raíces frescas de yuca constituiría alrededor del 15 % de la producción anual y sería un producto que podría ser vendido con un alto valor agregado en el mercado.

Según los estudios realizados en 1988, con la estructura actual de precios y costos para trigo y yuca en Colombia, el sistema de producción y uso de harina de yuca sería económicamente viable. Con un margen bruto del 35 % para productores, el costo de producción de la harina de yuca es 20 % menor que el de la harina de trigo (CIAT, DRI y UNIVALLE, 1998).

La yuca puede convertirse en una harina de alta calidad para utilizarse como sustituto parcial no solo de harinas de trigo, sino de harinas de otros cereales como el maíz y arroz. Puede utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pan, pastas, mezclas para tortas, biscochería, mezclas de harinas para coladas, sopas y productos extruídos, como lo muestra la tabla 3. También puede ser usada para productos como espesantes, extensor de sopas deshidratadas, condimentos, papillas para bebés, dulces y carnes procesadas (Fernández

et.al., 1992). Adicionalmente, la harina de yuca se podría combinar con harinas de otras fuentes para obtener productos que presenten un balance en los requerimientos diarios de vitaminas, minerales esenciales y calidad proteínica.

Tabla 3. Alimentos en los cuales puede ser utilizada la harina de yuca en su elaboración.

Alimento	Materia prima sustituida	Nivel de sustitución (%)	Ventajas de la harina de yuca
Pan	Harina de trigo Almidón agrio de yuca	3-20	Menor costo, mejor sabor
Galletería	Harina de trigo	10	Más crocante
Pastas alimenticias	Harinas de trigo, arroz y maíz	20-35	Menor costo
Carnes procesadas	Harina de trigo Almidón agrio de yuca	100	Mayor absorción de agua
Mezclas para coladas y sopas	Harinas de trigo, arroz, maíz y plátano	10-40	Mayor rendimiento
Dulces de leche y frutas	Harina de arroz Almidón de maíz	50-100	Más brillante y mejor sabor
Condimentos	Harinas de trigo y maíz	50-100	Menor costo
Mezclas para apanados de carnes	Harina de trigo	15-30	Más crocancia
Snacks	Harinas de trigo, arroz, maíz	100	Menor costo

Fuente: Tomado de Fernández *et.al.*, 1992.

Es importante resaltar que aunque la harina de yuca presenta un bajo porcentaje de proteína (alrededor el 2 %), la cual contribuye muy poco en las propiedades viscoelásticas funcionales, muy especiales de la proteína del trigo que permiten la formación del gluten, uno de los aportes importante de la harina de yuca es su mayor contenido de fibra (por encima del 3 %) comparado con el contenido presente en la harina de trigo (por debajo del 1 %). Las harinas de yuca proveen conveniencia en el área de la panificación ante una sociedad preocupada por la buena salud y nutrición, con la obtención de pan de alto contenido de fibra. El consumo de fibra, en productos basados en harina de yuca integral, contribuiría a reducir enfermedades tales como cáncer de colón, estreñimiento, y como

parte de la dieta para diabéticos. Así, se adicionaría a la producción de pan además de una disminución en la materia prima, un componente en términos de nutrición y salud que no se encuentra en muchos alimentos de panadería actual y que la sociedad demanda hoy en día.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

La propuesta de este proyecto se basó en el análisis de la problemática actual del país ante el agudo y creciente desbalance entre la producción de trigo y la demanda del grano para abastecer las necesidades internas de producción de harinas para uso en panificación. Entre los factores que causan este desbalance están la falta de tierras adecuadas para el cultivo de cereal, los rendimientos económicos relativamente bajos de los cultivos, comparados con otros que ofrecen mayor rentabilidad, el incremento de la población y el aumento del consumo per cápita de trigo y de sus derivados. Este desbalance sólo se ha podido compensar mediante la importación del cereal en grandes cantidades y a precios que van en aumento, lo que ha generado costosas salidas de divisas del país.

Para ayudar a resolver esta situación, se han realizado muchos esfuerzos dirigidos a la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de cultivos autóctonos. Se han estudiado soluciones encaminadas a incorporar materias primas de origen local (yuca, arroz, maíz, sorgo, millo) en alimentos populares como el pan y las pastas. Varias de las investigaciones ponen de manifiesto el uso de la harina de yuca como sustituto de la harina de trigo en panificación. Algunos de los mejores estudios sobre el particular fueron adelantados por el Instituto para Cereales, la Harina y el Pan-TNO (Holanda), el Tropical Products Institute (Gran Bretaña), la Universidad de Kansas (USA), EMBRAPA (Brasil) y el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (Nigeria). En países como Cuba, Venezuela, Perú, Ecuador y Filipinas también se han realizado experiencias para elaborar pan basándose en harinas compuestas trigo-yuca. En Colombia, se llevaron a cabo estudios sobre este tema en los años 80's mediante un convenio interinstitucional entre el CIAT, UNIVALLE, IIT, DRI, CIID donde se determinó que era viable la producción de pan a partir de harinas compuestas trigo-yuca.

Desde el punto de vista técnico, se demostró que se puede producir pan de características comparables a las del pan de trigo tradicional, utilizando hasta el 15 % de sustitución con harinas de yuca. Los resultados obtenidos indicaron que el pan elaborado con estas harinas tiene aceptación por parte del consumidor. Sin embargo, la introducción de harinas compuestas en las panaderías comerciales requiere proporcionar cierta instrucción al panadero en el procedimiento para la fabricación del pan, pero lo más importante requiere asegurar el abastecimiento constante en términos de calidad y cantidad de la harina de yuca.

Colombia puede explorar las ventajas comparativas de región tropical, para la producción de yuca comparada con otros cultivos. Además, recientemente se han logrado avances importantes en el desarrollo de sistemas de secado artificial de yuca, lo que garantizará a corto plazo, la obtención de una harina de yuca que cumpla con los requisitos de calidad necesarios para su uso en el proceso de fabricación de pan. La estrategia de promoción del cultivo de la yuca por parte del Gobierno, complementada con esfuerzos para vincular los agricultores con nuevos mercados para la yuca mercados, ayudará a promover el crecimiento sostenible del cultivo de la yuca generando nuevas oportunidades de empleo en el área rural, beneficiará a los productores de harina de yuca al aumentar la oferta de este producto y reducir las importaciones de harina de trigo y además los procesadores de pan encontrarán un sustituto más económico para su materia prima.

El propósito a corto plazo del presente estudio, es que mediante los logros alcanzados se incentive el uso de la harina de yuca en la fabricación de pan, como sustituto parcial de la harina de trigo, lo que traerá beneficios al país en relación con la balanza comercial; ya que la sustitución supuesta de un 10 % de harina de trigo por harina de yuca, representaría al país un ahorro de divisas alrededor de 11 millones de dólares anuales.

Consecuentemente, los objetivos planteados para el proyecto buscan apoyar las acciones anteriormente mencionadas. Así, el objetivo general del proyecto fue:

- ◆ Estudiar la tecnología para la utilización de harina de yuca en panificación.

Y los objetivos específicos fueron:

- ◆ Seleccionar la harina yuca, más adecuada para uso como sustituto parcial de harina de trigo en el proceso de panificación.

- ◆ Determinar la formulación más conveniente para la fabricación de pan a partir de harina compuesta de trigo y yuca.

- ◆ Evaluar la aceptabilidad del pan obtenido a partir de harina compuesta de trigo y yuca.

- ◆ Determinar los indicadores técnico-económicos para la fabricación de pan usando harina de yuca como base para estimar su viabilidad comercial.

2. ASPECTOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Uno de los aspectos más importantes en la producción de pan es el conocimiento de los factores que se involucran en su producción. Cada uno de las etapas de producción tiene una particular importancia dentro del proceso y condiciones de operación específicas para llevarse a cabo, con el objetivo de obtener la calidad del pan deseado. En este capítulo se describen las características generales de las harinas de trigo y yuca, los resultados de estudios realizados usando harinas compuestas trigo-yuca en la elaboración de pan y los aspectos más importantes de ciencia y tecnología del proceso de panificación.

2.1 TEORÍA DE PANIFICACIÓN

Egipto fue la cuna de la panificación y según los historiadores el trigo allí era aplastado entre dos piedras sobrepuestas que giraban una sobre otra. En Grecia, Homero dice que el pan era el alimento de los dioses y nombra los molinos, el trigo y el pan en sus narraciones (Pylar, 1973). En la edad media el pan era privilegio de señores feudales, así el pan blanco hecho con trigo molido era exclusivamente para las clases altas, y el pan negro elaborado con morcajo (mezcla de cereales) era el que se proporcionaba a los vasallos.

2.1.1 Pan. El pan ha sido un alimento preponderante en toda la historia de la humanidad, ha tenido un lugar importantísimo en la alimentación humana. El primer pan hecho metódicamente, apareció en la Roma de los Césares, de donde se tiene noticia de los primeros ingenios mecánicos para mezclar las masas (Cardona, 1997). Araujo³ define la evolución de la panificación: “Cuando el hombre primitivo trituro el primer grano de trigo entre dos piedras para eliminar la cáscara, que es áspera con sabor a madera y de difícil digestión, estaba naciendo la industria de la molienda. Cuando parte de aquella mezcla fue humedecida por la llovizna, se iniciaba la fermentación y finalmente cuando el resto de la masa fermentada fue tirada al fuego, y más tarde sobre piedras calientes, se iniciaba la cocción y por ende el producto final, el pan”.

³ ARAUJO, A. F. Manual de Panificación, citado por De Souza, Evaldo. En: Técnicas de la panificación. Thomas de Quincey Editores Ltda. 1989. 274 p.

2.1.2 Componentes del pan. El pan es una mezcla de harina, agua y levadura que se dejan reposar y posteriormente se calienta, no obstante es un producto de gran técnica en su elaboración y puede incorporar gran variedad de componentes tales como: sal, azúcares, mieles, grasas, mejorantes, entre otros. La función y características de estos componentes es:

◆ **Harina.** Es la materia prima por excelencia a la hora de elaborar el pan, la harina tiene como tal una serie de propiedades y requiere de una atención especial a la hora de su almacenamiento y conservación. La harina utilizada en panificación es el producto de la molienda del grano de trigo limpio e industrialmente puro. Las proteínas del grano de trigo gliadina y glutenina son las responsables de proporcionar al pan las características de retención de gas para así producir un producto con la característica esponjosidad.

◆ **Agua.** Es responsable de la formación del gluten, hidrata los almidones tornándolos digestivos, evita la formación de cáscara en la masa, posibilita la acción de las enzimas, sirve como solvente de los ingredientes sólidos distribuyéndolos uniformemente en la masa, activa la levadura, determina la consistencia de la masa; y es el factor determinante en el lucro del pan.

◆ **Levadura.** Es la encargada de efectuar la fermentación en la masa del pan con el fin de producir CO₂, se alimenta de los azúcares presentes en la masa, la sacarosa adicionada y los azúcares fermentables desdoblados por las amilasas en la harina de trigo, su función es inflar el gluten con el CO₂ producido durante la fermentación, según Bailey⁴ las condiciones ideales para el desarrollo ideal de la levadura son 28-30 °C, con disponibilidad de oxígeno y nutrientes a voluntad. Estas condiciones unidas a un trabajo preparatorio de enzimas, promueven la mayor producción de gas carbónico, este gas levanta la masa y provoca el crecimiento del pan, resultando un producto liviano, poroso y bastante digestible. En panificación existen 3 tipos de levadura: *fresca o fermentos vivos*, con una humedad alta y el 100 % de sus células vivas después del proceso; *levadura seca instantánea* con 4-6 % de humedad y el 80 % de células vivas; y *seca activa*, con un proceso de deshidratación en frío con el 5-7 % de humedad y sólo el 75 % de células vivas.

⁴ James, E. David, F. Biochemical engineering principles.

◆ **Sal.** Tiene acción fortificante y estabilizadora del gluten, es usada en un porcentaje de 1,5-2,8 % regulando la fermentación de la masa, retarda la producción de los gases producidos por la levadura durante la fermentación. Resalta el sabor, tiene efecto bactericida controlando el desarrollo del ácido láctico, es importante en la fijación del agua en el gluten, es digestiva. Tiene influencia sobre la densidad, elasticidad y otras cualidades del gluten. Otras funciones son estabilizar y mejorar harinas débiles. Por su higroscopia aumenta el poder de absorción, mejora la retención de la humedad y permite la actividad de las enzimas (De Souza, 1989).

◆ **Azúcar.** La sacarosa se utiliza como fuente de alimento para la levadura que la utiliza para su desarrollo y también sirve para acondicionar las masas. El crecimiento del pan es causado por la conversión de carbohidratos en CO₂ que realizan las enzimas de la levadura y hace que el gluten se infle en un fenómeno similar al observado al inflar un globo. El azúcar también es responsable de la coloración de la corteza en el producto al final de la cocción, debe ser usada en tal cantidad que pueda producir con la levadura una actividad vigorosa y rápida. Al final de la fermentación aún debe haber azúcar suficiente para que se caramelize en el horno y así obtener la coloración dorada típica. Mientras más azúcar, mas color en el producto final y menos temperatura en el horno. Funciona también como conservador pues es la materia prima de la fermentación alcohólica cuyo producto (etanol) evita la contaminación bacteriana. Por último, tiene poder higroscópico lo que le proporciona a la masa la capacidad de retener humedad y conservar el producto más tiempo (De Souza, 1989).

◆ **Grasa.** Pueden ser de origen animal o vegetal, estas se diferencian en aroma, consistencia y tiempos de conservación, la grasa no sufre transformaciones o pérdidas durante el proceso de fermentación. Actúa cubriendo cada partícula de la masa, garantizando suavidad en la textura interna y externa del pan, principalmente actúa como fijador de la humedad del producto retardando su envejecimiento, lubrica el gluten, manteniéndolo elástico volviendo la masa mas maleable, facilitando el trabajo de la mezcladora mecánica. En general, la grasa aumenta el valor nutritivo. Mejora la conservación y proporciona mas suavidad, mayor volumen, corteza mas suave, mejor miga, mejor aroma y como resultado el producto es mejor acabado (Pyler, 1973).

◆ **Emulsificantes.** Son constituidos por ésteres de la glicerina, mono o diglicéridos, estos junto a las grasas o margarinas, forman una especie de puente ligando las moléculas de grasa a las de agua y permiten una acción mas intensa y duradera de las grasas usadas. Actúan en las masas de varios modos: acondicionando los almidones disminuyendo la temperatura de gelatinización de las suspensiones de almidón en agua y aumentando la velocidad de su hinchamiento, haciendo los almidones mas digeribles, promoviendo una mayor integración del agua a la masa. Produce masas mas suaves y blandas, facilita la mecanización, reduce costras secas, además da a la miga una granulometría uniforme debido a una mejor distribución de las “cámaras de gases” del gluten (De Souza, 1989).

◆ **Leche.** Es el más completo de los enriquecedores del pan, contiene proteínas animales, su función es mejorar la apariencia pues aunque es de bajo poder edulcorante, se carameliza en el horno dando coloración dorada. Algunas características de la lactosa son que no es directamente fermentable por la levadura, por tanto todo el pan hecho con leche tiene tendencia a colorearse más rápido en el horno. Otra propiedad de la leche es que aumenta el rendimiento en producto final por cuanto adiciona a la masa determinadas cantidades de sólidos.

◆ **Mejorantes.** Su función es la de reforzar las características de la harina para que la masa resultante pueda ser manipulada en un proceso mecanizado. La consecuencia final sobre el producto cuando se han utilizado el tipo y dosis adecuadas es un mayor desarrollo de la pieza, mayor suavidad de miga, buen color y brillo de la corteza.

2.1.3 Proceso de producción. Durante el proceso panario el pan se ve sometido a distintas transformaciones de tipo físico, químico y biológico, que dotan al producto final de sus cualidades nutritivas y organolépticas, a continuación se presenta una pequeña introducción sobre los procesos que tienen lugar en el pan durante los diferentes procesos a los que es expuesto.

◆ **Pesado.** El pesaje de las materias primas proporciona al panadero el conocimiento de las cantidades exactas de materias primas para llevar a cabo una receta dada. La figura 8 muestra una balanza utilizada para el pesaje.

Figura 8. Balanza para el pesado de materias primas.



♦ **Mezclado.** El mezclado se debe realizar para homogenizar los materiales sólidos y posteriormente para incorporar paulatinamente el agua que proporciona a la masa sus características de elasticidad y extensibilidad conferidas por el gluten en formación. Durante el mezclado se inicia la hidratación de partículas hasta que la masa presente una cierta ligazón. La formación de la masa esta condicionada por la capacidad de absorción de agua de los diferentes componentes de la harina donde el gluten admite el doble de su peso en agua, el almidón admite aproximadamente un 30 % de su peso en agua y el resto de agua es admitida por atracción capilar quedando atrapada en la masa. La figura 9 muestra una mezcladora de harinas.

Figura 9. Mezcladora de harinas.



♦ **Amasado.** El amasado es la operación donde se desarrolla el gluten formado por la adición del agua durante el mezclado, el buen desarrollo del gluten es de vital importancia para propiciar una mayor retención del gas producido durante la fermentación. El proceso de formación de la masa se divide en varias fases diferenciables así la primera fase es la rotura y estirado, cuando la masa ya está ligada, los brazos amasadores estiran la masa,

rompiéndola y los fragmentos son lanzados contra las paredes, este trabajo va desarrollando progresivamente el gluten; posteriormente se inicia el soplado y oxigenado de la masa, cuando la masa se deja estirar al máximo, atrapa el aire con facilidad, el oxígeno queda disuelto en la masa y se forman burbujas minúsculas de aire que son esenciales para el posterior desarrollo de la estructura esponjosa del pan. En la figura 10 se muestra una amasadora de harinas.

Figura 10. Amasadora de harinas.



♦ **Boleado.** El boleado es la conclusión del amasado, por medio de la utilización de rodillos se acaba de desarrollar el gluten para producir una masa lisa que produzca panes lisos y de buena presentación y textura final. La figura 11 muestra un rodillo para el boleado de masas.

Figura 11. Rodillos para boleado de masas.



♦ **Reposo.** El reposo previo al formado se realiza con el fin de que la masa se vuelva mas maleable debido a la producción de gas durante este corto período de fermentación, así, el estado de gasificación de la masa al momento previo al formado es de gran importancia para el buen desempeño de la masa en la siguiente operación.

♦ **Formado.** Consiste en dar forma simétrica a los trozos de masa. El formado se debe hacer apretando lo más posible sin desgarrar la masa ya que si esto ocurre reducirá el

volumen del pan; esta operación está condicionada por la fuerza y la tenacidad de la masa. La figura 12 muestra el formado manual de las masas.

Figura 12. Formado manual de las masas.



- ◆ **Corte.** El corte se realiza con el fin de proporcionar volumen y estética al producto final. Una vez la pieza está dentro del horno, el calor se extiende, atravesando la hogaza y permitiendo que el gas carbónico se expanda mejor; bajo la presión del gas, los cortes hechos en el pan se abren a lo largo, contribuyendo a su máximo desarrollo y creando zonas donde la solidificación de la corteza se retrasa. La figura 13 muestra una cortadora mecánica.

Figura 13. Cortadora mecánica de 30 divisiones.



- ◆ **Fermentación.** La fermentación se realiza con el fin de que el agente de crecimiento, la levadura, actúe sobre los azúcares presentes en la masa para así producir CO_2 el cual será encapsulado por la película de gluten desarrollado en la masa durante el amasado, la masa se fermenta a una temperatura de 28-32 °C, en este momento la levadura que ya ha empezado a actuar empieza a trabajar con mayor eficiencia. La enzima zimasa permite a la levadura llevar a cabo la fermentación de los azúcares presentes en la harina, en una mezcla de maltosa, glucosa, levosina y sacarosa, dicho aporte de azúcares

lo producen las enzimas diastásicas (α y β amilasas) de la harina que han estado formando maltosa y otros azúcares desde el principio del formado de la masa. La figura 14 muestra una cámara de fermentación.

Figura 14. Cámara de fermentación.



◆ **Horneado.** Una vez el pan ha alcanzado su punto correcto de fermentación se introduce en el horno a una temperatura que varía según el tamaño de las piezas y el tipo de horno, esa temperatura oscila entre 190-260°C, el tiempo de cocción también varía según el tamaño de la hogaza. Durante el proceso de cocción se suceden tres fases diferenciadas, así en la primera fase al entrar las piezas de pan al horno la masa no deja de fermentar hasta que alcanza los 45 °C y por consiguiente sigue produciendo gas carbónico y las burbujas de este comienzan a dilatarse por efecto del calor. En la segunda fase se forman los alvéolos de la miga; al mismo tiempo, las enzimas amilásicas van degradando el almidón en dextrinas y maltosa responsables de la caramelización de la corteza. Superados los 70 °C el gluten se coagula y el almidón se gelatiniza perdiendo así la plasticidad de la masa. Al mismo tiempo comienza la evaporación de alcohol que causa que la masa se levante un poco mas por causa de los vapores producidos y produce una refrigeración natural en el interior de la pieza que le impide hervir. En la tercera fase la coloración de la corteza se va efectuando gracias al efecto de las dextrinas que se localizan en la superficie del producto. En tanto la cocción va avanzando. Se ha comprobado que la temperatura al interior de la miga nunca supera los 90-100°C debido a las reacciones de evaporación de agua y alcohol. En la figura 15 se muestra un horno de panificación.

Figura 15. Horno de panificación.



◆ **Características de un buen pan.** Un buen pan debe tener una corteza crujiente de miga de color blanca cremosa, de olor apetitoso, sabroso y buena conservación. Las materias primas que se utilizan tienen una gran influencia en las variaciones de estas características. Para conseguir estas características la harina debe tener un gluten tenaz, firme elástico y extensible de aspecto amarillento rica en carotenos, que al portar aromas conferirán un buen sabor al pan final, el amasado debe durar alrededor de 12 minutos en la primera velocidad de la amasadora (Calvel, 2001) y es conveniente dejar reposar la masa antes de realizar el boleado.

2.1.4 Tipos de pan. Se puede obtener pan de harina de trigo con solamente tres ingredientes, harina, agua y levadura. Según el IIT, 1974 los productos de panificación elaborados a partir de harina son:

- ◆ ***Pan blando***, que se fabrica en varias formas y tamaños, por ejemplo; trenza, pañuelo, molde, servilleta, granada.
- ◆ ***Pan francés***, que se fabrica especialmente en tres formas y en varios tamaños (grande, mediano, pequeño), a saber: común, flauta, redondo.
- ◆ ***Pan dulce***, presentado en tres formas principales y también en diferentes tamaños; a saber: roscón, mojiçón y mogolla.
- ◆ ***Pan calado***, normalmente en las formas redonda y cuadrada y en varios tamaños.

2.1.5 Formulaciones típicas de pan según su tipo. La elaboración de cada tipo de pan presenta diferencias significativas en lo que respecta a las proporciones de los componentes, en general los componentes que varían de un tipo de pan a otro son el porcentaje de azúcar, de levadura, y/o la adición de emulsificantes o mejorantes de masas.

Una recopilación de formulaciones típicas de pan, junto Norma Técnica Colombiana para la elaboración de pan se presenta en el Anexo C. En lo referente al procedimiento de elaboración, las diferencias entre los diferentes tipos de pan se centran en los tiempos de fermentación y la temperatura y tiempo de horneado. Cada panadero tiene su propia forma de elaboración de pan, por ser este un gremio empírico en su mayoría, los panaderos desarrollan su propia receta y procedimiento de elaboración según las condiciones de las materias primas y las exigencias del mercado⁵.

2.1.6 Métodos de análisis de las harinas en el proceso de panificación. El proceso de panificación se puede dividir en tres fases amasado, fermentación y horneado; en cada una de las fases se producen cambios en la estructura y propiedades de la masa, que pueden ser medidos en cada fase como se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos de análisis de las harinas en el proceso de panificación.

FUNCION	FASE I	FASE II	FASE III
	Amasado	Maduración	Gelatinizacion en el horno
Método de medida	Farinógrafo	Extensógrafo	Amilógrafo
Datos obtenidos	Absorción de agua, tiempo de amasado, tolerancia de amasado, fuerza general (dinámica).	Relación esfuerzo/estrés Grado de maduración presente o necesario, fuerza general (estática).	Gelatinización, características en el horno.
Posibilidades de corrección	Cambio en la mezcla de trigos.	Maduración por bodegaje, oxidantes químicos y condiciones de calor.	Malta diastásica

Fuente: el autor con datos de De Mann *et al.*, 1976

2.1.7 Consumo per cápita de pan. Incluso en los países que por su clima tropical prácticamente no producen trigo, la producción y consumo de pan se ha generalizado por ser este un producto industrial con características muy ventajosas para la alimentación; es sabroso, transportable, duradero y combinable con otros alimentos.

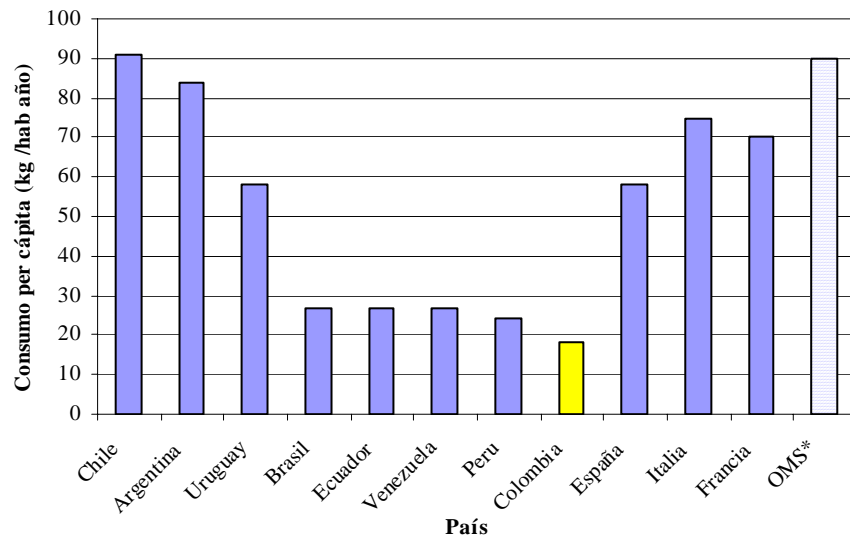
La dieta mediterránea está considerada en todo el mundo como una de las más beneficiosas para la salud y se ajusta a las recomendaciones de los especialistas en nutrición, cuenta en su base con una destacada presencia de pan, cereales, arroz, pasta y tubérculos.

La alimentación en Europa se acerca mucho a esta dieta, lo que sumado a que son en general países productores de trigo, hace que el consumo per cápita de pan en este continente sea cercano a la cantidad recomendada

⁵ Entrevistas con el maestro panadero Armando Marín propietario de la panadería “La Estrella” y el panadero Libardo García.

por la organización mundial de la salud (90 kg/hab año, datos del 2001). Por otro parte en Suramérica, la dieta está basada en la disponibilidad del alimento en las diferentes regiones y en la cultura de las mismas, lo que conlleva al consumo de diferentes productos sustitutos del pan, por tanto el consumo del mismo varía dependiendo de el país; ejemplo de esto lo constituyen Chile que es el que presenta un mayor consumo per cápita con 91 kg/hab año y Colombia que es el que presenta el menor valor con 18 kg/hab año. Véase la figura 16.

Figura 16. Consumo per cápita de pan en algunos países de Europa y Suramérica (2001).



* Cantidad recomendada por la Organización Mundial de la Salud.

Fuente: El autor con datos de EL PAIS, 2002

La industria panificadora en Colombia es un sector que cada día cobra mayor importancia, pues genera alrededor de 300.000 empleos directos. Sólo en Cali operan alrededor de 1.700 panaderías y en Palmira 152 registradas en la Cámara de Comercio. Un reciente estudio determinó que el consumo mensual de harina de trigo en las 152 panaderías de Palmira es aproximadamente 200 toneladas, para la producción de 3.187.817 unidades de todos los productos de panadería al mes (López y Lozano, 2004).

Según EL PAIS, 2002 existen 27.000 panaderías en Colombia. Según datos del DANE para el año 2001, en Colombia existen 437 establecimientos de panaderías, donde trabajan más de 10 empleados. La producción de pan de trigo total en este año fue 100.021 toneladas /año

2.2 HARINA DE TRIGO

La harina de trigo es la materia prima por excelencia de todos los procesos panarios. Llamamos harina, sin precisar la especie de grano molido, al producto obtenido por la molienda del grano de trigo, limpiado e industrialmente puro.

2.2.1 Etapas de la producción de harina de trigo. Las etapas de producción de harina de trigo son limpieza, lavado y molienda.

◆ **Limpieza.** Los trigos llegan a los molinos bastante sucios mezclados con materiales indeseables como piedras, semillas, metales, sustancias fecales de pájaros entre otras. Esta suciedad puede representar un 1, 5 % del peso total del trigo (Souza, 1989), por lo tanto antes de iniciar el proceso de molienda estas impurezas deben ser separadas del trigo por medio de diferentes sistemas de limpieza compuestos de presión de aire o tamices sobrepuestos montados en bases que se agitan en vaivén o rotatorios (zarandas).

◆ **Lavado.** Terminado el proceso de limpieza, el trigo es trasladado por un tornillo sin fin a una lavadora y secadora centrifuga, donde el trigo va aumentando su humedad, en 2-3 %, este acondicionamiento facilita el trabajo de la molienda, permitiendo que el salvado se desprenda mas fácilmente del endospermo, sin este proceso se corre el riesgo de que se rompa el salvado en pequeñas partículas durante la molienda.

◆ **Molienda.** La eficiencia en este proceso juega un papel preponderante en suministrar a las industrias panaderas harina de calidad específica. El sistema más usual es por medio de cilindros. Cardona de la Pava⁶ reporta que durante la molienda es normal una pérdida de humedad de hasta 3 %. El rendimiento de la harina se conoce como extracción, mientras más alta la extracción mayor será la presencia de salvado, tendrá un color más oscuro y por tanto la harina tendrá una menor calidad.

2.2.2 Composición de la harina trigo. La harina de trigo contiene entre un 65-70 % de almidón (carbohidratos), pero su valor nutritivo fundamental está en su contenido de proteínas entre 8-14%, las cuales inciden de manera directa y significativa en las propiedades de la masa y en el volumen final del pan. La composición general de la harina destinada a la fabricación de pan se presenta en la tabla 4.

⁶ CARDONA DE LA PAVA, G. Producción: Del Trigo al Pan. Bogotá. FEDEMOL, 1997. 50p.

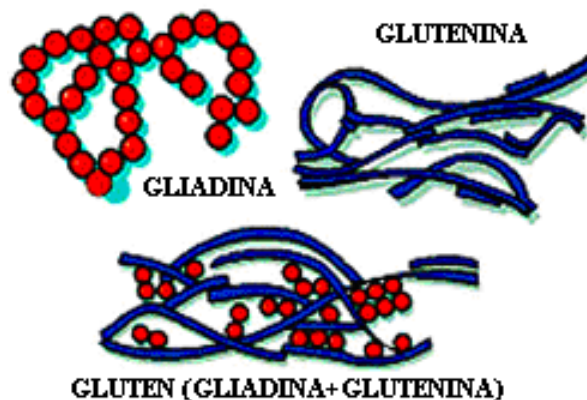
Tabla 4. Composición normal de la harina de trigo para panificación.

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	70-75
Agua	>15
Proteínas	8-14
Azúcares simples	1-2
Materias grasas	1,2-1,4
Materias minerales	0,5-0,6
Vitaminas	B, PP, E

Fuente: El autor con datos de Cortés, 2002.

Las proteínas de la harina se dividen en solubles e insolubles. Entre las solubles se encuentran la albúmina, globulina, peptonas y proteosas y corresponden al 1 % de la cantidad total y entre las insolubles en agua están la gliadina (aporta la elasticidad) y glutenina (aporta la extensibilidad), como se muestra en la figura 17, estas dos proteínas son las que conforman la estructura del gluten, sustancia elástica y gomosa, que resulta de la hidratación de las dos proteínas insolubles y que se forma en el proceso de amasado proporcionando a las masas las características de plasticidad que se requieren para poder elaborar pan.

Figura 17. Proteínas gliadina y glutenina, responsables de la estructura del gluten.



Fuente: Adaptado de Zanoun, 2002.

La harina de trigo es el único cereal conocido que posee la propiedad de formar gluten, razón por la cual los panes preparados de harinas diferentes a las provenientes del trigo, presenta unas cualidades distintas siendo panes pesados, gelatinosos, etc. con migas cerradas y sin volumen. Una buena harina debe tener un balance correcto de estas dos proteínas. En la tabla 5 se presenta el contenido proteico característico del gluten seco.

Tabla 5. Constituyentes del gluten seco.

Componente	Porcentaje (%)
Gliadina	40.00
Glutenina	40.00
Albúmina	2.40
Globulina	5.00
Extracto (esteres)	3.50
Fibras	1.00
Cenizas	0.70
Hidratos de carbono	6.45
Humedad	0.95
Total	100.00

Fuente: El autor con datos de De Souza, 1989.

2.2.3 Tipos de harina de trigo. Las harinas de trigo se clasifican según el tipo de trigo del que se extraigan, pueden ser: extraduras, duras y blandas. Las extraduras se destinan a la fabricación de masas donde no se necesita fermentación como las pastas. Las harinas duras son las mas indicadas para la fabricación de masas de panificación, desde que sus proteínas sean adecuadas para formar un gluten de calidad. Las harinas blandas se destinan a la fabricación de ponqués, galletas y tortas, provienen de trigos blandos con baja cantidad de proteínas (FAO, 2002). En Colombia, actualmente existen dos clases de harina: la blanca o resultante de la molienda del endospermo y la integral resultante de la molienda de todo el grano.

Para determinar la calidad de las harinas panificables se evalúa el comportamiento de la masa por medio de análisis como el *farinograma* (que determina la absorción de agua, tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad y grado de decaimiento), el *alveograma* (que determina la tenacidad, estabilidad, fuerza y tolerancia), el *amilograma* (cambios de viscosidad de la harina) y el *índice de falling number* (medida indirecta de la actividad alfa-amilásica de la harina). En el Anexo B. se describen más ampliamente los métodos de análisis mencionados. Según los parámetros determinados por el alveograma, las harinas para panificación se pueden clasificar como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de harinas según los parámetros del alveograma.

Características*	Usos
<i>Harinas Flojas</i>	
W = 80-110 P/L = 0,2-0,3 P = 30-40 L = 60-75	- Para panificaciones muy rápidas y muy mecanizadas. Con una fermentación máxima de 90 minutos. - También se pueden usar para bizcochería.
<i>Harinas Panificables</i>	
W = 110-180 P/L = 0,4-0,6 P = 40-65 L = 100-120	-Para procesos medios y largos de fermentación - Croissant, hojaldres y biscochos.
<i>Harinas de Fuerza</i>	
W = 180-270 P/L = 0,5-0,7 P = 50-90 L = 110-120	- Para panes especiales - Fermentación larga y proceso frío, de galletería y panadería.
<i>Harinas de Gran Fuerza</i>	
W = 270-330 P/L = 0,9-1,3 P = 100-130 L = 90-120	- Panes muy ricos y bollería especial.

*W= Fuerza; P/L = Equilibrio; P = Tenacidad; L = Extensibilidad.

Fuente: El autor con datos de Cortés, 2002.

2.3 HARINA DE YUCA

La harina de yuca es uno de los productos derivados más importantes de la yuca, se obtiene del proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Por muchos años ha sido utilizada en la alimentación animal, como parte de las raciones en concentrados para aves,

rumiantes y cerdos (Best, 1982). De la harina de yuca seca o tostada se fabrican, particularmente en algunas regiones del mundo, otro tipo de productos comestibles conocidos como *casabe*, *mañoco* y *gari*, en Brasil una gran proporción de yuca es consumida como *farinha* en la preparación de diversos platos típicos. El volumen de harina de yuca transado en el comercio internacional en el año 1998 llegó a 134.000 toneladas, un valor bajo en relación con años anteriores. Asia, concentra el 96 % de las exportaciones, dentro de las cuales Tailandia representa el 95 %. El 75 % de las importaciones mundiales de harina de yuca son realizadas por los países asiáticos, principalmente por Singapur y Japón. Estados Unidos importa el 11 % de total y Angola el 7 %. La harina de yuca tiene una relación de valor agregado de 2,3 veces el precio de los trozos de yuca secos (CCI, 1990). Existen numerosas formas de consumo humano de harina de yuca, como la industria de panificación, cárnicos, pastas alimenticias y mezclas instantáneas, donde se han obtenidos resultados con gran éxito.

2.3.1 Etapas de la producción de harina de yuca. Las etapas de producción de harina de harina de yuca son: pesado, lavado, troceado, secado, molienda y empaçado.

◆ **Recepción y pesaje de la materia prima.** En esta operación se reciben las raíces de yuca y se pesan para su control y entrada.

◆ **Selección y adecuación.** Las raíces se movilizan a la zona de esta operación, en donde se realiza, si es necesario, la selección de las raíces; se eliminan las raíces pequeñas o que presenten algún síntoma de deterioro, ataque de plagas o enfermedad. Si se requiere se retira el tocón o pedúnculo de las raíces y las raíces muy grandes se parten en dos.

◆ **Lavado.** Un buen lavado se refleja en el bajo contenido de cenizas en el producto final. Esta operación se realiza en una máquina lavadora consiste de un tambor metálico de forma cilíndrica. Para el lavado se usa agua potable que se aplica a presión dentro del tambor a un flujo de 32 litros por minuto durante cinco minutos (Ostertag, 1991). La acción combinada, tanto el agua como de la fricción entre raíces y paredes del tambor remueve las impurezas y la mayoría de la cascarilla, este desecho sale por las perforaciones en el tambor hacia una malla que separa el desecho del agua. Para mejorar la calidad microbiológica del producto final se puede realizar una desinfección aplicando al final del lavado una solución de hipoclorito de sodio en agua a 200 ppm.

♦ **Troceado.** Esta operación de reducción de tamaño es necesaria para aumentar el área de transferencia de calor de la materia prima y acelerar el secado de las raíces. Se efectúa en la máquina trozadora cuyo componente principal es un disco que gira a 1200 rpm y está montado verticalmente en una estructura metálica. El disco porta varias cuchillas acanaladas en forma trapezoidal y desfasadas para facilitar la labor, las cuales impactan sobre las raíces que descienden por la tolva de alimentación de la trozadora (Ostertag, 1991). Para recolectar los trozos de la picadora, se acopla un carro metálico con rodachines que se usa para transportarlos hacia la cámara de secado.

♦ **Secado.** El secado es la operación más relevante del proceso, tradicionalmente se ha secado la yuca en patios por exposición al sol, sin embargo esta práctica presenta grandes inconvenientes relacionados con la calidad microbiológica del producto final. En esta operación se reduce la humedad por evaporación de los trozos de yuca hasta alcanzar un nivel inferior al 13 % en base húmeda. El sistema de secado por exposición al sol consiste en esparcir sobre las bandejas de estructura de madera y fondo de malla de gallinero en alambre con agujeros de una pulgada de diámetro, los trozos de yuca. Las bandejas se colocan sobre travesaños de bambú o guadua soportados por dos hileras de postes aprovechando al máximo la dirección y la fuerza del viento (Alonso, 2002). También pueden ser utilizadas tecnologías de secado artificial, con sistemas de secado con aire caliente usando lecho semifluidizado o secadores de bandejas, las cuales producen un trozo de mayor calidad microbiológica.

♦ **Molienda.** Utilizando una tamizadora cilíndrica de aspas y clasificación neumática, el proceso para la obtención de harina de yuca según el método para la obtención de harina refinada de yuca, a partir de trozos secos de yuca, se divide en dos etapas (Barona e Isaza, 2003).

- **Etapa 1.** Se alimentan pequeños trozos de yuca seca a un molino tamiz cilíndrico de aspas provisto de la criba con malla de 3 mm el cual los reduce de tamaño, se rechazan pequeños materiales como cascarilla trozos duros de fibra astillas, que componen lo que se conoce como ripio. El material que logra pasar por la malla es succionado por un ventilador centrífugo de aspas radiales que los transporta a los ciclones encargados de la clasificación neumática, en la separación neumática la harina producida por el molino tamiz es separada en dos clases de harina

denominadas fina y gruesa. La harina gruesa constituye el ripio y la harina fina queda lista para un posterior proceso de separación neumática.

- **Etapa 2.** La harina fina de la etapa 1 es alimentada al molino tamiz, pero utilizando una criba con malla de 177 micras, el material que pasa por la malla es nuevamente succionado por el ventilador y separado en dos nuevas harinas denominadas fina y gruesa, siendo la harina fina el producto final del proceso de tamizado.

♦ **Empaque y almacenamiento.** La harina es empacada en bolsas de polipropileno. El almacenamiento de la harina se realiza en forman arrumes sobre estibas de madera, en bodega permitiendo el acceso, limpieza o fumigación, resguardada de la humedad y de contaminación por insectos como el gorgojo harinoso, ataque al cual es muy susceptible.

2.3.2 Composición de la harina de yuca. Con relación a la composición química y microbiológica, las normas de calidad para trozos de yuca seca y para harina de yuca se presenta en las tablas 6 y 7 respectivamente.

Tabla 6. Composición y normas de calidad de trozos de yuca seca en Colombia y Tailandia.

Composición química	Niveles máximos permitidos según criterio de calidad para trozos de yuca seca	
	Colombia	Tailandia
Humedad máxima	12%	16% (14.0 octubre a mayo) (14.3 junio a septiembre)
Fibra cruda máxima	4%	5%
Ceniza máxima	3%	--
Arenas máxima	--	4%
Almidón mínimo	65%	65%
Ácido cianhídrico	100 ppm	100 ppm
Hongos máximo	10 x 10 ³	--
Mesófilos máximo	10 x 10	--
Coliformes máximo	10 x 10 ³	--
<i>Escherichia coli</i>	Negativo	--
Clostridium máximo	100	--
Salmonella	Negativo	--
Aflatoxinas	Negativo	--

Fuente: Tomado de CIAT [en línea], 2001.

Tabla 7. Composición y normas de calidad de harina de yuca en Colombia y África.

Composición química	Niveles máximos permitidos según criterio de calidad Para harina de yuca	
	Colombia ¹	África ²
Humedad (%)	12	13
Almidón (% mínimo)	62	
Cenizas (%)	2	3
Fibra cruda (%)	2.5	2
Arena (%)	3	10
Celulosa cruda (%)	5	--
Total HCN (mg/kg)	50	--
Contenido Microbiano		
Aflatoxinas	0	--
Recuento de bacterias aerobias mesofilas	2 x 10 UFC	--
Recuento de coliformes	1 X 10 UFC	--
<i>Escherichia coli</i> /g	0	--
Salmonella/g	0	--
Recuento de hongos y levaduras	1 X	

Fuente: Tomado de CIAT [en línea], 2001.

Adicionalmente, en el Anexo A. se presenta Norma del Codex Alimenticio para la harina de yuca comestible, Codex Stan 176-1989 (rev. 1 - 1995).

2.4 HARINAS COMPUESTAS TRIGO-YUCA

Mientras la harina de trigo tiene alrededor de 10,5 % de proteína, la harina de yuca sólo tiene 2,6 % esto es una desventaja nutricional y es por ello que no sería conveniente en este aspecto la producción con niveles muy altos de sustitución de harina de yuca. Dado que en la producción harina de trigo, se utilizan por lo general dos tipos de calidades de trigo; unos

de baja calidad (bajo contenido de proteína) y otros de alta calidad (alto contenido de proteína) para lograr un balance de proteína, sería posible reemplazar las harinas de trigo de baja calidad por harina de yuca.

Desde el punto de vista técnico, se ha demostrado que se puede producir pan con características comparables a las del pan de trigo tradicional, utilizando formulaciones en las que la harina de trigo se ha sustituido entre 5 y 15 % con harinas de yuca (Giacco, 1977; Leon, 1982; IIT, 1986; Defloor, 1995). Los resultados obtenidos indican que el pan elaborado con estas harinas ha tenido aceptación por parte del público consumidor. Estos estudios dejaron claro que el principal obstáculo a vencer será el panadero, quien percibe grandes riesgos de desmejorar la calidad de su pan al utilizar la harina compuesta.

2.4.1 Estudios de panificación realizados en el mundo. En países como Cuba y Filipinas, la harina de yuca en panificación se ha utilizado y obligado legalmente. En Venezuela⁷, el pan a base de harina de trigo y de yuca, ha sido elaborado desde hace largo tiempo, hasta con 60 % de harina de yuca. En Perú se realizaron estudios de panificación con mezclas de harinas de trigo utilizando tres variedades de yuca (Luna de la Fuente, 1954), en donde se observó que las características físicas del pan se mantuvieron en condiciones aceptables hasta la proporción de 10 % de harina de yuca, siendo las de 15-20 % aceptables. A mayor proporción de harina de yuca, disminuyó el volumen del pan, la textura se hizo inferior y se acentuó la coloración de la miga. Se realizó un análisis químico y nutricional de los panes y se encontró que el valor nutritivo en general disminuyó a medida que se aumentó la proporción de harina de yuca empleada en la mezcla.

El programa de harinas compuestas fue emprendido por la FAO en 1964, el cual tenía como objetivo determinar mediante investigaciones intensivas la posibilidad de fabricar una gran diversidad de productos de panadería, pastas y repostería susceptibles de aceptación, de gran calidad y valor nutritivo, empleando harinas y almidones distintos del trigo. Por una parte para ahorrar divisas y por otra para impulsar en la agricultura e industria locales la creación de una demanda de materias primas para disminuir o reemplazar las fuertes importaciones que tienen de productos de primera necesidad. Los estudios fueron

⁷ GRUNWALD, O. La yuca amarga en Venezuela. Boletín No. 7. Maracay: Ministerio de Agricultura, 1956.

realizados en África, Asia y América Latina, y dentro de esta última Colombia recibió el apoyo de Países Bajos y Reino Unido para las investigaciones realizadas por la FAO en el año de 1969. Un año después la organización publicó un documento sobre la composición y digestibilidad de diferentes mezclas de harinas compuestas de trigo y yuca (FAO, 1970).

Investigaciones realizadas por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) ubicado en Nigeria, han demostrado la posibilidad de obtener pan utilizando 100 % harina de yuca y también con mezclas de harina de soya y de trigo. Los ensayos de panificación han sido realizados obteniendo pan molde y se han presentado resultados cuyo producto final es diferente a un pan de solo trigo, sin embargo, se continúan mejorando las técnicas de panificación y desarrollando nuevos productos a partir de yuca, tubérculo de la alimentación básica en África (Onabolu *et al.*, 1998).

Brasil es otro de los países pioneros en la investigación y puesta en marcha de proyectos de panificación con harina de yuca, prueba de esto lo constituye el proyecto de ley presentado por el Diputado Aldo Rebelo, ante el gobierno brasilero en el año 2001, para la obligatoriedad de la adición de harina de yuca refinada o almidón de yuca a la harina de trigo para panificación (Rebelo, 2002). Entre tanto el proyecto de ley de Brasil debió emprender una rigurosa investigación que demostró que la tecnología necesaria para la producción de panes que contengan 20% de harina de yuca está disponible y que es posible producir un pan con idénticas cualidades al hecho con trigo puro (Rebelo, 2002). También concluyó que la sustitución demanda cambios en la tecnología de elaboración del pan, tales como el uso en proporciones diferentes de agua y grasas o la modificación del tiempo de amasado; algunas pequeñas adaptaciones viables en cualquier establecimiento comercial, lo que tendrán como resultado productos con características organolépticas y contenido nutricional aceptables para el consumidor.

Así mismo diferentes publicaciones científicas (Defloor *et al.*, 1995; Dendy *et al.*, 1972; Giacco *et al.*, 1977) han realizado gran variedad de investigaciones acerca del tema, y comprobado la tesis de la viabilidad de la obtención de pan utilizando harina de yuca en bajos porcentajes de sustitución menores al 15%.

2.4.2 Estudios de panificación realizados en Colombia. Durante el período 1986-1991, en el marco del convenio suscrito entre el CIAT, IIT, Univalle, DRI y CIID, se desarrolló un proyecto denominado “Producción y comercialización de harina de yuca para consumo humano” (CIAT, 1988), en el cual se comprobó que es viable técnicamente obtener pan a partir de harina de yuca. Utilizando un sistema de secado de capa fija se instaló una planta piloto en el departamento de Córdoba y después de dos años de operaciones se concluyó que la harina de yuca podría ser utilizada en muchos productos industriales entre ellos el pan a precios competitivos, pero con el requisito fundamental de una calidad óptima, especialmente en relación con aspectos microbiológicos. Posteriormente, con la apertura económica, el trigo se consiguió a precios más bajos y el proyecto nunca paso la fase piloto.

Entre los estudios realizados en el marco del convenio se evaluaron diferentes variedades de yuca para la obtención de harina de yuca para panificación, siendo la variedad MCOL 22-15 la que permitió los mejores resultados en cuanto a *formación de miga, volumen específico y aceptabilidad* (IIT. No.2, 1986).

En otro estudio se evaluaron diferentes edades de cosecha entre 8 y 14 meses, evaluándose también el porcentaje de sustitución de la harina de yuca. Los resultados permitieron establecer que con yuca de 10 meses de edad, para la obtención de harina de yuca procesada, con o sin cáscara, fue posible producir un pan, elaborado con una mezcla de harina de trigo (85%) y harina de yuca (15%), con características similares a las del pan patrón. Los panes obtenidos con harina de yuca, procesada con cáscara, presentaron un volumen específico y textura menor y una acentuada coloración de la miga pero por sus características organolépticas fueron muy similares al patrón de trigo, que se utiliza en la producción de panes a escala comercial (IIT. No.1, 1986).

Paralelamente a este estudio, se realizó otro en el que se evaluó la influencia del nivel de adición de harina de yuca en niveles desde 12 hasta 17,5 % procesada con cáscara. Se concluyó que el máximo nivel de adición permitido fue 15 %, pudiéndose utilizar porcentajes menores. Se obtuvieron panes de tipo blando y francés con características

físicas y organolépticas no diferenciales de las de los panes patrón (elaborados con sólo harina de trigo). Adicionalmente, se evaluó la influencia de la edad de recolección entre 8-14 meses, encontrándose que 12 meses es la edad que permite obtener panes con las mejores características externas en corteza y simetría, y de volumen específico más uniforme que los fabricados con yucas de otras edades de recolección. Los panes obtenidos se evaluaron sensorialmente para determinar su aceptabilidad, por parte de un panel de catación entrenado, en donde se evaluó la apariencia externa e interna, el aroma y sabor y el volumen específico. Las características internas de los panes elaborados con la harina de yuca de la variedad MCOL 22-15, fueron ligeramente inferiores a los del patrón. La miga fue un poco más abierta y con presencia de alvéolos más grandes. El color de la miga fue muy similar a los del patrón, siendo la textura del patrón más suave que la de los panes que contienen la harina de yuca. En las características que se acentúan, las diferencias entre los panes son el sabor y olor, los cuales se mostraron disminuidos comparados con los del patrón, debido a la adición de la harina de yuca. En general, todas las calificaciones, para las características seleccionadas, tuvieron un nivel de aceptabilidad entre 85-90 % (IIT. No.3, 1986).

Aunque todos los panes obtenidos con la variedad más adecuada y los mejores niveles de sustitución presentaron características externas, internas y organolépticas muy similares a los del patrón, fue difícil incursionar en el mercado, dada la cultura arraigada hacia el uso de harina de trigo, pues en su opinión el comportamiento de la masa era diferente al de las masas que estaban acostumbrados a manejar y además no poseían una formulación estandarizada para la fabricación de pan con la adición de harina de yuca.

3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una revisión y evaluación de la información técnica suministrada en libros, artículos y revistas relacionados con el tema, donde se encontró que es posible producir pan utilizando harina compuesta trigo-yuca; sin embargo las investigaciones revisadas no efectuaron un análisis y evaluación de las propiedades reológicas de las masas panificables mediante farinogramas y alveogramas, estas investigaciones se orientaron básicamente a la realización de análisis sensoriales del pan final. La fase experimental plantea como objetivos:

- ◆ Confrontar lo encontrado en la información técnica respecto al uso de variedades y porcentajes de sustitución utilizados en previas investigaciones de panificación
- ◆ Evaluar el efecto de las variables de proceso: Variedad de yuca, porcentaje de sustitución de harina de yuca y tipo de pan, sobre las variables de respuesta definidas para evaluar el proceso de panificación.
- ◆ Conceptuar sobre las mejores condiciones de proceso para la fabricación de pan a partir de harina compuesta trigo-yuca.

3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACION DEL POTENCIAL DE PANIFICACION DE LAS HARINAS COMPUESTAS TRIGO-YUCA

El diseño experimental fue orientado para evaluar el efecto de las variables de proceso definidas en la producción de pan. Inicialmente se definieron las variables de interés para la investigación y sus niveles de trabajo con el propósito de planear los experimentos. Las harinas de yuca obtenidas fueron caracterizadas y finalmente el producto final fue evaluado cuantitativa y cualitativamente, el análisis de resultados y la determinación de los identificadores técnico-económicos de la fabricación de pan utilizando harina de yuca.

3.1.1 Definición de variables y niveles. Para determinar el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de yuca se definieron tres variables con tres niveles de cada una.

♦ **Variedad de yuca.** Las variedades de yuca seleccionadas fueron CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1. las cuales fueron seleccionadas teniendo en cuenta criterios de selección tales como: disponibilidad del material, rendimiento promedio de raíces en materia seca, contenido de materia seca y contenido de HCN, los cuales se presentan en la tabla 8. En lo referente a la disponibilidad es importante que las variedades fueran comerciales y cultivadas frecuentemente en las zonas de adaptación más importantes de Colombia, en las cuales CIAT, a llevado a cabo pruebas regionales; de esta forma se garantiza un abastecimiento constante de estas variedades.

Un rendimiento en materia seca por encima de 20 t/ha, se considera aceptable para un clon destinado a uso industrial, este se considera más relevante si se expresa en términos de rendimiento en materia seca, ya que de esta forma no se tiene en cuenta el agua de la raíz, siendo un valor más eficiente para el cálculo del transporte y procesamiento por su menor contenido de agua. El rendimiento expresado en términos de materia seca estima que tan eficientes son las variedades. Este parámetro se calcula multiplicando el rendimiento en peso fresco por el porcentaje de materia seca. Se escogieron rendimientos de raíces en materia seca por encima de 6 t/ha, los cuales se consideran como buenos.

El contenido de materia seca es de vital importancia, ya que está relacionado con la cantidad del almidón que tiene la yuca. En términos generales un contenido de materia seca por debajo de 30 % se considera bajo, entre 30-34 % intermedio y por encima de 34 % se considera alto. Las variedades seleccionadas se ubican en el rango alto.

Dado que la harina de yuca a utilizar se destina al consumo humano, es importante que las variedades de yuca seleccionadas presenten bajos niveles de ácido cianhídrico. Las variedades seleccionadas presentan contenidos bajos de HCN.

Tabla 8. Características de las variedades de yuca seleccionadas.

Variedad	Rendimiento Prom. Raíces frescas (t/ha)	Materia seca prom. (%)	Rendimiento prom. Materia seca (t/ha)	Contenido de HCN (ppm)	Tipo de uso de la Raiz
CMC-40	22	34,5	7,6	200 (Bajo)	Doble

MCOL 1505	23	37	8,5	150 (Bajo)	propósito* Doble propósito*
HMC-1	25	33	8,3	120 (Bajo)	Doble propósito*

- *Doble propósito: puede ser destinada para uso en mesa y uso industrial.
-

♦ **Niveles de sustitución.** Los niveles de sustitución de harina de trigo por harina de yuca fueron 5, 10 y 15 % (relación peso/peso en base a la cantidad de harina de trigo) los cuales fueron definidos en base a la revisión de literatura realizada, donde se concluyó que valores superiores al 15 % afectaban la calidad final de pan (Véase sección 2.3.1 y 2.3.2)

♦ **Tipo de pan.** Los tipos de pan seleccionados fueron: Común, Molde y Hamburguesa. La selección se basó en estudios previos realizados en el tema, donde se encontró particularmente que los tipos de pan común y molde son los más utilizados en la evaluación paramétrica del pan. El pan hamburguesa se seleccionó dado que en entrevistas previas con el personal de la panadería⁸, donde se realizó la fase experimental del proyecto, fue sugerido este tipo de pan dado que su formulación no enmascara el posible efecto de la harina de yuca en el pan final.

3.1.2 Planeación de ensayos. Los ensayos realizados fueron de dos tipos: cualitativos los cuales se llevaron a cabo por medio de pruebas sensoriales, y cuantitativos realizados por medio de la determinación de propiedades reológicas y físicas.

Dado que se definieron tres variables con tres niveles en un mismo experimento, el número de ensayos sigue un modelo factorial, como lo muestra la tabla 9.

Tabla 9. Diseño de experimentos propuesto.

Variables	<i>Niveles</i>
<i>Variedad de yuca (V)</i>	3
<i>Nivel de sustitución de harina de yuca (S)</i>	4*
<i>Tipo de pan (T)</i>	3
Modelo Factorial	3 x 4 x 3
Número de ensayos	36

⁸ Fuente: Entrevistas con el maestro panadero Armando Marín propietario de la panadería “La Estrella” y el panadero Libardo García.

*Tres niveles definidos y el control o patrón de trigo.

**Para las pruebas de aceptabilidad.

Las combinaciones para los 36 ensayos propuestos, según el modelo factorial, se presentan en el Cuadro 3.

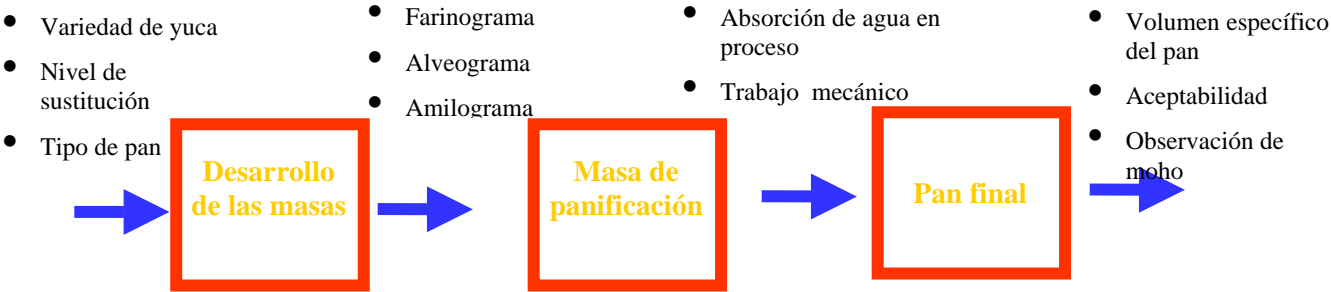
Cuadro 3. Combinaciones de los 36 ensayos propuestos.

		Pan común	**	Pan molde	**	<i>Pan hamburguesa</i>	**
CMC-40	5 %	*	1	*	2	*	3
	10 %	*		*			
	15 %	*		*			
	Control	*		*			
MCO-1505	5 %	*	4	*	5	*	6
	10 %	*		*			
	15 %	*		*			
	Control	*		*			
HMC-1	5 %	*	7	*	8	*	9
	10 %	*		*			
	15 %	*		*			
	Control	*		*			

**Orden de realización de los ensayos de panificación.

3.1.3 Evaluación de las variables de respuesta. Para la evaluación de las características de la masa y del producto final, se definieron variables de tipo cuantitativo (amilograma, farinograma y alveograma, volumen específico, trabajo mecánico y absorción de agua en proceso) y cualitativo (sensoriales).

Figura 18. Diagrama de las variables de respuesta para la evaluación del potencial de panificación de las harinas compuestas trigo-yuca.



3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describe la localización de los lugares donde se desarrolló la fase experimental, junto a los materiales, equipos y métodos de análisis utilizados.

3.2.1 Localización. La fase experimental se llevó a cabo en la panadería “La Estrella”, ubicada en la ciudad de Palmira (Valle del Cauca). Las pruebas físico-químicas de las materias primas y producto final se realizaron en el Laboratorio de Calidad de yuca y en el laboratorio de servicios analíticos ubicados en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical, Palmira (Valle del Cauca). Los análisis reológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de calidad de La Industria Harinera del Valle. Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en los Laboratorios Microlab y Laboratorios Ángel.

3.2.2 Materiales. Los materiales utilizados en los ensayos durante el desarrollo del proyecto se dividen en los utilizados en la producción de la harina de yuca y en la producción de pan. Para la fabricación de harina se utilizó: raíces frescas de yuca, agua, hipoclorito de sodio y bolsas de polietileno y polipropileno. Para la producción de pan se utilizó: harina de trigo (Véase ficha técnica de la harina utilizada, en el Anexo D), harina de yuca, grasas, azúcar, agua, sal, levadura.

3.2.3 Equipos. Durante los ensayos se utilizaron los equipos registrados en la tabla 10.

Tabla 10. Listado de equipos.

Producción de harina	Producción de pan	Evaluación del pan
Bascula de 500 kg	Mezcladora NOVA, capacidad 100 kg	Secador de circulación forzada, marca DESPATCH
Lavadora de raíces de yuca	Rodillos MAQUIPAN, capacidad 20 kg	Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
Trozadora tipo Colombia	Divisora DUCHES, de 30 cuchillas, capacidad 6 kg	Balanza Ohaus de triple brazo
Bandejas de secado	Cámara de fermentación	Equipo para medir densidad aparente*
Secador de flujo transversal	Hornos DORADO, de 36 y 24 bandejas, hasta 500°C	Termómetro
Molino cilíndrico de aspas	Selladora	Cronómetro
Ciclones	Termómetro	Probetas de 100, 200 y 500 ml

*Equipo descrito por VANHAMEL, 1991.

3.2.4 Métodos analíticos. Tanto la materia prima como el producto final fueron caracterizados en el primer caso como medida de control y en el segundo para evaluación de las variables de respuesta. La tabla 11 registra los métodos analíticos utilizados y el laboratorio donde se llevaron a cabo.

Tabla 11. Tipo de análisis y métodos analíticos utilizados.

Análisis	Laboratorio – Método analítico
Fisicoquímico	Laboratorio Calidad de yuca - CIAT
Materia seca (%)	AOAC 925.09 (1990)
CN-Total y Libre (ppm)	Método ESSER, SA. (1993) ⁹
Azúcares reductores (%)	AOAC 13.28 (1955)
Almidón (%)	AOAC 14073 (1984)
Amilosa (%)	ISO 6647 (1987)
IAA y ISA*	Método Anderson, R. <i>et al.</i> (1969) ¹⁰
Volumen específico	Método VANHAMEL, L. <i>et al.</i> (1991) ¹¹
Proximal	Laboratorio de servicios analíticos -CIAT
Proteína (%)	AOAC 13.31 (1955)
Fibra cruda (%)	AOAC 13.20 (1955)
Extracto etéreo (%)	AOAC 13.19 (1955)
Cenizas (%)	AOAC 923.03 (1990)
Reológico	Laboratorio de Calidad-Harinera del Valle
Farinograma	AACC 54-20
Alveograma	Estandarizado Harinera del Valle Ref. 114-003
Falling Number	AACC 56-81 A
Amilograma	Laboratorio de calidad de yuca-CIAT SHVEI, C. and TIPPLES, K. H. 1988 ¹² W. AACC The Amylograph Handbook (1988)
<i>Microbiológico</i>	<i>Laboratorios Ángel y Microlab</i>
Recuento total de aerobios Mesófilos / g	NTC 4519
Detección de Eschericha Coli / g	ISO 7251
Recuento de Levaduras / g	NTC 7698
Recuento de Hongos	NTC 7698
Investigación de Salmonella / 25 g	NTC 4574
Recuento de esporas de bacteria / 25 g	INVIMA

*IAA (Índice de absorción en agua, g de gel/ g de H₂O) y ISA (índice de solubilidad en agua, %).

⁹ ESSERS, S.A. *Et al.* studies of the quantification of specific cyanogens in cassava product and introduction of the new chromogen. *J. Sci. Food. Agric.* 63. p. 287-296.

¹⁰ ANDERSON, R. *et al.* gelatinisation of corn grits by rol and extrusion, cooking. *Cereal Science Today.* 14. p. 4 a 12.

¹¹ VANHAMEL, L. *et al.* A volumeter for breads prepared from 10 grams of flour. *Cereal chemistry.* 1991. 68(2). p.170-172.

¹² SHVEI, C. and TIPPLES, K. H. 1988¹² W. The Amylograph Handbook. Washington: AACC. 1960

3.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Una prueba sensorial puede clasificarse en afectiva o de satisfacción (orientada al consumidor) y analítica (orientada a paneles entrenados), la selección de una de las anteriores depende del objetivo a cumplir (Watts, *et al.* 1992). Por lo tanto la elección del tipo de prueba se realizó con base a los criterios descritos a continuación.

3.3.1 Propósito del análisis. Dado que uno de los objetivos es evaluar la aceptabilidad del pan obtenido a partir de harina compuesta trigo-yuca, el propósito es evaluar la preferencia, aceptabilidad o grado en que gusta este producto en una población de consumidores, por lo tanto es un análisis de tipo afectivo.

3.3.2 Selección del tipo y número de panelistas. Watts¹³ sugiere que el tamaño apropiado de la población para evaluar un producto mediante pruebas de consumidores es de 30-50 personas en paneles internos y entre 100–500 personas en paneles de consumidores para predecir el comportamiento final de un producto. Tomando esta información como base, se decidió realizar 50 encuestas que evaluaron cuatro muestras (tres porcentajes de sustitución y el control), las cuales se aplicaron tanto para las variedades como para los tipos de pan, así el total de las encuestas realizadas fueron:

⇒ 50 encuestas * 3 variedades * 3 tipos de pan = 450 encuestas realizadas en total

La encuesta fue dirigida a personas que consumen pan habitualmente, en un rango de edades de 14 hasta 70 años, en los estratos sociales 2, 3, 4, 5 y 6. Las personas encuestadas solo realizaron la evaluación una vez por tanto no se repitieron panelistas en la evaluación.

3.3.3 Selección de las características de calidad a evaluar. Las características organolépticas a evaluar en el pan fueron: aroma, textura de la miga, sabor y aceptabilidad, esta última característica incluye la evaluación del pan en general.

¹³ WATTS B. M. *et al.* Basic methods for food evaluation. Ottawa. Canadá: Centro internacional de investigaciones para el desarrollo, 1992. p 66-67. 170p.

3.3.4 Selección del tipo de prueba aplicada. El tipo de prueba seleccionada fue la prueba hedónica dirigida a consumidores. Esta prueba cumple con el propósito de determinar la aceptabilidad de un producto y utiliza escalas categorizadas que reflejan el grado en que un producto agrada o desagrade al consumidor.

3.3.5 Diseño del cuestionario de evaluación y método de calificación. A cada una de las características organolépticas de aroma, textura de la miga, sabor y aceptabilidad se les asignó una calificación categorizada de 5 puntos desde “me gusta mucho” hasta “me disgusta mucho”, estas características fueron evaluadas para cuatro muestras codificadas con un número de tres dígitos seleccionado al azar. En el cuestionario de evaluación el consumidor marcaba con una x, en la escala asignada, la calificación de su preferencia. Adicionalmente se solicitó comentarios o sugerencias de las muestras degustadas. El cuestionario de evaluación diseñado se presenta en el Anexo E. Las 50 encuestas realizadas para evaluar un tipo de pan y tipo de harina compuesta trigo-yuca, utilizando diferentes porcentajes de sustitución, se presentaron en 10 órdenes diferentes; es decir los panes tuvieron la oportunidad de ocupar diferentes posiciones en la encuesta de manera que cinco consumidores degustaron las muestras en el mismo orden.

3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PRODUCCION DE HARINA DE YUCA Y PAN DE HARINAS COMPUESTAS TRIGO YUCA

Con base en el diseño experimental planteado se programó la realización de ensayos para la producción del pan. Previo a ello, fue necesario producir la harina de yuca a utilizar; en este proceso se evaluaron diferentes condiciones de operación tales como lavado, pelado, secado y molienda con el fin de determinar su efecto sobre la calidad de la harina de yuca obtenida. La harina producida a partir de las tres variedades seleccionadas, fue caracterizada y utilizada en la fabricación del pan. Cada ensayo de panificación utilizó 1 kg de harina de trigo con su respectivo porcentaje de sustitución para cada variedad y tipo de pan. En cada ensayo siempre se elaboró el pan control. Finalmente, las mezclas de harina trigo-yuca y los panes obtenidos fueron evaluados de acuerdo con las variables de respuesta seleccionadas.

3.4.1 Obtención de la harina de yuca. Las tres harinas de yuca fueron procesadas evaluando diferentes condiciones de operación para determinar el efecto del procesamiento sobre la calidad de la harina de yuca final. Esto se realizó dado que en el transcurso de investigación se encontró que la harina de yuca presentaba problemas relacionados con la calidad microbiológica, por lo tanto se decidió utilizar tratamientos alternativos para identificar, en que operación se podría ejercer un control sobre este problema específico. Sin embargo, dado que cualquier cambio en el procesamiento puede tener un efecto sobre las características de la harina final, se decidió determinar luego de cada tratamiento evaluado cual es el más indicado para la eventual producción industrial, y utilizar esta harina en las pruebas de panificación, por lo tanto todas las harinas utilizadas en panificación se obtuvieron luego de realizar el mismo proceso de obtención. Primero se procesó la variedad CMC-40 luego la MCOL-1505 y finalmente la HMC-1, los tratamientos evaluados en cada variedad de yuca fueron:

- La variedad CMC-40 se obtuvo evaluando el *efecto del secado* sobre la calidad microbiológica de la harina de yuca final. Previo a este tratamiento se realizó una inmersión de las raíces de yuca, luego del lavado mecánico, en piscinas con hipoclorito de sodio a 10 ppm durante 10 minutos, con el fin de eliminar la máxima población microbiana posible antes del secado. La cantidad inicial de yuca se dividió en dos partes, una se destinó para secado artificial y la otra para secado solar en bandejas inclinadas. Luego del secado se realizó la molienda de los trozos de yuca secos. De la fracción secada artificialmente se obtuvieron 3,58 kg de trozos secos, los cuales no pudieron ser molidos en la tamizadora de aspas como se planteó dado que este equipo requiere de una cantidad mínima de procesamiento (10 kg de trozos secos), luego esta fracción se pulverizó en un molino de dientes y la porción secada al sol se pulverizó en la tamizadora de aspas a 1280 rpm.

Como resultado de estos tratamientos se obtuvieron dos harinas que sirvieron para evaluar el efecto del secado y la molienda sobre la calidad microbiológica y la granulometría de la harina respectivamente. Puesto que no se presentaron las

condiciones necesarias para realizar un secado artificial eficiente, se determinó efectuar la operación de secado solar en bandejas inclinadas para el resto de variedades a evaluar. Finalmente se decidió utilizar en panificación la harina procedente de yuca con cáscara, procesada en secado solar y molienda en la tamizadora de aspas

- La variedad de yuca MCOL-1505 se obtuvo evaluando en el proceso de producción, el *efecto del pelado* manual de la raíz, sobre la calidad microbiológica de la harina final. El tratamiento de inmersión en piscinas con hipoclorito no se utilizó en esta ocasión dado que el propósito de esta evaluación fue conocer el efecto de la remoción total de la cáscara y se determinó conveniente analizar la calidad microbiológica de la harina procedente de la raíz con cáscara sin haber sido tratado con agentes químicos que disminuyeran la población microbiológica inicial de la raíz.

Posteriormente para evaluar el efecto del pelado se fraccionó en dos porciones la cantidad inicial de raíces de yuca, una porción se destinó para procesarla pelada y otra con cáscara, luego del pelado se advirtió que el costo de la mano de obra y las pérdidas de material por este concepto representaban un costo innecesario en la producción de harina de yuca para panificación. De este modo se determinó utilizar yuca con cáscara en los ensayos de panificación y en la producción de la variedad restante (HMC-1).

- La harina de yuca HMC-1, se obtuvo evaluando el *efecto de la velocidad de rotación de las aspas del molino* sobre el rendimiento de la molienda de los trozos de yuca en la malla expandida. También se utilizó el tratamiento de inmersión en piscinas con hipoclorito a concentraciones de 20 ppm durante 20 minutos, con el fin de evaluar la calidad microbiológica de la harina final luego de aumentar la concentración de hipoclorito.

Los trozos de yuca secados en bandejas, se dividieron en dos partes; una para ser molida a 1280 rpm y otra a 1930 rpm. Luego de procesar la misma cantidad inicial de trozos secos (18,5 kg) se recolectaron 1,5 kg de ripio y 17 kg de harina con la molienda a 1930 rpm y 4,5 kg de ripio y 14 kg de harina con la molienda a 1280 rpm, según esto

la harina de yuca producida con la molienda a 1930 rpm presentó mayor eficiencia y por este motivo se eligió para usarla en los ensayos de panificación.

Los diagramas de flujo de la producción de las harinas se presentan en las figuras 19, 20 y 21. Finalmente las harinas obtenidas fueron evaluadas por medio de análisis microbiológicos y granulométricos, para conocer el efecto de las diferentes operaciones modificadas sobre estas características. Mientras que para los ensayos de panificación se utilizaron las variedades procesadas utilizando raíces con cáscara, lavadas en tambor con alimentación constante de agua, secadas al sol en bandejas inclinadas y molidas en la tamizadora de aspas, la diferencia entre tratamientos de las harinas usadas en panificación se presenta en la concentración de hipoclorito y la velocidad de molienda, sin embargo, la concentración de hipoclorito no ejerce un efecto sobre el comportamiento en panificación de las harinas compuestas trigo-yuca, dado que si bien es un agente de saneamiento seguro los restos de cloro se desprenden fácilmente pues reacciona con muchos compuestos liberándose fácilmente (Davis, 1975) por tanto no se desprende mal olor ni se altera el sabor del pan final.

Figura 19. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad CMC-40.

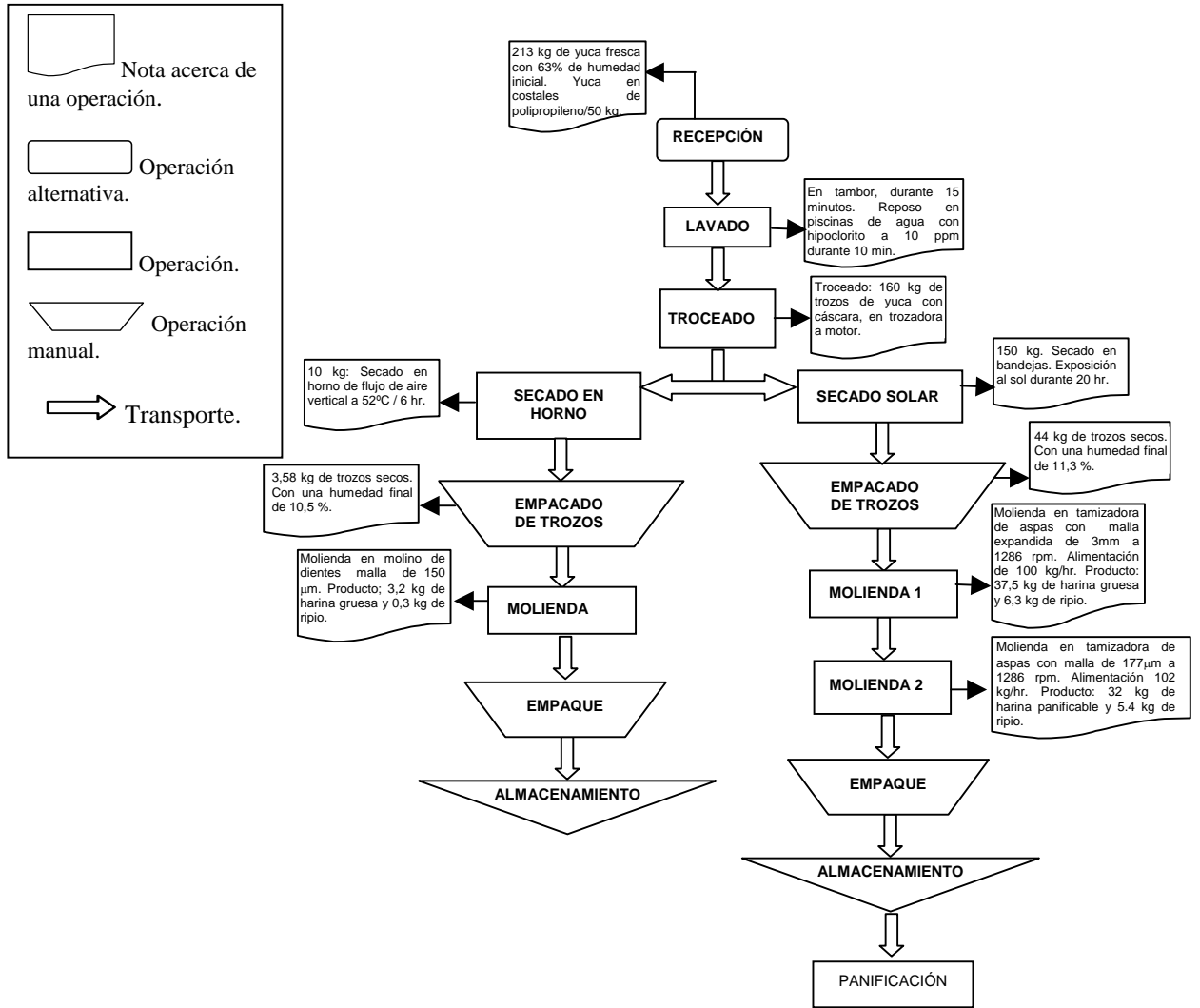


Figura 20. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad MCOL 1505.

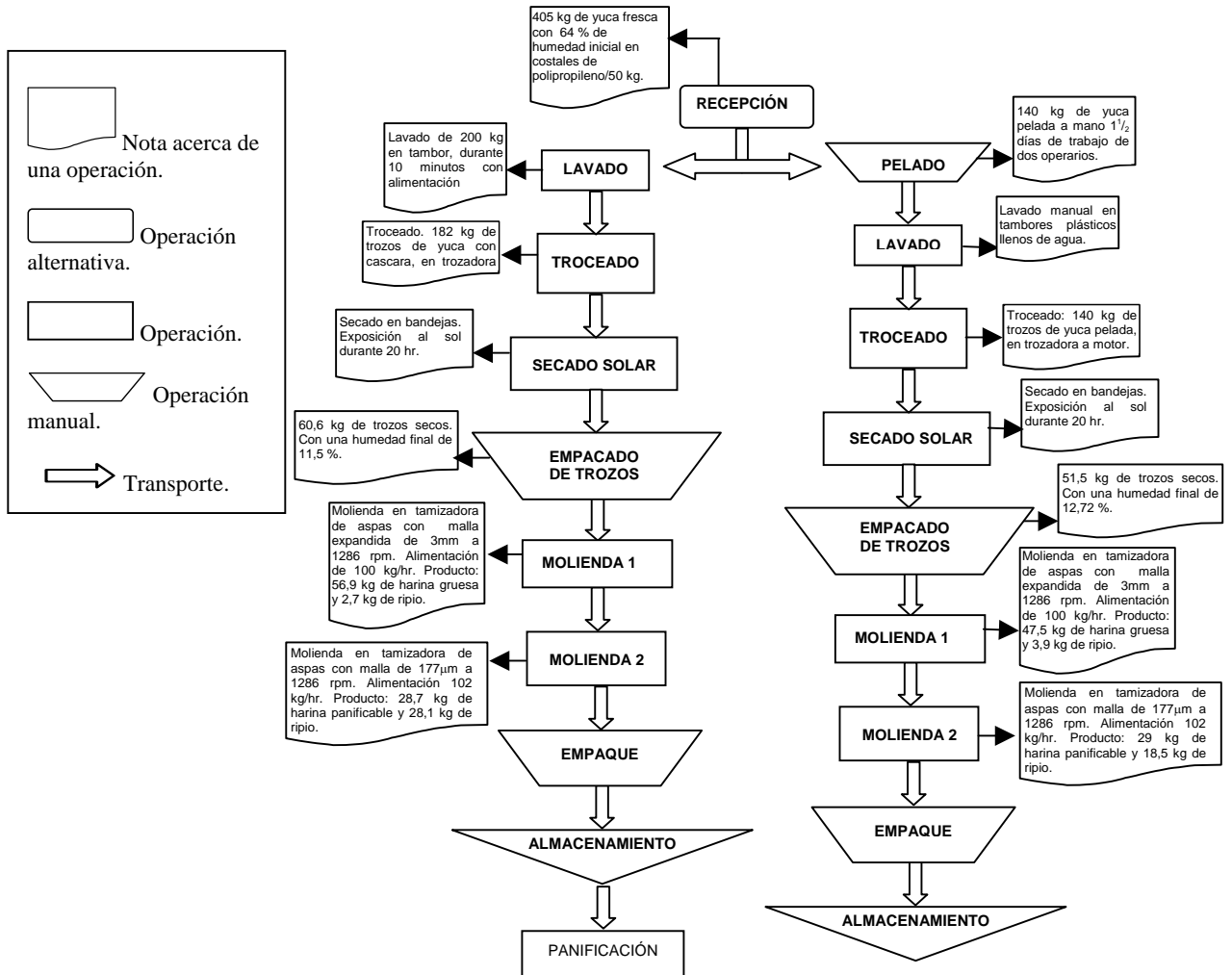
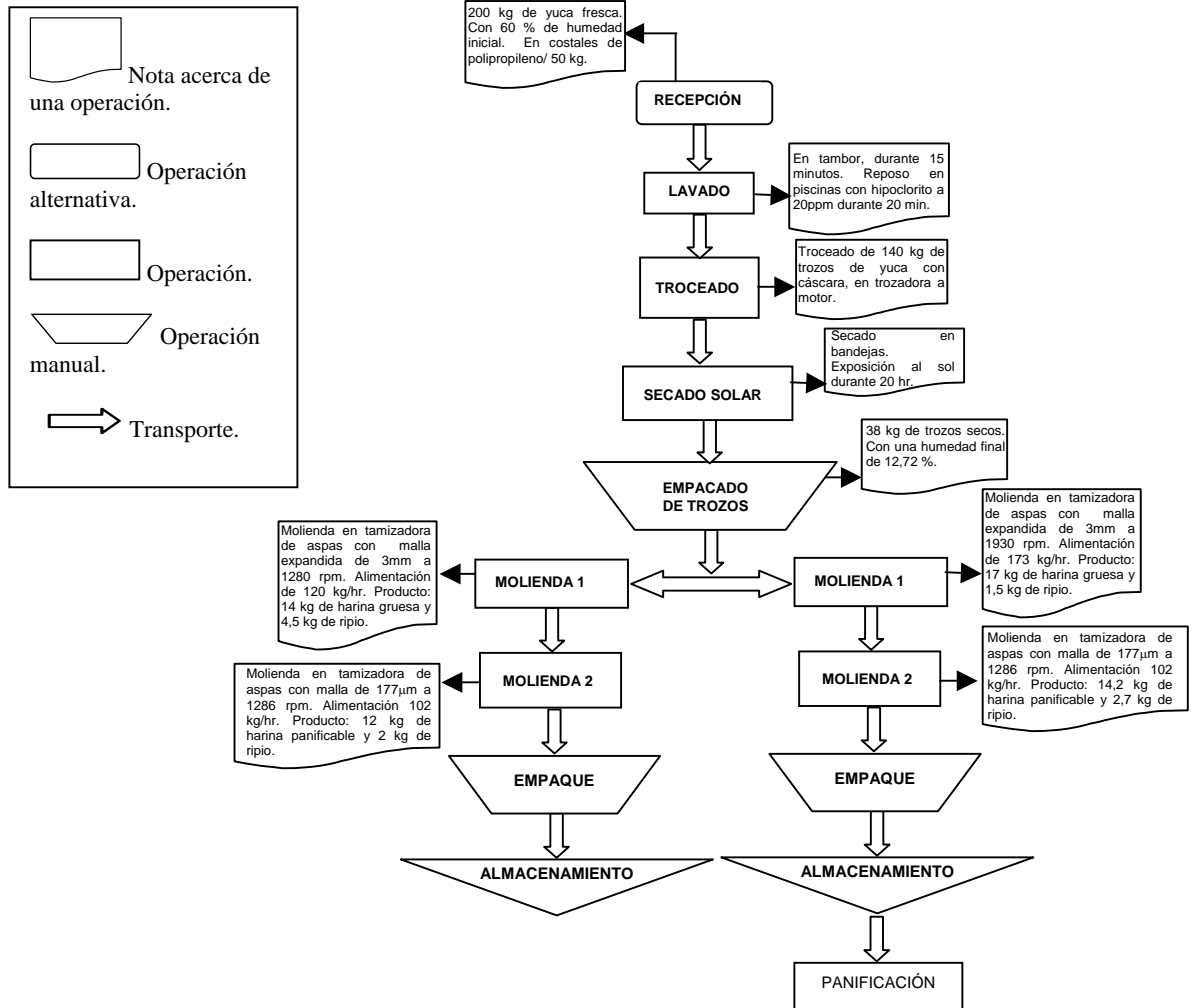


Figura 21. Diagrama de flujo de la producción de harina de yuca de la variedad HMC-1.



3.4.2 Pruebas de panificación. Los ensayos de panificación se realizaron con base en las formulaciones típicas para los tipos de pan común, molde y hamburguesa utilizadas en la panadería “La Estrella”, con el objeto de no modificar los protocolos de elaboración que los operarios realizan a diario. Únicamente el componente que cambió en la mezcla tradicional fue la harina de yuca, en sus diferentes porcentajes de sustitución.

Las etapas de producción para la elaboración de pan fueron: pesado, mezclado de sólidos, mezcla húmeda, reposo, boleado, pesado, división, formado, fermentación, horneado y empaque. Algunas etapas fueron modificadas en cuanto a tiempos de proceso dependiendo del tipo de pan a producir. La figura 22 muestra el diagrama de flujo de la elaboración de los tres tipos de pan.

Para la fabricación del *pan tipo común* se realizó una división mecánica para su posterior formado y se efectuó un corte en la parte superior del pan para efectos de estética del producto; esta operación no es necesaria en los tipos de pan molde y hamburguesa. Este tipo de pan requiere del uso de cámara de fermentación con alimentación vapor constante. El horneado se realizó a una temperatura de 210 °C durante 20 min.

Para la fabricación del *pan molde* se realizó una división manual y luego del formado la masa se introdujo en moldes rectangulares que proporcionan al pan su forma característica,. La fermentación se efectuó a temperatura ambiente fuera de la cámara de fermentación con los moldes cerrados. El horneado se realizó a 190 °C durante 45 min aproximadamente.

Para la fabricación del *pan hamburguesa* la división se realizó mecánicamente. Previo a la fermentación en cámara se dejó reposar las masas durante 20 min aproximadamente, para que la masa se ablande y se pueda aplastar mas fácilmente con la herramienta utilizado para este fin.

Las formulaciones utilizadas para la elaboración de pan común, molde y hamburguesa se presentan en las tablas 12, 13 y 14 respectivamente.

Tabla 12. Formulación de pan común.

Componente	Porcentaje % *
Harina de trigo	85-100
Harina de yuca	5-15
Levadura	4
Azúcar	12
Sal	2
Margarina	12
Agua	50-60

*Porcentajes dados con base en el 100% harina.

Tabla 13. Formulación de pan molde.

Componente	Porcentaje % *
Harina de trigo	85-100
Harina de yuca	5-15
Levadura	4
Azúcar	8
Sal	2,5
Margarina	6
Agua	50-60

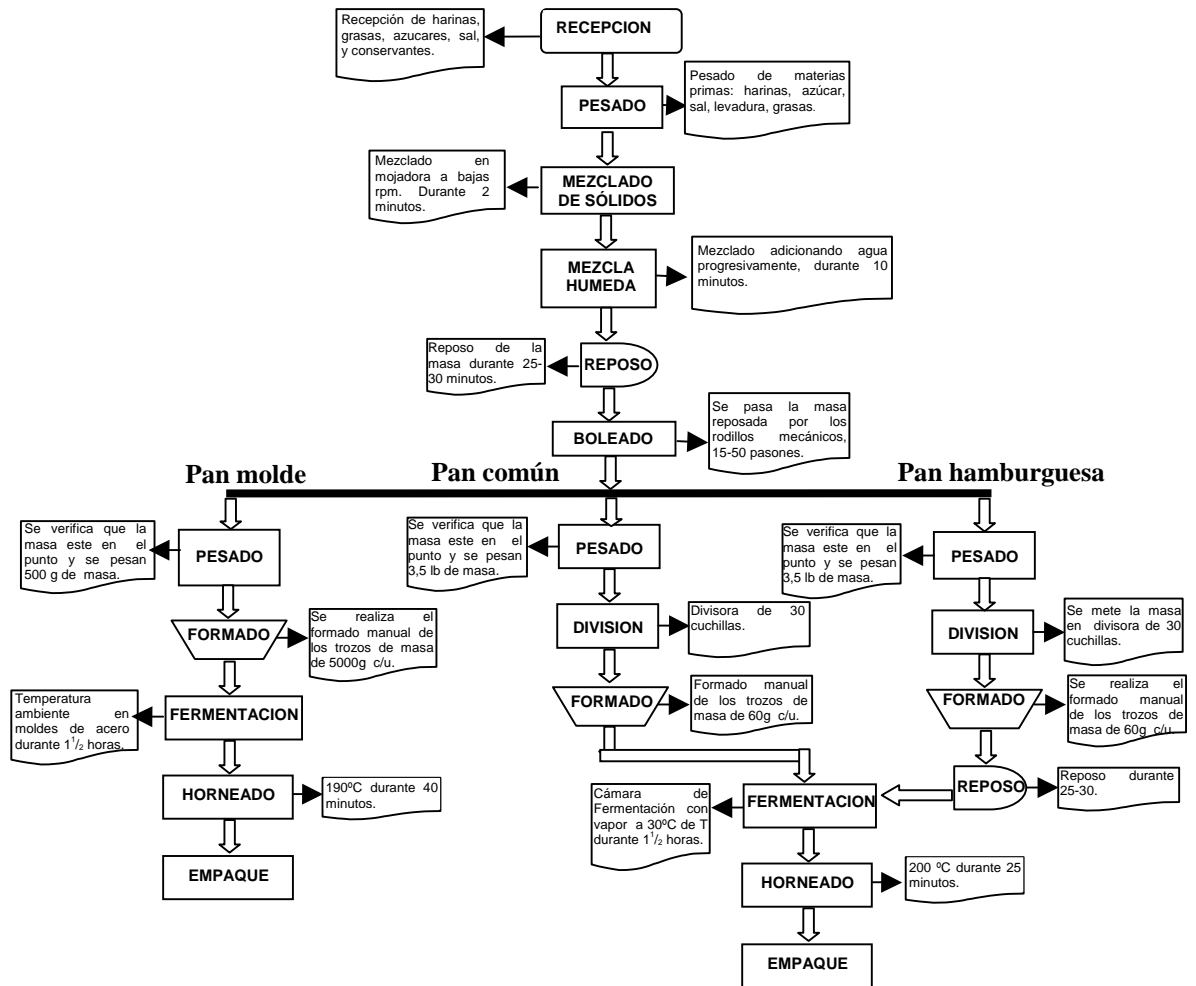
*Porcentajes dados con base en el 100% como harina.

Tabla 14. Formulación de pan hamburguesa.

Componente	Porcentaje % *
Harina de trigo	85-100
Harina de yuca	5-15
Levadura	6
Azúcar	12
Sal	2
Margarina	6
Agua	50-60

*Porcentajes dados con base en el 100% como harina.

Figura 22. Diagrama de flujo de la producción de pan común, molde y hamburguesa.



3.4.3 Pruebas sensoriales de satisfacción. Para la aplicación de las encuestas se utilizaron panes frescos elaborados el mismo día o al día siguiente de haber sido producidos. Se acondicionó un recipiente con cuatro compartimientos marcados con el respectivo porcentaje de sustitución que permitió mantener las muestras resguardadas de contaminaciones externas. Para las pruebas sensoriales se colocaron frente a cada panelista cuatro platos desechables idénticos, marcados con los códigos aleatorios de tres dígitos asignados según la posición definida previamente de manera aleatoria y balanceada para el tamaño de la población. Finalmente, los panes se colocaron en los platos y se hizo entrega de la encuesta de evaluación. Las cuatro muestras se presentaron a preferencia del

consumidor todas al mismo tiempo o de una en una, aclarando que la presentación simultánea de las muestras es preferible ya que, es más fácil de administrar y le permite a los panelistas volver a evaluar las muestras si así lo desean.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del desarrollo de la fase experimental, que incluye caracterización de materias primas, resultados de los ensayos de panificación, realizando el respectivo análisis y discusión.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS

Como se planteó en la metodología la producción de harina de yuca evaluó el efecto de algunas de las condiciones de operación tales como secado, pelado, y el efecto de la velocidad de rotación en la molienda y la concentración de hipoclorito, a continuación se presentan los resultados obtenidos con estos tratamientos y el análisis de los mismos. Adicionalmente, se realizó la caracterización de las harinas obtenidas mediante análisis fisicoquímicos y granulométricos.

4.1.1 Análisis microbiológico. La tabla 15 muestra el análisis microbiológico de las harinas de yuca procesadas.

Tabla 15. Análisis microbiológicos de las harinas de yuca obtenidas.

Análisis	Parámetros según NTC-267 (Véase Anexo D)	CMC-40 secado solar	CMC-40 secado artificial	MCOL-1505 Con cáscara	MCOL-1505 pelada	HMC-1 Molienda 1930 rpm
Recuento total de aerobios Mesófilos / g	200.000-300.000 UFC/g	56.000	70.000	98.000 UFC / g	86.000 UFC / g	14.000 UFC / g
Detección de Escherichia Coli / g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Recuento de Levaduras / g	1.000 – 5.000 UFC / g	15.000*	15.000*	< 10 UFC / g	< 10 UFC / g	< 10 UFC/g
Recuento de Hongos	1.000 – 5.000 UFC / g	< 10 UFC / g	< 10 UFC / g	8.000* UFC / g	7.000* UFC / g	100 UFC / g
Investigación de Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente en 25 g	Ausente en 25 G	Ausente en 25 G	Ausente en 25 G	Ausente en 25 G
Recuento de esporas de bacteria / 25 g	100 – 1.000 UFC / g	< 100 UFC / g	< 100 UFC / g	< 100 UFC / g	< 100 UFC / g	< 100 UFC / g

*No cumple la norma técnica Colombiana para harina de trigo

La harina de la molienda a 1286 rpm de la variedad HMC-1 no se evaluó dado que la velocidad de rotación de las aspas en el tamiz no ejerce un efecto directo sobre la calidad microbiológica de la harina. Las variedades CMC-40 y HMC-1, a las cuales se les realizó

un pretratamiento en piscinas con hipoclorito de sodio, presentaron los niveles más bajos en el recuento total de aerobios mesofilos, comparados con el resultado obtenido de la variedad MCOL-1505, la cual además de presentar un alto contenido de aerobios mesofilos presenta una elevada cantidad en recuento de hongos. Lo cual demuestra que la adición de hipoclorito favorece la disminución de la población de los diferentes grupos de microorganismos de las harinas procesadas. Sin embargo la variedad CMC-40 presenta recuentos de levaduras muy elevados. En cuanto a la concentración y tiempo de inmersión en las piscinas con hipoclorito, es recomendable utilizar una concentración de 20 ppm, durante 20 minutos, este es el caso de la variedad HMC-1 donde la concentración de hipoclorito disminuyó el recuento de todos los grupos de microorganismos.

4.1.2 Análisis proximal y fisicoquímico. En la tabla 16 se presenta el análisis fisicoquímico de las harinas de utilizadas en panificación.

Tabla 16. Características fisicoquímicas de las harinas de trigo y yuca.

<i>Análisis</i>	CMC 40	MCOL 1505	HMC-1	Trigo
Materia seca (% bh)	89,20	92,03	91,61	89,02
Humedad (% bh)	10,80	7,97	8,39	10,98
Proteína (% bs)	1,78	2,32	1,34	14,01
Fibra cruda (% bs)	3,45	3,21	2,96	0,86
Extracto etéreo (% bs)	1,26	1,31	0,60	2,36
Contenido de almidón (% bs)	86,00	87,00	88,25	69,00
Cenizas (% bs)	2,06	1,26	2,25	0,72
CN-Total (ppm)	6,58	9,30	13,00	--
CN-Libre (ppm)	0,58	1,15	0,58	--
Azúcares reductores (% bs)	1,73	2,30	1,37	0,94
Amilosa (% bs)	12,02	12,15	12,31	13,87
Amilopectina (% bs)	87,98	87,85	87,69	86,13
IAA (g de gel/ g de harina)	4,35	4,73	4,15	3,11
ISA (%)	7,01	7,43	8,79	13,26

El análisis de los resultados obtenidos en la tabla 16, se presenta a continuación:

- El contenido de proteína de la harina de trigo es superior al de las harinas de yuca como era de esperarse, y es por ello que las harinas de yuca presentan dificultades para su uso en panificación, al no poseer las características del gluten, lo que ocasiona que las harinas de yuca aporten un valor proteico bajo al pan. La función estructural que cumple

la proteína del trigo se evalúa en la sección que trata el análisis reológico de las harinas panificables.

- El contenido de fibra cruda en las harinas de yuca es mayor que en la harina de trigo, esta característica hace que el pan adquiera mayor valor nutricional, pues presenta contenidos de fibra similares a los de las harinas integrales¹⁴.
- El valor del contenido de almidón de es muy similar en todas las harinas de yuca mientras que el contenido de Almidón de la harina de trigo es menor en 20 % al compararlo con las harinas de yuca.
- El contenido de cenizas para la variedad CMC-40 presentó el mayor valor como era de esperarse, dado que fue la primera variedad de yuca que se procesó, la producción se realizó con el mínimo de controles en proceso.
- El contenido de ácido cianhídrico total es bajo para las tres variedades, comparado con su contenido inicial el cual que se encontraba en el rango 120-200 ppm. En la variedad HMC-1, se presentó un valor de 13 ppm que esta por encima del valor máximo permitido en harina de yuca comestible, según el anexo A. Esto pudo ser ocasionado por la falta de un mayor tiempo de exposición al sol en la etapa de secado.
- El contenido de azúcares reductores en las harinas de yuca es superior al contenido presente en la harina de trigo, hecho que favorece la producción de pan usando harinas compuestas trigo-yuca, pues hay una mayor cantidad de azúcares disponibles al inicio de la fermentación.
- El contenido de amilosa de la harina de trigo es superior en dos puntos aproximadamente al de las harinas de yuca, este hecho podría favorecer la vida útil de los panes elaborados con harinas compuestas trigo-yuca, dado que al ser mayor la fracción de amilopectina que se caracteriza por la recuperación de sus características gelificantes en presencia de calor y humedad; dado que la causa del endurecimiento del pan es la cristalización de esta fracción, al tener los panes un mayor contenido de esta, podrían recuperar su suavidad mediante un calentamiento térmico.

¹⁴ Fuente: Entrevista con la Ingeniera de alimentos Maribel Ospina. Directora del departamento de Control de Calidad de la Industria de Harinas Tuluá.

- El índice de absorción de agua (IAA) para las harinas de yuca es superior a las harinas de trigo, factor que favorece su utilización en panificación pues a mayor absorción de agua de la harina mas panes se obtendrán de la misma cantidad de harina.
- El índice de solubilidad en agua (ISA) es mayor para la harina de trigo, hecho que era de esperarse dado que de que la harina de trigo presenta un mayor valor en el contenido de proteínas solubles en agua, sumado al mayor valor en la fracción de amilosa en la harina de trigo la cual es la fracción soluble del almidón.

4.1.3 Análisis granulométrico. La granulometría final de las harinas de yuca obtenidas se determinó mediante la clasificación del tamaño de las partículas usando una Tamizadora Rot-Up. Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Granulometría de la harina.

Malla N ₀	μm	Porcentaje de las partículas que pasan la malla. (%)					
		CMC-40 secado solar	CMC-40 secado artificial	MCOL- 1505 con cáscara	MCOL- 1505 pelada	HMC-1 molienda a 1930 rpm	HMC-1 molienda a 1280 rpm
50	300	99,6	91,0	99,8	100,0	99,3	99,0
70	212	99,3	86,9	99,7	99,5	98,5	98,0
100	150	96,9	58,3	97,9	97,2	91,0	89,3
140	106	----	----	----	----	84,7	81,4
270	53	----	----	----	----	3,3	2,2
Total		99,9	99,8	99,9	99,9	99,9	99,9

Las harinas de yuca cumplen con la granulometría exigida en la norma en la NTC-267 de la harina de trigo (mas del 98% de las partículas pasan la malla de 212 μm), el balance de finos y gruesos en todas las harinas es equilibrado, presentando en su mayoría finos, lo cual es importante pues proporciona a la harina la característica de ser higroscópica y así disminuir la resistencia a la absorción de agua. Cabe anotar, que en la harina de yuca de la variedad CMC-40 en la cual se evaluó el efecto de la molienda de dos tipos de molinos; de dientes y de aspas, se observó que el molino de dientes presentó una granulometría donde el 86.9% de las partículas pasan la malla 70 y la NTC-267 estipula que el 98 % de las partículas debe pasar, por lo tanto no es conveniente utilizarla en panificación.

4.2 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LAS HARINAS

Las características reológicas de la harina de trigo y las harinas compuestas trigo-yuca utilizando los porcentajes de sustitución establecidos fueron evaluadas mediante los análisis reológicos determinados mediante el farinograma, el alveograma, el amilograma y el índice de caída o falling number, con el objeto de determinar su calidad como harina panificable.

4.2.1 Análisis de farinograma. Este análisis determina cinco parámetros importantes de las harinas los cuales son registrados en la tabla 18 cuyos resultados se analizan y discuten a continuación.

Tabla 18. Características de las harinas según farinograma.

Harina	Absorción de agua (ml/100g de harina)	Tiempo de desarrollo de la masa (min)	Estabilidad (min)	Grado de decaimiento (UF)	Tiempo de rompimiento (min)
TRIGO (control)	63,8	3,9	17,1	11,0	18,0
Trigo-CMC-40 (5 %)*	64,4	2,3	16,7	23,0	10,3
Trigo-CMC-40 (10 %)	64,5	2,0	10,5	39,0	4,5
Trigo-CMC-40 (15 %)	64,5	2,2	9,4	48,0	3,6
Trigo-MCOL-1505 (5 %)	64,3	2,7	9,3	37,0	6,0
Trigo-MCOL-1505 (10 %)	64,7	1,9	3,0	60,0	2,9
Trigo-MCOL-1505 (15 %)	64,6	1,9	3,3	47,0	2,8
Trigo-HMC-1 (5 %)	63,1	2,9	17,4	25,0	12,1
Trigo-HMC-1 (10 %)	63,4	2,0	14,0	37,0	4,8
Trigo-HMC-1 (15 %)	62,9	1,7	3,7	53,0	2,8

*Nivel de sustitución.

- La absorción de agua en todas las harinas compuestas trigo-yuca en los tres porcentajes de sustitución utilizados fue en promedio 1 % mayor a la absorción de agua de la harina de trigo exceptuando las harinas compuestas de la variedad HMC-1. El aumento en la absorción de agua favorece el proceso de panificación, dado que cuanto más absorba una harina mas cantidad de panes se podrán obtener. Los valores de la sustitución son muy cercanos, por lo tanto no es posible apreciar diferencias en la absorción de agua de las harinas.
- En cuanto al tiempo de desarrollo de la masa los resultados obtenidos no presentan una tendencia clara, si se comparan los valores obtenidos para una misma variedad en sus tres niveles de sustitución. Sin embargo, se observa que el tiempo de desarrollo de la

harina de trigo es casi el doble respecto al de las harinas compuestas trigo-yuca; factor que indica que la masa elaborada con harinas compuestas alcanza la consistencia en menor tiempo.

- Los resultados de la estabilidad de las harinas presentan grandes diferencias entre variedades, mostrando una relación inversamente proporcional al porcentaje de sustitución. Así, a mayor cantidad de harina de yuca menor estabilidad de la masa; es decir, la masa obtenida a partir de harinas compuestas que presentaron menor tiempo de estabilidad, que son las harinas compuestas con porcentaje de sustitución del 15 %, mostraron menor tolerancia al amasado en proceso y por tanto son propensas al sobreamasado.
- El grado de decaimiento y el tiempo de rompimiento no presentaron una tendencia definida que permitiera correlacionar los datos con el porcentaje de sustitución. Sin embargo, se observa que el grado de decaimiento de las harinas compuestas trigo-yuca es muy superior al presentado en el harina de trigo. Por el contrario, el tiempo de rompimiento de las harinas compuestas trigo-yuca fue en todos los casos menor al tiempo de rompimiento de la harina de trigo; lo cual era de esperarse, dado que este tiempo es un indicador de la fuerza del gluten en las harinas panificables y por ello la harina de trigo presenta mayor resistencia al rompimiento.

4.2.2 Análisis de alveograma. Este análisis determina cuatro parámetros importantes de las harinas los cuales son registrados en la tabla 19 cuyos resultados se analizan y discuten a continuación.

Tabla 19. Características de las harinas según alveograma.

Harina	Fuerza (Julios)	Tenacidad (mm de H₂O)	Extensibilidad (mm)	Equilibrio
TRIGO (control)	381,87	147,40	60,80	2,42
Trigo-CMC-40 (5 %)	400,96	152,90	56,00	2,73
Trigo-CMC-40 (10 %)	280,30	152,90	41,49	3,69
Trigo-CMC-40 (15 %)	339,55	152,90	48,20	3,17

Trigo-MCOL-1505 (5 %)	295,28	154,00	50,70	3,04
Trigo-MCOL-1505 (10 %)	335,63	151,47	45,05	3,36
Trigo-MCOL-1505 (15 %)	284,49	151,80	39,77	3,82
Trigo-HMC-1 (5 %)	372,98	152,90	54,00	2,83
Trigo-HMC-1 (10 %)	301,03	152,90	43,20	3,54
Trigo-HMC-1 (15 %)	272,13	143,66	46,30	3,10

- Los resultados de fuerza o la energía necesaria para deformar las masas (W), mostraron que en general las harinas producidas en Colombia producen masas de gran fuerza al compararlas con harinas españolas (véase cuadro 1) que son utilizadas en panes y bollería especial. Los valores de la fuerza en las harinas analizadas no presentan una tendencia definida; solamente las harinas compuestas de la variedad HMC-1 presentan una tendencia inversamente proporcional al porcentaje de sustitución. Se destaca que la harina compuesta .CMC-40 (5 %) presentó un valor de fuerza superior a la harina de trigo. La reducción de la fuerza ocasiona que la masa disminuya la resistencia a la presión del gas, obteniéndose un gluten debilitado y poroso que deja escapar parte del gas que se produce durante la fermentación (Cortes, 2003).
- Los valores de tenacidad (P) para todas las harinas compuestas trigo-yuca fueron muy similares entre sí y superaron en bajo porcentaje el valor de la harina de trigo. Este dato refleja lo observado en proceso donde la tenacidad de las masas con harinas compuestas fue mayor, parámetro determinado en el control empírico realizado en la panadería por medio de la estimación al tacto de la dureza de las masas. Por ello se presentaba, la tendencia de adicionar mayor cantidad de agua a las masas provenientes de harinas compuestas para ablandarlas y así alcanzar “el punto”.
- La extensibilidad (L) de las masas con harinas compuestas presentaron diferencias respecto a la harina de trigo. Sin embargo no es posible establecer una relación inversamente proporcional entre los porcentajes de sustitución, solamente en la variedad MCOL-1505 se podría establecer esta relación; en este caso se presentó que en los porcentajes de sustitución del 10 y el 15 % de sustitución la extensibilidad de la masa fue menor.
- El equilibrio (P/L) de las masas provenientes de harinas compuestas presentaron valores por encima del control y marcadas diferencias entre si. No es posible compararlas con los datos reportados por la literatura (véase cuadro 1) ya que son muy superiores a los encontrados. Se destaca el hecho que en los ensayos de panificación se encontraron

problemas durante el amasado y en la apariencia final del pan en las variedades HMC-1 (10 %), MCOL-1505 (15 %) y CMC-40 (10%), cuando se elaboró con estas el pan tipo molde, siendo estas harinas compuestas las que presentaron los mayores valores de equilibrio.

4.2.3 Análisis de índice de caída o Falling Number. Este análisis determina un parámetro de gran importancia de las harinas y mide indirectamente la actividad diastásica de las harinas. Los valores obtenidos se registran en la tabla 20 los cuales se analizan y discuten a continuación.

Tabla 20. Valores de índices de caída o Falling Number de las harinas.

Harina	Falling Number (seg)
TRIGO (control)	353
Trigo-CMC-40 (5 %)	360
Trigo-CMC-40 (10 %)	354
Trigo-CMC-40 (15 %)	354
Trigo-MCOL-1505 (5 %)	343
Trigo-MCOL-1505 (10 %)	349
Trigo-MCOL-1505 (15 %)	329
Trigo-HMC-1 (5 %)	349
Trigo-HMC-1 (10 %)	324
Trigo-HMC-1 (15 %)	325

Los valores de Falling Number obtenidos para todas las harinas compuestas presentaron valores que se encuentran dentro del rango aceptable (250-400)¹⁵. Según expertos en harinas se prefieren valores intermedios para una correcta panificación entre sí en una misma variedad sin mostrar una tendencia clara lo que se vio reflejado en proceso. En la figura 23 se muestra que las masas obtenidas a partir de una misma variedad no presentan diferencias en su aspecto.

Figura 23. Características de las masas.

¹⁵ Comunicación personal. Ing. Melba Aristizabal. Directora del departamento de Control de Calidad de la Industria de Harinera del Valle.



No es conveniente que las harinas panificables presenten valores por encima de 400 seg, ya que requerirían la adición de enzimas, provocando adicionalmente tiempos prolongados de fermentación y panes con migas pálidas. A mayor tiempo de caída menor es la actividad diastásica. Según Cortes (2003), el valor óptimo de este índice para una correcta panificación se sitúa entre 270 y 320 seg. Se observa que la variedad CMC-40 presentó valores de Falling Number por encima de los valores presentados por la harina de trigo, a pesar de estos valores no se presentaron diferencias evidentes en los panes obtenidos a partir de las tres variedades en los tiempos de fermentación y la calidad de las migas (véase figura 37).

4.2.4 Análisis de amilograma. Este análisis determina cinco parámetros del comportamiento reológico de en las harinas. Los valores obtenidos se registran en la tabla 21 los cuales se analizan y discuten a continuación.

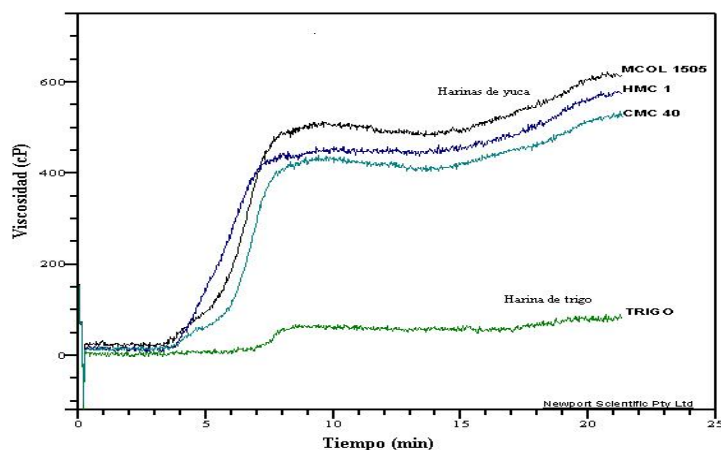
Tabla 21. Características de las harinas según amilograma.

Harina	Tgel (°C)	Vmax (cP)	Fcocción (min)	Inest Gel (cP)	Ind Gel (cP)
TRIGO (control)	77,40	59	2,93	11	17
CMC-40 (100 %)	65,10	426	5,90	24	78
Trigo-CMC-40 (5 %)	77,45	66	3,88	11	34
Trigo-CMC-40 (10 %)	76,90	68	3,36	7	30
Trigo-CMC-40 (15 %)	77,90	68	3,06	21	39
MCOL-1505 (100 %)	63,30	486	6,36	21	97
Trigo-MCOL-1505 (5 %)	77,65	61	2,44	15	28
Trigo-MCOL-1505 (10 %)	77,35	63	3,91	6	26

Trigo-MCOL-1505 (15 %)	76,90	68	2,80	8	37
HMC-1 (100 %)	66,85	430	5,54	14	102
Trigo-HMC-1 (5 %)	76,92	70	3,32	12	24
Trigo-HMC-1 (10 %)	77,85	74	2,64	16	32
Trigo-HMC-1 (15 %)	76,95	74	3,26	11	35

- La temperatura de gelatinización (T_g) es característica para cada fuente de almidón, sin embargo las T_g de las harinas compuestas y de las harinas de trigo, no difieren en gran medida; encontrándose harinas compuestas con valores superiores e inferiores muy cercanos y hasta con valores iguales a los datos registrados por la temperatura de gelatinización de la harina de trigo. La temperatura de gelatinización se ve afectada por el tamaño del gránulo almidón, este varía entre 2-38 μm en la harina de trigo, mientras que en la harina de yuca varía entre 5-35 μm (Hurtado, 1977). Por tanto es posible que la harina de trigo, presente gránulos de menor tamaño y sea este el motivo por el cual se reduzca la temperatura de gelatinización, dado que los granos finos llegan a la temperatura de gelatinización en menor tiempo.
- Los valores de viscosidad Máxima ($V_{\text{máx}}$) son la característica en la cual se observa la mayor diferencia al comparar las harinas compuestas y la harina de trigo. Se destaca que las harinas de yuca presentan altas viscosidades por encima de 400 cP comparadas con la harina de trigo cuyo valor fue de 59 cP, como se muestra en la figura 24. Este hecho ocasiona que en las harinas compuestas la presencia de harina de yuca aumenten su valor de viscosidad máxima. La viscosidad máxima, es directamente proporcional al porcentaje de sustitución; así a mayor sustitución mayor la viscosidad máxima. Las harinas compuestas de las tres variedades de yuca, a los tres porcentajes de sustitución se presentan en la figura 24. La harina de trigo presenta una viscosidad constante en el tiempo luego de haber alcanzado su viscosidad máxima, lo que se ve reflejado en la curva plana obtenida. En contraste, las harinas de yuca, luego de alcanzar la viscosidad máxima, tienden a seguir aumentando su viscosidad en el tiempo, demostrando su mayor inestabilidad en comparación con la harina de trigo.

Figura 24. Amilograma de harinas de yuca de las variedades CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1 y de la harina de trigo.



- En cuanto a los facilidad de cocción se observa que la mayoría de las harinas compuestas presentan tiempos mas largos, deduciéndose que la harina de trigo se cocina mas rápido que las harinas compuestas y como era de esperarse las .harinas de yuca presentan mayores tiempos de cocción que las harina compuestas y la de trigo. No es posible establecer una relación entre la facilidad de cocción y el porcentaje de sustitución ya que es variable; esto explica el efecto de la variedad en las características finales de la harina. Ya que las harinas de yuca extraídas de diferentes variedades tienen comportamientos diferentes.
- El comportamiento de la inestabilidad del gel, y el índice de gelatinización, se observan en la tabla 21 en donde se puede distinguir que las harinas compuestas tienden a formar geles más estables, en contraste con la harina de yuca de la misma variedad, la cual luego de gelatinizarse y alcanzar su viscosidad máxima tiende a seguir aumentando su viscosidad en el tiempo, esto se puede observar en las figuras 25, 26 y 27.

Figura 25. Amilograma de harina de yuca CMC-40 y de harinas compuestas de esta variedad con sustituciones del 5, 10 y 15 %.

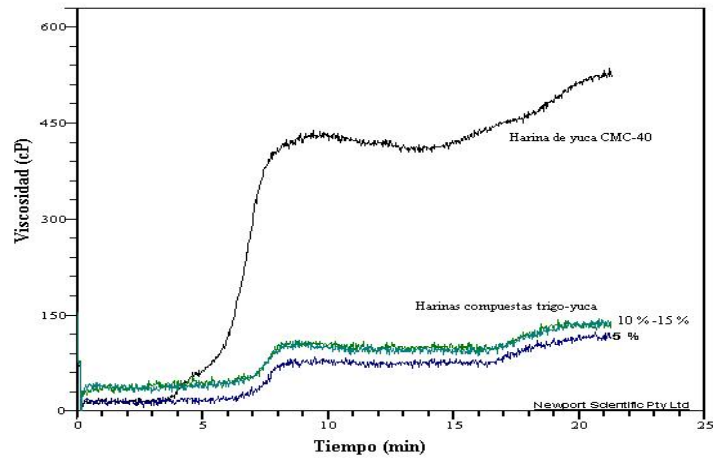


Figura 26. Amilograma de harina de yuca MCOL-1505 y de harinas compuestas de esta variedad con sustituciones del 5, 10 y 15 %.

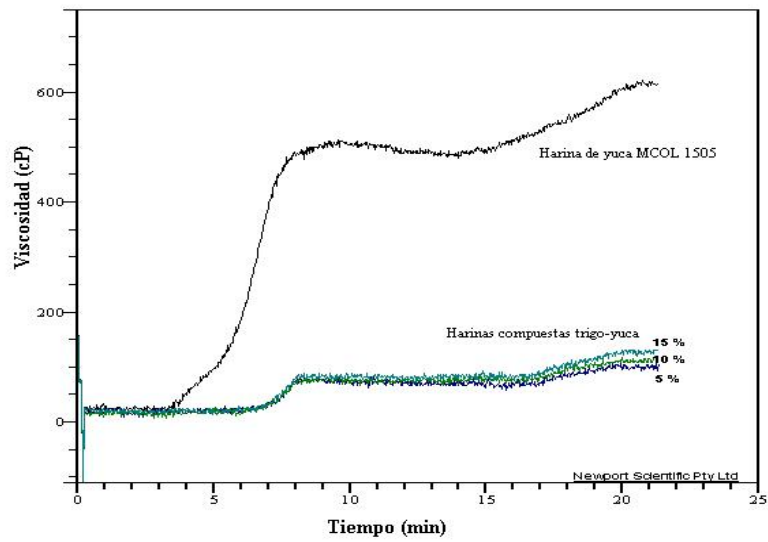
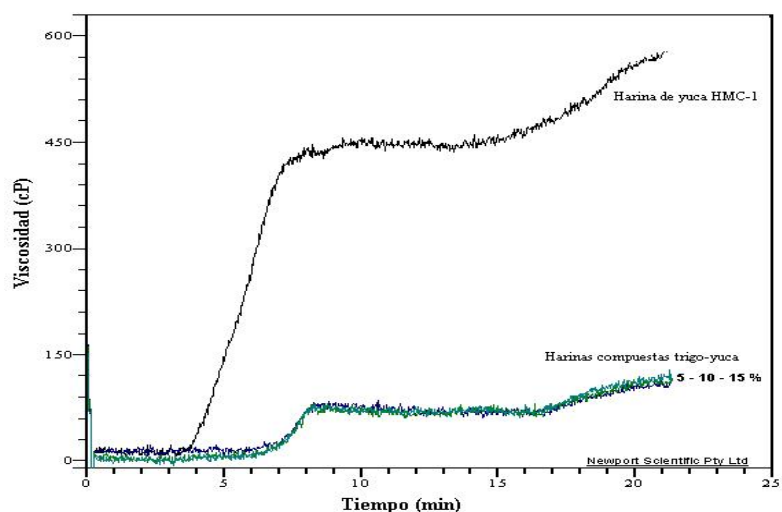


Figura 27. Amilograma de harina de yuca HMC-1 y de harinas compuestas de esta variedad con sustituciones del 5, 10 y 15 %.



4.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PANIFICACIÓN

Las condiciones de tiempos y temperaturas de fermentación y horneado además del tiempo de mezcla fueron idénticos en todas las variedades y porcentajes de sustitución evaluados. Las variables de respuesta evaluadas en las pruebas de panificación fueron el trabajo mecánico (numero de pases por los rodillos), la absorción de agua en proceso, el volumen específico y la vida útil del pan. A continuación se presenta el análisis y discusión de cada una de estas.

4.3.1 Absorción de agua y trabajo mecánico. En las figuras 28, 29, 30, 31, 32 y 33 se muestra la absorción de agua y el trabajo mecánico de las diferentes masas para la elaboración de los tipos de pan utilizando harinas compuestas trigo-yuca.

Figura 28. Absorción de agua-pan común

Figura 29. Trabajo mecánico-pan común

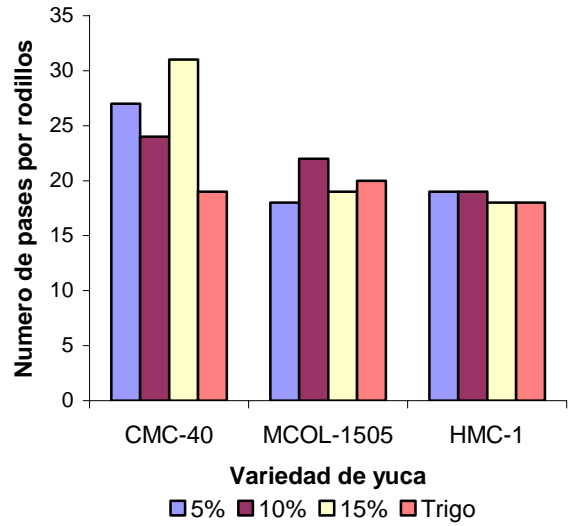
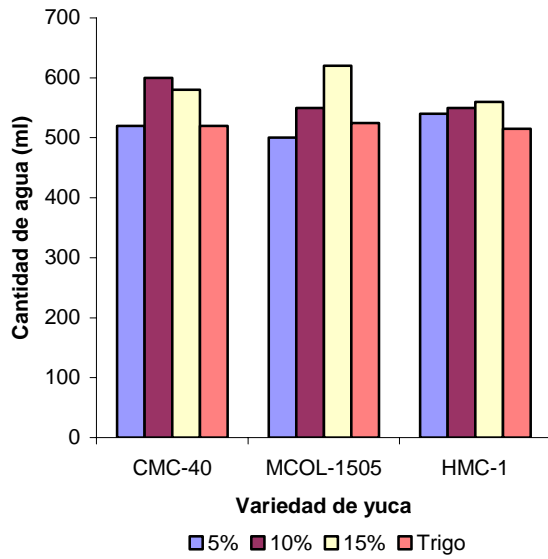


Figura 30. Absorción de agua-pan molde

Figura 31. Trabajo mecánico-pan molde

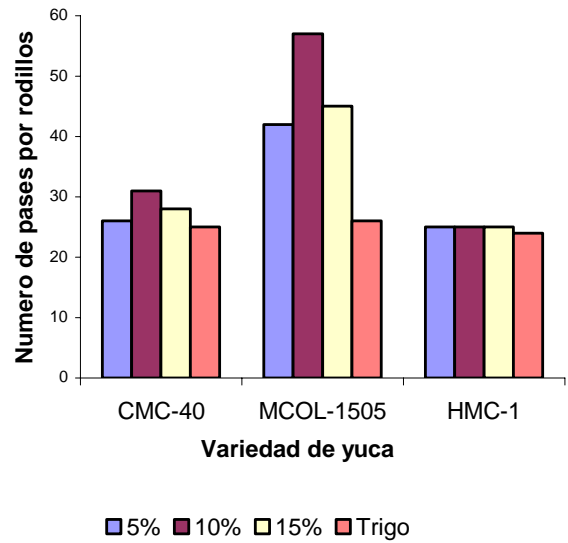
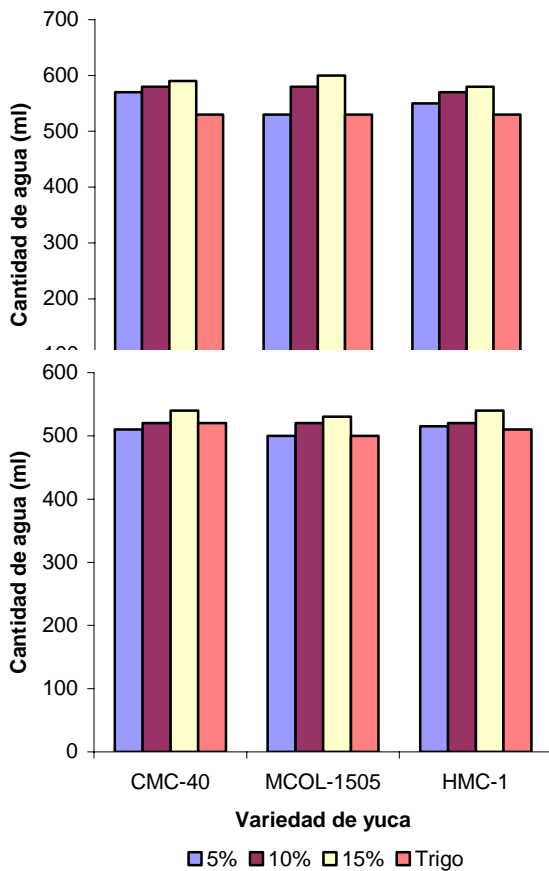
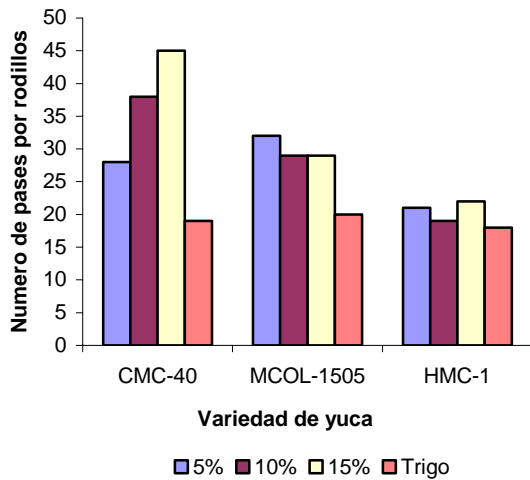


Figura 33. Trabajo mecánico-pan hamburguesa



En las figuras 28, 30, 32, se observa que las harinas compuestas requirieron mayor cantidad de agua en proceso incrementándose al aumentar el porcentaje de sustitución, hecho que se comprueba con el valor de mayor absorción de agua que presentan las harinas compuestas en la prueba del farinograma. La harina compuesta

con la variedad MCOL-1505 fue la que mayor volumen de agua requirió.

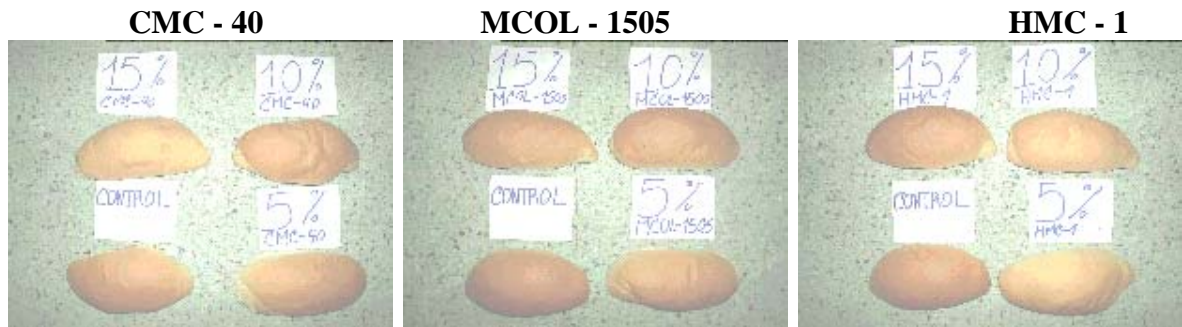
En las figuras 29, 31, 33 se presenta el trabajo mecánico de las masas, mostrando una tendencia irregular, donde no es posible realizar una correlación entre absorción de agua y necesidad de que la masa pase entre los rodillos durante la operación de boleado. Esto se debe a que la operación de amasado en rodillos, no sigue criterios pre-establecidos, los panaderos controlan subjetivamente esta operación por el número de pases requeridos para alcanzar al tacto la textura final de la masa., este hecho sumado a que las masas con harina de yuca presentan un comportamiento diferente durante su desarrollo, hace que los operarios, se excedan en ocasiones causando la ruptura del gluten ya debilitado por la sustitución. Cabe anotar que la harina compuesta con la variedad CMC-40 requirió de mayor trabajo mecánico en el pan común y hamburguesa. Esta variedad fue la primera en evaluarse y presentó dificultades para que los panaderos determinaran “el punto de amasado” requerido.

Dada la experiencia obtenida en el manejo con las harinas compuestas de las otras dos variedades, se proporcionó un mejor tratamiento a la harina compuesta con la variedad HMC-1, y por eso presentó un menor número de pases por el rodillo en todos los panes elaborados.

4.3.2 Volumen específico. El volumen específico representa la relación entre el volumen y el peso de un pan, esta medida permite determinar el espacio que ocupa un gramo del

producto. Siendo un indicador de la capacidad de la masa para retener gas. Esta determinación se realizó solamente para el tipo de pan común, dado que el equipo de medición de volumen específico requiere la utilización de panes de un tamaño no mayor 10 cm de largo y un ancho de 7 cm, dado que estas son las dimensiones del equipo, el esquema del medidor del volumen específico se presenta en el anexo F. En la figura 34 se presenta los panes tipo común evaluados.

Figura 34. Muestras de panes tipo común obtenidos con harinas compuestas trigo-yuca y utilizados para medir el volumen específico.



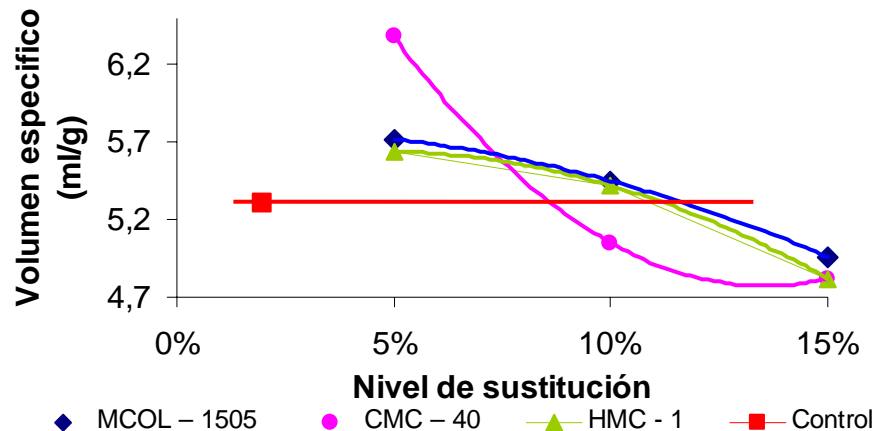
En la tabla 22 se muestran los volúmenes específicos en los panes de tipo común, los cuales muestran que existe una relación inversamente proporcional con el nivel de sustitución de harina de trigo, así a mayor porcentaje de sustitución menor será el volumen específico de los panes. Se destaca que el volumen específico de los panes elaborados con las harinas compuestas con e sustituciones de 5 y 10 % fueron superiores al volumen especifico del pan de trigo.

Tabla 22. Características físicas de los panes.

Harina	Volumen V (ml)	Peso W (g)	Volumen específico v (ml/g)	Densidad (g/ml)
TRIGO (control)	275,00	51,83	5,31	0,19
Trigo-CMC-40 (5 %)	338,00	53,00	6,38	0,16
Trigo-CMC-40 (10 %)	263,33	52,18	5,05	0,20
Trigo-CMC-40 (15 %)	258,33	53,65	4,82	0,21
Trigo-MCOL-1505 (5 %)	295,00	51,62	5,72	0,17
Trigo-MCOL-1505 (10 %)	278,33	51,05	5,45	0,18
Trigo-MCOL-1505 (15 %)	258,33	52,12	4,96	0,20
Trigo-HMC-1 (5 %)	286,67	50,78	5,64	0,18
Trigo-HMC-1 (10 %)	288,33	53,20	5,42	0,18
Trigo-HMC-1 (15 %)	250,00	51,87	4,82	0,21

Todos los panes obtenidos con un nivel de sustitución del 15 % presentaron menores volúmenes específicos que el pan de trigo, como se muestra en la figura 35.

Figura 35. Volumen específico en pan tipo común elaborado con harinas compuestas trigo-yuca a los niveles de sustitución indicados.



La tendencia de las curvas del volumen específico en el pan elaborado con las harinas compuestas de las variedades MCOL-1505 y HMC-1, es semejante. El pan elaborado con la harina de trigo-CMC-40 (5 %) presentó un valor de volumen específico fuera de la tendencia normal, presentada en las otras dos variedades, esto pudo ser ocasionado por efectos externos en el proceso de fabricación del pan, tales como un mayor tiempo de exposición a la humedad y el calor en la cámara de fermentación.

4.3.3 Observación de la presencia de moho. Se determinó evaluando diariamente la presencia de hongos. Cuatro muestras de cada variedad y porcentaje de sustitución (para un total de 40 muestras) se empacaron en bolsas de polietileno y se dejaron a las mismas condiciones de almacenamiento: lejos de luz directa, humedad, fuentes de contaminación y a temperatura ambiente. La tabla 23 muestra el día en el que se observó la presencia de moho. En todos los casos no se observó endurecimiento del pan, debido a que el empaque de los panes retardo la pérdida de agua del almidón.

Tabla 23. Observación de la presencia de moho en los panes tipo común.

Pan elaborado con:	Observación de moho (días)			
	Repeticiones			
	M1	M2	M3	M4
TRIGO (control)	9	9	8	8
Trigo-CMC-40 (5 %)*	5	5	3	4
Trigo-CMC-40 (10 %)*	4	5	4	5
Trigo-CMC-40 (15 %)*	4	4	3	3
Trigo-MCOL-1505 (5 %)*	6	5	5	6
Trigo-MCOL-1505 (10 %)*	7	6	6	6
Trigo-MCOL-1505 (15 %)*	6	6	6	6
Trigo-HMC-1 (5 %)*	9	8	9	9
Trigo-HMC-1 (10 %)*	9	9	9	10
Trigo-HMC-1 (15 %)*	9	9	9	9

*Porcentaje de sustitución.

En la tabla 23, se observa que los panes producidos a partir de la harina compuesta trigo-yuca de la variedad CMC-40 presentaron moho en la corteza del pan en menor tiempo que en las demás variedades, mientras que los panes que presentaron una mayor duración fueron las muestras procedentes de harina de trigo al 100 % y los panes procedentes de harina compuesta trigo-yuca de la variedad HMC-1.

Adicionalmente se le realizó la determinación de ácido cianhídrico al pan final, encontrándose como resultado en todos los casos un porcentaje de cero, hecho que demuestra que el tratamiento térmico realizado en horno elimina el total del ácido cianhídrico presente en las harinas de yuca al inicio del proceso. En las figuras 36 y 37 se presentan los panes común, molde y hamburguesa obtenidos en los ensayos de panificación., y la miga del pan común de elaborado con harinas compuestas trigo-yuca a los niveles de sustitución evaluados.

Figura 36. Panes comunes, molde y hamburguesa producidos en los ensayos.



Figura 37. Miga del pan común de todas las variedades.





4.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS SENSORIALES

Las características evaluadas en las pruebas de consumidores fueron aroma, textura de la miga, sabor y aceptabilidad. Los resultados de estas características se presentan utilizando la herramienta “diagrama de cajas y alambres” que se describe en el Anexo G. Cada diagrama incluye la representación de los resultados de cada una de estas características relacionando las variables: porcentaje de sustitución, variedad de yuca y tipo de pan, siendo en total cuatro diagramas, uno por cada característica evaluada. Cada diagrama está dividido en nueve secciones que representan gráficamente el comportamiento de las cincuenta encuestas que se aplicaron simultáneamente a los consumidores. A continuación se presenta el análisis y discusión de la información recopilada en las encuestas.

4.4.1 Pruebas de aceptación – Aroma. En la figura 38 se presenta el diagrama de cajas y alambres correspondiente a los resultados obtenidos en la evaluación del aroma.

Esta característica presentó calificaciones homogéneas en los diferentes ensayos, por tanto los consumidores no notaron diferencias entre los panes con sustitución de las diferentes variedades y el control. Sin embargo el pan hamburguesa de la variedad MCOL-1505, presentó problemas por bajas calificaciones en todos los niveles de sustitución y el control.

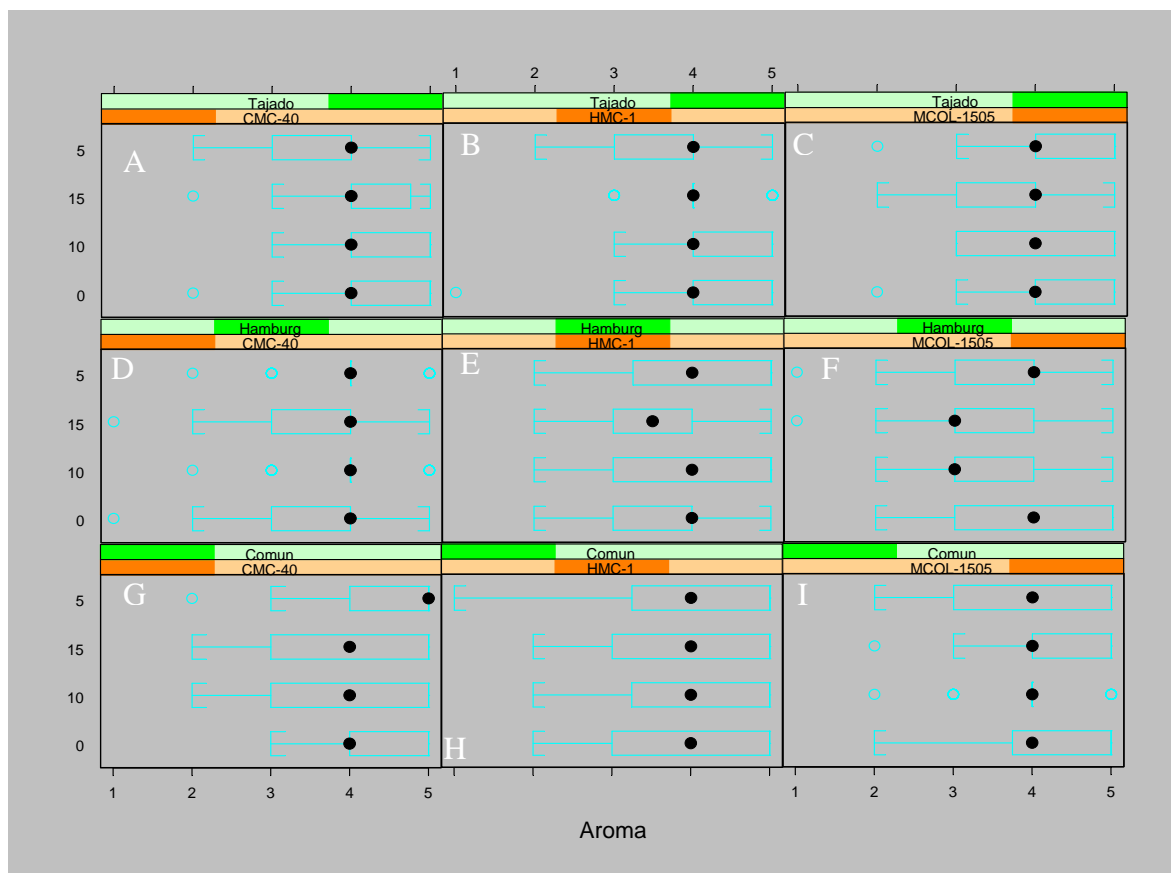
También se observó que los mejores resultados se presentaron en el pan común de la variedad CMC-40, mientras que el comportamiento más bajo lo presentó la misma variedad

en el pan hamburguesa, esto pudo ser ocasionado por factores externos durante el proceso de fabricación de pan y no por factores relacionados con la sustitución dado que en este ensayo el control también presentó una respuesta deficiente, es decir que el ensayo no le gusto a los evaluadores, ya sea por causa de una manufactura deficiente o por el publico al que se dirigió.

La sustitución del 15 % presentó un comportamiento variado, se presentaron casos donde hubo menor agrado en una mayor cantidad de ensayos como se muestra en la figura 38 en las secciones C y E fue la menor calificada y en las secciones D, F y H, se ubica en calificaciones inferiores al compararla con las demás muestras del ensayo. Sin embargo en las secciones A, B e I, presentó excelentes comportamientos, lo que indica que aun con el 15% se pueden obtener panes de excelente aceptabilidad a partir de todas las variedades, por lo tanto para producir panes con porcentajes de sustitución del 15 % es necesario realizar controles estrictos en proceso dado el diferente comportamiento de estas masas.

En lo que respecta a la calificación de la característica en general analizando el comportamiento de las variables se pudo observar que la variedad CMC-40, presenta distribuciones homogéneas con menor cantidad de observaciones regulares, mientras que las mejores calificaciones del ensayo se presentaron en la sustitución del 10% en todos los ensayos de panes tajados.

Figura 38. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de aroma de las pruebas de consumidores.



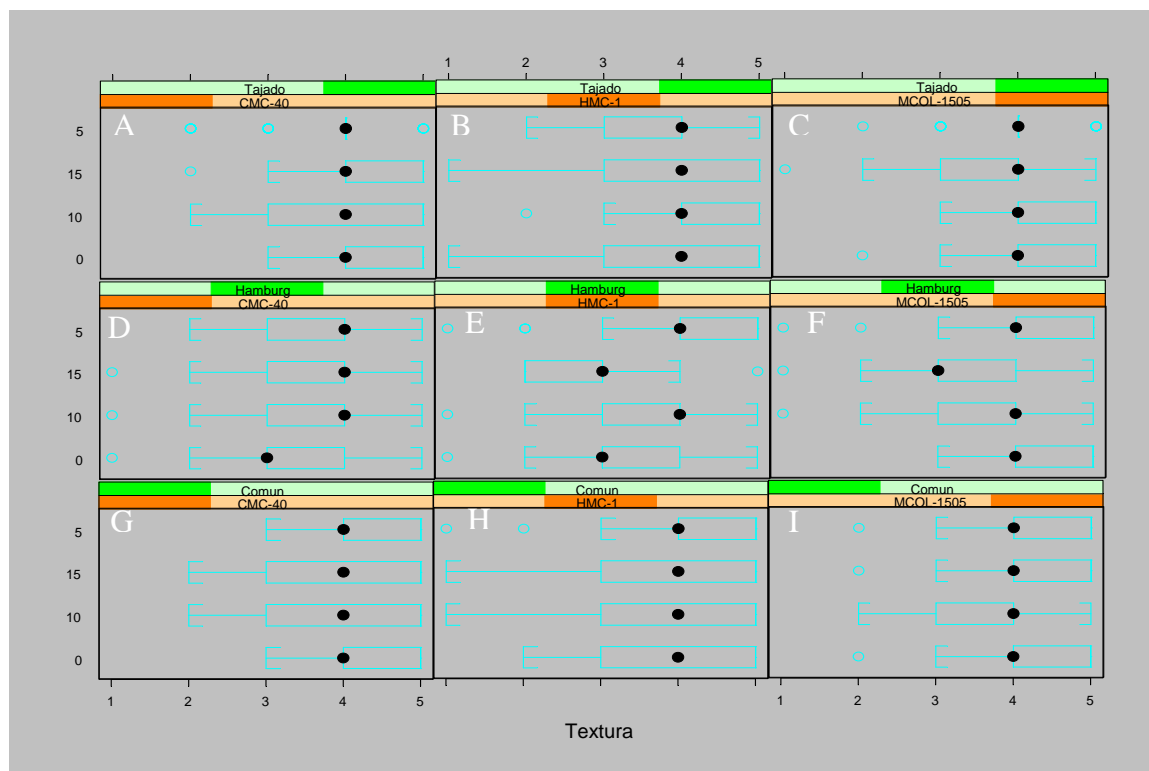
4.4.2 Pruebas de aceptación – Textura de la miga. El diagrama de cajas y alambres de los resultados en la evaluación de la textura de la miga se observa en la figura 39.

Esta característica presentó las calificaciones más irregulares de todos los ensayos realizados, muestra de esto lo representan las secciones B, D y E, donde la respuesta de los consumidores se ubicó en rangos medios. Los mejores resultados se presentaron en el pan común de la variedad MCOL-1505, donde los panes con 0, 5 y 15 % de sustitución presentaron excelentes calificaciones; dado que en estas muestras el 25 % de los consumidores calificó 5, el 50% calificó 4 o 5 y el 25 % restante calificó 3 a 4, lo que demuestra una muy buena distribución, por ubicarse en el rango alto de la gráfica, sin embargo el pan con el 10% de sustitución presentó algunos problemas ocasionados posiblemente por manejo en el proceso, y no por la adición de harina de yuca.

El pan hamburguesa de la variedad HMC-1 presentó marcados problemas en la sustitución del 15 %. Donde el 50 % de los encuestados calificó dos a la muestra, siendo este el valor

más bajo de todas las encuestas analizadas. Mientras tanto el pan con 5 % de sustitución fue el que más gusto, y el control también presentó bajas calificaciones, lo que hace pensar que el problema en esta muestra fue ocasionado por efectos externos, tales como dificultades en el amasado durante la fabricación del pan. Las variedades presentaron un comportamiento homogéneo presentándose menores calificaciones en la variedad HMC-1. Mientras tanto la variedad MCOL-1505, mostró las mejores respuestas en general. La sustitución del 5 % fue la que presentó una mayor aceptación en general, estando en la mayoría de los casos igual o encima del control. Mientras que la sustitución del 15 % presentó las menores calificaciones en la mayoría de los ensayos.

Figura 39. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de textura de la miga de las pruebas de consumidores.



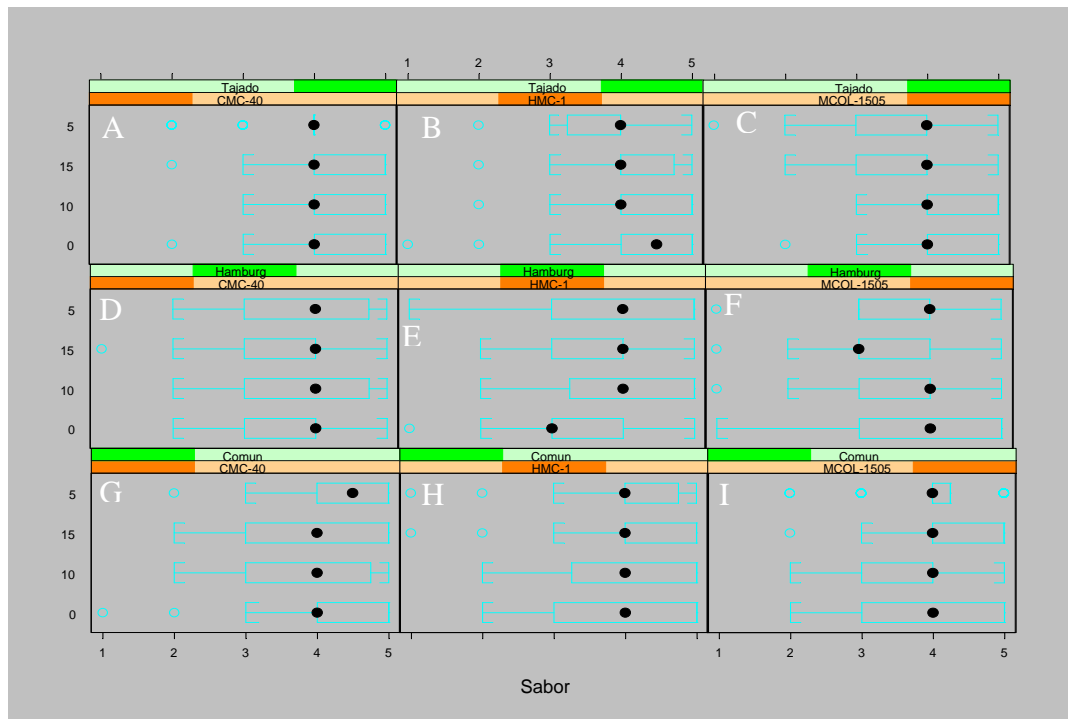
4.4.3 Pruebas de aceptación – Sabor. Los resultados del análisis de consumidores para la característica de sabor se presentan en el diagrama de cajas y alambres de la figura 40.

Esta característica presentó calificaciones homogéneas en todos los ensayos. En la evaluación de esta característica, al igual que en la evaluación del aroma se presentaron problemas en todos los niveles de sustitución del pan hamburguesa de la variedad MCOL-1505, siendo este ensayo el que presentó las menores calificaciones. Los mejores resultados se presentaron en el pan tajado de la variedad CMC-40 representado en la sección A, que también presentó buenas calificaciones en las demás características, donde las sustituciones del 10, 15 % y el control presentaron calificaciones donde el 25 % de los encuestados calificó 5, el 50 % calificó las muestras entre 4 y 5 y el 25 % restante las calificó entre 3 y 4, mientras que en la sustitución del 5% todos los encuestados calificaron 4 a la muestra.

Las variedades tuvieron una respuesta homogénea en todos los tipos de pan y sustituciones. Los consumidores mostraron una leve preferencia por la variedad CMC-40, dado que un gran porcentaje de encuestados calificó las muestras en un rango aceptable (3-5). El

porcentaje de sustitución por el que se demostró mayor agrado fue el de la sustitución del 5% que junto al control presentaron constantemente las mas altas calificaciones, sin embargo en general no se presentaron marcadas preferencias respecto a las demás sustituciones. Las menores calificaciones de esta característica se presentaron en la prueba de pan hamburguesa de la variedad MCOL-1505 representado en la sección F, donde todos los porcentajes de sustitución presentaron calificaciones ubicadas en rangos medios, lo que demuestra que esto pudo ser ocasionado por efectos externos en el proceso de fabricación del pan.

Figura 40. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de sabor de las pruebas de consumidores.

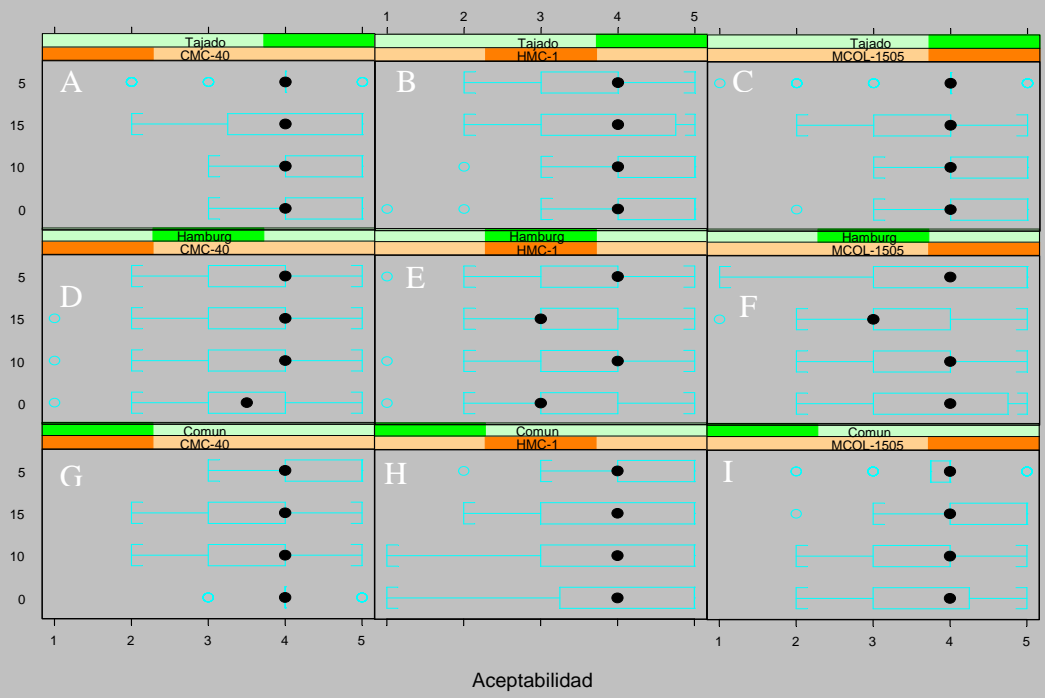


4.4.4 Pruebas de aceptación – Aceptabilidad. En la figura 41 se presenta el diagrama de cajas y alambres correspondiente a los resultados obtenidos en la evaluación de la aceptabilidad general de la muestra evaluada.

Esta característica al igual que la textura presentó calificaciones deficientes en los panes de las secciones D, E y F donde la respuesta de los consumidores se ubico en rangos medios. Las mejores calificaciones se presentaron en el pan tajado de la variedad CMC-40 presentado en la sección A, este tipo de pan y variedad fue la más aceptable en todas las características evaluadas, notándose algunas diferencias en las sustituciones del 15%, presentando esta última los resultados más bajos del ensayo.

Las variedades presentaron una respuesta homogénea, teniendo en general buena aceptabilidad todos los tipos de pan en todos los porcentajes de sustitución. Presentando una tendencia a preferir las sustituciones del 5 %, presentando esta muestra las mayores calificaciones en general. Las menores calificaciones en esta evaluación se presentaron, las muestras de pan hamburguesa, el cual no fue del agrado de los encuestados, esto puede ser ocasionado, por que el pan hamburguesa es un pan acompañante es decir que siempre se consume con algo mas, y por este motivo no presenta un sabor característico. Sin embargo aun en este pan donde por tener menor cantidad de ingredientes el efecto de la adición de yuca sería más notorio, no se presentaron diferencias respecto a los diferentes porcentajes de sustitución.

Figura 41. Diagrama de cajas y alambres de los resultados de aceptabilidad de las pruebas de consumidores.



5. INDICADORES TECNICOS Y ECONÓMICOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAN UTILIZANDO HARINA DE YUCA

De los resultados obtenidos en el desarrollo experimental y la confrontación y validación de las condiciones sugeridas por la literatura técnica en estudios previos del uso de harinas compuestas trigo-yuca en panificación, se obtuvieron elementos de juicio para seleccionar las mejores condiciones de operación en las etapas de proceso de elaboración de pan, que permitieron obtener un producto con características organolépticas aceptables para el consumidor.

Con base en las pruebas de panificación y la experiencia adquirida en la elaboración de pan utilizando harina compuesta trigo-yuca en la panadería "La Estrella", se identificaron los aspectos técnicos relevantes del proceso y se determinaron los indicadores económicos, con el objeto de estimar la viabilidad comercial del uso de la harina de yuca en panificación..

5.1 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROCESO DE PANIFICACIÓN UTILIZANDO HARINA DE YUCA

Con base en las pruebas de panificación realizadas en la panadería comercial, se identificaron los aspectos técnicos relevantes para cada una de las operaciones de proceso llevadas a cabo en la fabricación de pan utilizando harina de yuca como sustituto parcial de la harina de trigo.

- *Pesado*. Es necesario realizar un pesado correcto de las materias primas según la formulación del pan elegido para la fabricación. Dado que esta etapa está relacionada con los componentes de la formulación de pan y según los resultados de los ensayos de panificación, los mejores panes obtenidos fueron los que utilizaron sustituciones de 5 y 10 %, el uso de sustituciones del 15 % deben incorporar en la formulación mejoradores de masa que cumplan la función del gluten, tales como la hidrocoloides, para la obtención de un pan con características no diferenciables al pan de trigo.

- *Mezcla*. Los componentes del pan deben ser mezclados de manera homogénea logrando una completa incorporación y garantizar la ausencia de grumos. Para lograr esto, los ingredientes sólidos son mezclados en la mezcladora y una vez obtenida una mezcla homogénea se adiciona paulatinamente el agua, operación que debe ser realizada durante un tiempo mínimo de 2-3 min.

- *Amasado*. Esta operación es de vital importancia en la elaboración de pan, ya que es en esta etapa donde se desarrolla el gluten y se propicia una mayor retención del gas producido durante la fermentación. Por lo cual en la amasadora se debe permitir que la masa se estire al máximo y atrape aire cuyas pequeñas burbujas son esenciales para el desarrollo de la estructura esponjosa del pan. este proceso puede durar aproximadamente 10 minutos.

- *Reposo*. Se realiza con el fin de que la masa se vuelva más maleable debido a la producción de gas; ya que este es de gran importancia para el buen desempeño de la masa al momento del formado. Este proceso se realiza a temperatura ambiente y tiene una duración de 25-30 minutos.

- *Boleado*. El boleado es una de las operaciones más importantes en lo que respecta a la sustitución con harina de yuca, puesto que estas harinas producen masas mas duras que hacen que los panaderos excedan el número de veces que deben pasar la masa por el rodillo, ocasionando así un sobreamasado, que puede tener graves consecuencias en el producto final. Por tanto es necesario realizar una operación cuidadosa, utilizando una apertura adecuada entre los rodillos y plegando la masa cada vez que pase por estos, teniendo en cuenta el número de pases. Esta es una apreciación cualitativa que realizan los panaderos por tacto y observación visual y permite obtener una masa lisa para elaborar panes lisos y de buena textura.

- *Formado*. Se debe tener cuidado de no desgarrar la masa en el formado ya que eso reduce el volumen del pan. Esta operación está condicionada por la fuerza y la tenacidad de la masa. Previo a esa operación, puede realizarse una división mecánica de la masa en una

cortadora, para homogenizar el tamaño de los panes formado y luego se realiza el manual de las masas.

- *Fermentación.* Esta es una de las etapas más importantes para el crecimiento del pan. Se debe detener en cuenta las condiciones de fermentación de los diferentes tipos de pan controlando la temperatura, humedad y tiempo para un desarrollo óptimo de la levadura en la masa. Dado que el salto en horno¹⁶ del pan con harina de yuca no es el ideal en particular con sustituciones del 15%, se debería dejar fermentar las masas un poco mas de lo acostumbrado regularmente, para así minimizar las diferencias con el pan de trigo tradicional.

- *Horneado.* El salto en horno de los panes elaborados con harinas compuestas es menor que en los panes elaborados con harina de trigo, dado que el uso de harinas compuestas disminuye la cantidad de gluten presente en la masa, reduciendo también la fortaleza de la estructura de este dentro de la hogaza, lo que ocasiona que ante los cambios súbitos de las presiones internas la estructura de la masa ceda dejando escapar gases y por lo tanto disminuyendo el volumen específico del pan final.

5.2 EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROCESO DE PANIFICACIÓN UTILIZANDO HARINA DE YUCA

Existe una ventaja económica en la producción de pan utilizando harinas compuestas trigo-yuca, por una parte por el menor costo de la materia prima ya que la harina de yuca puede comprarse a un costo promedio 20% más bajo que el costo de la harina de trigo. Por otra parte, se puede obtener una ganancia del 1,5 % en la producción de pan; ya que al usar harina de yuca, ésta absorbe más agua y por ende se obtiene un mayor volumen de masa, lo que hace aumentar la producción de pan.

¹⁶ Aumento drástico de la temperatura de las masas producido por el calor generado en el horno, que hace que el gas contenido en los alvéolos del pan luego de la fermentación se expanda, generando el aumento del volumen en el pan.

5.2.1 Costos diferenciales de harina de trigo y harina de yuca

El precio promedio de la harina de trigo comercial en el año 2004 fue \$1040/kg (Harinera del Valle S.A.). Para que la inclusión de la harina de yuca se vislumbre como una oportunidad atractiva de mercado para las panaderías el precio de ésta debe estar por debajo del 20% como mínimo del precio de la harina de trigo (CIAT, DRI, UNIVALLE, 1998)¹⁷.

Estudios de producción de harina de yuca realizados en CLAYUCA¹⁸, a escala piloto, permitieron obtener una harina que cumple con la granulometría exigida por la norma NTC 267 para la harina de trigo (más del 98% de las partículas pasan la malla 212 µm), presentando gran proporción de partículas finas, lo cual es importante pues proporciona a la harina la característica de ser higroscópica y así disminuir la resistencia a la absorción de agua. La planta piloto de producción de harina de yuca usa como materia prima trozos de yuca secos, con una humedad del 12%, los cuales son molidos y tamizados en un molino tamiz para obtener finalmente una harina refinada, el rendimiento del proceso es de 77 % es decir una relación de 1,3 kg de trozos secos a 1 kg de harina de yuca.

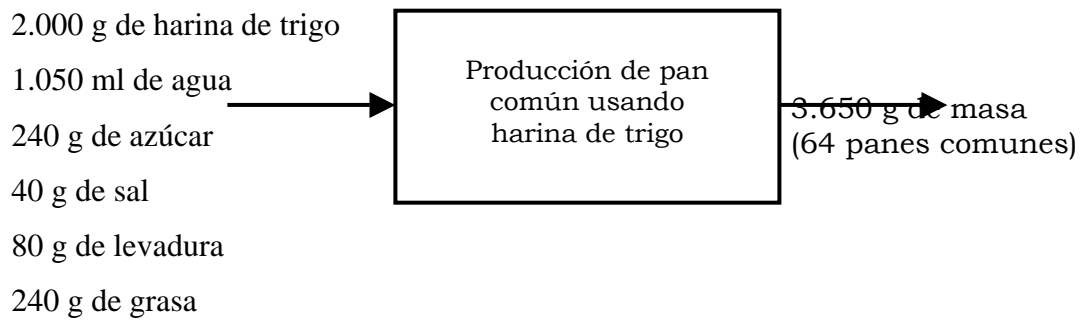
Si se asume un precio para la harina de yuca 20% por debajo de la harina de trigo; para el año 2004 este sería de \$832.

5.2.2 Comparación de los rendimientos en la producción de pan usando harina de trigo y harina de yuca

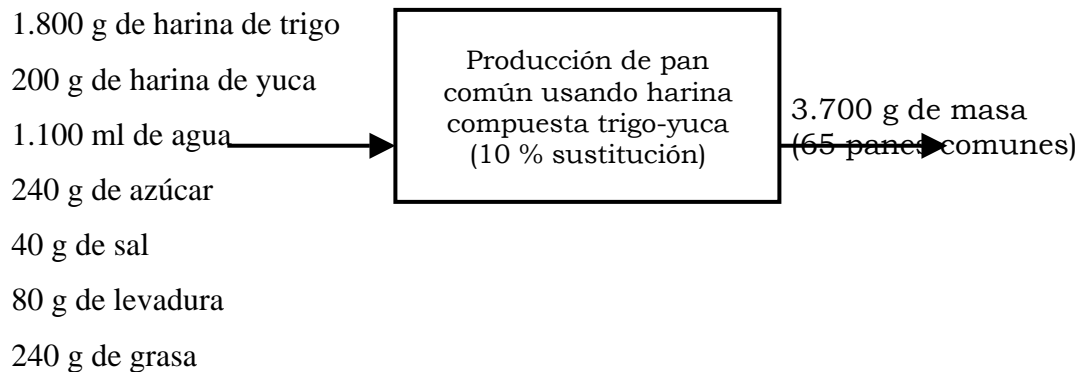
Dado que la harina de yuca absorbe más agua que la harina de trigo, como lo demostraron los ensayos experimentales, el aumento promedio de agua es de 4,5% para una sustitución del 10% con harina de yuca. Para la producción de un lote de 2 kg de harina de trigo las materias primas utilizadas para la elaboración de pan común son:

¹⁷ CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL INTEGRADO Y UNIVERSIDAD DEL VALLE. 1992. Producción y mercadeo de harina de yuca para el consumo humano. Fase de planta piloto. CIAT; Cali.

¹⁸ GARCIA, A. Evaluación de ciclones en la clasificación de partículas refinadas de yuca. Cali, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.



Para la producción de un lote de 2 kg de harina compuesta trigo-yuca con un 10% de sustitución con harina de yuca, las materias primas utilizadas para la elaboración de pan común son:



Como se observa en la producción de pan común usando harina compuesta trigo-yuca se obtiene un pan adicional, como resultado del aumento en el consumo de agua. El peso en masa de los panes común es de 57 g, en el horneado pierden 10% de su peso, es decir que el pan final pesa en promedio 51 g.

5.2.3 Costos totales en la producción de pan

Los costos en la producción de pan comprenden: *costos de materia prima* los cuales representan alrededor del 28-30% de los costos de producción totales y los *costos operacionales* que incluyen *mano de obra* (parafiscales, sueldos, primas y cesantías), *servicios públicos* (energía, agua, teléfono y combustible de hornos) y *administrativos* (industria y comercio, renta, papelería, distribución por venta, empaque, arriendo)

representan el 45% del costo de producción de pan; quedando así, un margen entre 25-27 % de utilidad.

La Tabla 2.10.15 muestra el costo de las materias primas utilizadas en la elaboración de los tres tipos de panes: común, molde y hamburguesa. Los cálculos se realizaron utilizando harina compuesta trigo-yuca con un porcentaje de sustitución del 10%. La Tabla 2.10.16 presenta una estimación de los costos variables promedio diarios en los ensayos de panificación en la panadería “La Estrella”.

2.10.15. Costo de materias primas en la fabricación de pan.

Ingrediente	Costo total (\$/unidad)	Costo por gramo (\$/g)	Costo por pan común (\$/unidad ¹)	Costo por pan molde (\$/unidad ²)	Costo por pan Hamburguesa (\$/unidad ¹)
Harina de trigo (kg)	1.040	1,04	28,84	266,67	29,48
Harina de yuca (kg)	832	0,83	2,56	23,70	2,62
Levadura (lb)	2.700	5,95	7,34	67,83	11,25
Azúcar (lb)	575	1,27	4,69	28,89	4,79
Sal (lb)	240	0,53	0,33	3,77	0,33
Margarina (lb)	1.440	3,17	11,74	54,27	6,00
Agua (m ³)	647	6,5 E-4	0,01	0,10	0,01
Total			55,50	445,23	54,48

¹ Peso de unidad 57 g.

² Peso de unidad 500 g.

Tabla 2.10.16. Estimación de los costos variables diarios promedio en la fabricación de pan.

Rubro	Cantidad
Costos totales de insumos tradicionales	\$456.000
Costos mano de obra	\$144.000
Costos variables totales*	\$600.000
Costos fijos totales	\$384.000
Costos totales en la producción de pan	\$984.000
Utilidad	\$216.000
Ventas totales diarias	\$1.200.000

*Costo variable total = costos totales insumos + costos mano de obra.

Costos de materia prima en la producción de pan con harina de trigo y con harina compuesta trigo-yuca

- Costo de producción de pan común utilizando 2 kg harina de trigo

Costo harina de trigo + costo de agua + costo azúcar + costo sal + costo levadura + costo grasa

$$\begin{aligned} & \$ 2.080 + \$ 0,68 + \$ 304 + \$ 21,2 + \$ 476 + \$ 762 \\ & = \$ 3.644 \end{aligned}$$

- Costo de producción de pan común utilizando 2 kg harina compuesta trigo-yuca:

Costo harina de trigo + costo harina de yuca + costo de agua + costo azúcar + costo sal + costo levadura + costo grasa

$$\begin{aligned} & \$ 1872 + \$ 166 + \$ 0,71 + \$ 304 + \$ 21,2 + \$ 476 + 762 \\ & = \$ 3.602 \end{aligned}$$

Según los cálculos realizados el ahorro por reducción en el costo de las materias primas, en un lote de ensayo de 2.000 g, con el uso de harina compuesta trigo-yuca con una sustitución de 10% de harina es de \$42.

Adicionalmente, con el uso de harina compuesta trigo-yuca en una sustitución del 10% en un lote de 2.000 g de harina se produce un pan adicional, lo que representa una ganancia adicional de \$200 por venta.

Una panadería grande como “La Estrella” consume 50 bultos de harina de trigo de 50 kg c/u semanalmente. Si utilizara harina de yuca en una sustitución del 10 %, en la elaboración de todos los tipos de pan, la panadería requeriría 5 bultos de harina de yuca a la semana, lo que corresponde a un ahorro por concepto de compra de materia prima de:

- Ganancia semanal por ahorro en costo de materia prima

Ahorro semanal de la panadería "La Estrella" por sustitución del 10% de harina de trigo por harina de yuca =

Costo de 50 bultos de harina de trigo – (costo de 45 bultos de harina de trigo + 5 bultos de harina de yuca)

$$\$ 2.600.000 - (\$ 2.340.000 + \$ 208.000) = \$52.000$$

-Ganancia por aumento en la producción de panes

Con el uso de harina compuesta trigo-yuca en un porcentaje de sustitución del 10%, se obtiene un mayor consumo de agua, ya que la harina de yuca absorbe más agua en proceso que la harina de trigo, el aumento es en promedio del 4,5%, lo que aumenta la producción de pan; obteniendo mayor cantidad de panes por los mismos insumos consumidos, siendo el aumento en producción de 1,5% (un pan de más) por 2.000 g de harina compuesta trigo-yuca utilizados.

Si la panadería "La Estrella" consume 50 kg bultos (50 kg c/u) de harina de trigo, se obtendrían 80.000 unidades de pan común de \$ 200.

Las ventas semanales de pan común usando harina de trigo serían: \$16.000.000

Si se usara harina compuesta trigo-yuca (sustitución de 10 %), las unidades obtenidas serían 81.250.

Lo cual representa una ganancia adicional neta de: $1.250 * 200 = \$250.000$

Así, la ganancia semanal por el uso de harina compuesta trigo-yuca con una sustitución del 10% (dada las condiciones establecidas) para un tipo de panadería que elabore pan común es de:

Ganancia por disminución en el costo de materia prima:	\$52.000
Ganancia por panes adicionales producidos:	\$250.000
Ganancia total	\$302.000

En consecuencia, para esta sola panadería la ganancia sería:

\$302.000 semanales

\$1.208.000 mensuales

\$14.496.000 anuales

Cabe recordar que los tiempos y temperaturas en proceso con el uso de harina compuesta trigo-yuca son idénticos a los requeridos para harina de trigo; por tanto no hay diferencias en el gasto energético, además el costo por el consumo adicional de agua es despreciable.

5.2.4 Mercado potencial de harina de yuca en panificación

Según López¹⁹ en Palmira se consumen 126,7 toneladas de harina de trigo al mes, por tanto con una sustitución del 10 % el mercado potencial de harina de yuca al mes en Palmira es de 12,67 toneladas. Este estudio identificó las panaderías de Palmira, las cuales pueden ser un potencial de mercado, a las cuales se podría vender la harina de yuca y hacer de este proyecto una idea de negocio.

Las tablas 2.10.17 y 2.10.18 presentan el tamaño de los mercados potencial y objetivo (definido en este trabajo como el 50 % del mercado potencial) para la compra de harina de yuca en la ciudad de Palmira.

¹⁹ LOPEZ A. LOZANO G. Caracterización técnica y diagnóstico del subsector panificador en Palmira. Palmira, 2004. Trabajo de grado (Administración de Empresas). Universidad nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración.

Tabla 2.10.17. Mercado potencial para la compra de harina de yuca en panaderías de Palmira.

Harina de yuca unidad (bulto de 50 kg)	Número de compradores potenciales	Frecuencia Uso/mes	Venta potencial (unidad)	Precio venta probable (\$)	Mercado potencial (\$)
Grandes	8 (12 unidades)	4	48	31.000	1.488.000
Medianas	17 (13 unidades)	4	52	31.000	1.612.000
Pequeñas.	127 (64 unidades)	4	256	31.000	7.936.000

Tabla 2.10.18. Mercado objetivo para la compra de harina de yuca en panaderías de Palmira.

Harina de yuca unidad (bulto de 50 kg)	Número de compradores objetivos	Frecuencia Uso/mes	Venta objetiva (unidad)	Precio venta probable (\$)	Mercado objetivo (\$)
Grandes	4 (6 unidades)	4	24	31.000	744.000
Medianas	9 (7 unidades)	4	28	31.000	868.000
Pequeñas.	64 (32 unidades)	4	128	31.000	3.968.000
Total			180		5.580.000

El subsector de panadería consume mensualmente aproximadamente 126,7 toneladas de harina de trigo, 21,2 toneladas de azúcar, 3,3 toneladas de sal, 3,5 toneladas de levadura, 30 toneladas de margarina. En lo que respecta al consumo de servicios públicos consume alrededor de 144.254 Kw/mes de energía eléctrica y aproximadamente 10.071 m³/mes de agua²⁰.

5.2.5 Indicadores de valor agregado del proceso y de la cadena productiva de la yuca

²⁰ Ibid.

La producción de harina de yuca constituye una opción tecnológica que genera un valor agregado mayor para el cultivo de la yuca, que el valor agregado generado actualmente en la producción de trozos de yuca con destino a la elaboración de concentrados para la alimentación animal, producto hacia el cual se ha destinado la mayoría de la producción de yuca en el país, siendo éste uno de los productos de más bajo valor agregado dentro de la cadena de valor de la yuca.

Los valores agregados para el proceso de producción de pan común utilizando harina compuesta trigo-yuca con un porcentaje de sustitución del 10 % son:

- Valor agregado del proceso:

1- (costo materias primas (pan común)/precio venta (pan común))=

$$\Rightarrow 1 - 55,5 / 200 = 0,72$$

- Retorno por venta de pan a los factores de producción semanalmente:

1- (costos variables totales/precio de venta total)=

$$\Rightarrow 1 - 600.000 / 1.200.000 = 0,5$$

- Valor agregado en la cadena productiva de la yuca:

1- (costo yuca fresca/costo harina de yuca)= 0,31

$$\Rightarrow 1 - 200 / 832 = 0,76$$

Dada la aceptación del pan por parte de la panadería “la Estrella” en la cual se llevaron a cabo las pruebas de panificación, es posible reproducir este trabajo en otras panaderías, pero para ello lo más importante es contar con el abastecimiento y calidad constante de la harina de yuca.

Actualmente, en las instalaciones de CIAT se está diseñando para su construcción una planta de refinación continua, que puede inicialmente servir como proveedor de harina de yuca en las panaderías interesadas en utilizar esta materia prima en sus productos de panadería y dada la cercanía de este Centro de Investigación a Palmira, este municipio

puede ser un lugar objetivo para llevar a cabo la fase inicial de la idea de negocio de este proyecto. Esto puede constituirse en un modelo para otros municipios y ciudades del país para fomentar el uso de harina de yuca en panificación y permitir en un futuro establecer a nivel de gobierno, como lo han realizado países como Brasil, una legislación que obligue el uso de harinas compuestas trigo-yuca con el objetivo de disminuir importaciones de trigo y así usar materias primas de origen local, como lo es el cultivo de la yuca.

Es importante considerar la participación de los molineros de trigo en un proyecto futuro en este tema, siendo estos también beneficiarios del proyecto. Dado que el trigo se paga por la cantidad de proteína que éste contenga, en ocasiones los molineros compran trigos de baja calidad y los mezclan con trigos canadienses con altos niveles de proteína; esta es otra oportunidad de negocio para la harina de yuca, poder vender esta harina a los molineros y que estos se encarguen de hacer la mezcla, proporcionando así una harina compuesta y balanceada al nivel de proteína adecuado, la cual tenga un precio más bajo que el precio actual de la harina de trigo. Los molineros tienen estandarizados los insumos y mecanismos para fortificar la harina, ya que desde que se expidió el decreto 1944 de fortificación de harinas se ha venido trabajando intensamente en la mezcla de trigos para producir harinas con calidades similares a lo largo de todo el año. Esta evolución del mercado molinero, puede servir de ejemplo para el sector yuquero para ofrecer un producto nacional a precios más bajos y de alta calidad nutricional, el cual puede ser enriquecido con vitaminas y minerales o con variedades de yuca biofortificadas.

6. CONCLUSIONES

- Las harinas de yuca obtenidas presentaron problemas con la calidad microbiológica, sin embargo si se siguen controles en proceso como un lavado eficiente de las raíces en la maquina lavadora y su posterior inmersión en piscinas con hipoclorito de sodio a 20 ppm durante 20 minutos; aunado a una previa limpieza con vapor de la lavadora, trozadora, y de las bandejas de secado se garantiza un a mejora en la calidad microbiológica del producto final.
- Todas las harinas compuestas utilizadas presentaron mayor absorción de agua, según el análisis del farinografo y la determinación de la cantidad de agua en proceso. Además presentaron una reducción en la extensibilidad de la masa y exceso de fuerza.
- Entre las variedades de yuca utilizadas, para la fabricación de pan con harina compuesta trigo-yuca utilizando la variedad MCOL- 1505 presentó el mejor comportamiento en las pruebas de volumen específico, los más altos valores de absorción de agua y no presento diferencias en la aceptación de los consumidores, tanto en aroma, sabor, textura de la miga y aceptación general; por lo tanto es la variedad con mayor calidad panadera de todas las variedades evaluadas, particularmente usando un porcentaje de sustitución del 5 %.
- El pan común tuvo el mejor comportamiento en las pruebas de aceptación, ya que según los consumidores presentó mínimas o ninguna diferencia respecto al pan de trigo. Por ello se escogió la formulación de este pan como la más conveniente para la fabricación de pan a partir de harina compuesta trigo-yuca. Esto se asume es debido, a que este tipo de pan, dentro de los evaluados, es el que mayor cantidad de grasa y azúcar contiene en su formulación, factores que pueden contribuir a enmascarar el efecto de la inclusión de harina de yuca.
- El proceso de horneado de las masas harinas compuestas con sustituciones del 15 % de harina de yuca, presenta un volumen específico reducido, dado que estas harinas

contienen bajos contenido de proteínas lo que hace que el pan no tenga material edificante para retener el gas contenido en el alveolo del pan, tienen un mayor riesgo de colapsarse durante el proceso de horneado, haciendo que los panes salgan mas compactos y defectuoso con miga gruesa, no expandida presentando un volumen especifico inferior comparado con las otras sustituciones.

- Las masas de harinas compuestas trigo-yuca presentaron mayores tenacidades lo que ocasiona que las masas desgarren durante el amasado y boleado, dificultando el manejo de estas operaciones por parte del panadero. Las masas provenientes de harinas tenaces oponen mayor resistencia a inflarse. Lo que ocasiona que les cueste un poco mas empezar a ganar volumen, sin embargo una vez se forma el alveolo la masa crece de manera normal, en algunos casos más rápido que la de trigo durante los primeros 20 minutos dada la mayor cantidad de azuceres reductores disponibles al inicio de la fermentación.
- En las pruebas de aceptabilidad se presentó una preferencia marcada por el pan tajado elaborado usando la harina compuesta de la variedad CMC-40 en todos los porcentajes de sustitución.
- Desde el punto de vista técnico el uso de harinas compuestas trigo-yuca, en un porcentaje de 5 y 10 % de sustitución es factible y ventajoso, presentando características no diferenciables al pan de trigo. Por el contrario, la sustitución con un porcentaje del 15 % produce panes con menores volúmenes específicos, los cuales no fueron aceptados por los consumidores.
- Para que este proyecto sea aplicable nivel industrial, los aspectos que deben ser considerados son: garantizar un abastecimiento de harina de yuca con calidades volúmenes y precios estables, contar con la sostenibilidad política que obligue el consumo de harinas compuestas por ley (como el caso del alcohol carburante) y tener el apoyo del gremio panadero y molinero que identifiquen la harina de yuca como un

sustituto de la harina de trigo, que por una parte traerá beneficios económicos a su negocio y por otra contribuirá al desarrollo agroindustrial de un cultivo local.

- Los indicadores económicos permitieron determinar que dadas las condiciones de procesamiento en una panadería grande, como en la que se desarrolló la fase experimental, el ahorro presentado por el uso de un porcentaje de sustitución del 10 % es de alrededor de \$11.952.000 anuales.
- La mayoría del gremio panadero trabaja con base en rutinas pre-establecidas. Cualquier cambio en las variables de proceso puede afectar los resultados de su producto final, lo cual traerá inconvenientes para ellos, es por ello que la incorporación de harina de yuca no debe presentar diferencias a la producción tradicional de pan de trigo.
- Las harinas panificables a trabajar en los procesos deben ser fuertes y tolerar la falta o el exceso de reposo de la masa, es por ello que no es conveniente utilizar porcentajes de sustitución mayores al 15 % ya que la disminución del contenido de proteína promueve la reducción en la fuerza de las masas.
- Para que esta idea de negocio sea aplicable industrialmente es necesario contar con la sostenibilidad política del proyecto y que se obligue por decreto a consumir harinas compuestas, como se realizó con el caso de las gasolinas; con el uso de alcohol carburante, siguiendo el ejemplo de Brasil donde por decreto consumen pan con harina compuesta trigo-yuca.

7. RECOMENDACIONES

- Para garantizar una harina de yuca panificable y competitiva en el mercado es necesario utilizar sistemas de secado artificial e implementar buenas practicas de manufactura en su elaboración, con el objeto de minimizar riesgos contaminación; dado que este es un producto destinado para consumo humano, no animal como se ha venido destinando y por lo tanto presenta condiciones de procesamiento muy diferentes a las actualmente utilizadas.
- Si se usan harinas compuestas trigo-yuca con sustituciones del 15 % o mayores, dado que estas masas tienden a presentar un debilitamiento del gluten por la inclusión de harina de yuca se recomienda evaluar el efecto del nivel de levadura adicionada, el tiempo de leuda y el uso de hidrocoloides con el fin observar el efecto de estas variables sobre la calidad final del pan.
- Evaluar las condiciones edafoclimaticas de la producción de la variedad MCOL-1505 y sus propiedades fisicoquímicas, para establecer una relación entre estas propiedades y los favorables resultados presentados en los ensayos de panificación.
- Para que el cultivo de la yuca sea sostenible y competitivo en los próximos años es necesario desarrollar productos que permitan aumentar su valor agregado y los productos para alimentación humana constituyen una opción para ello. La primera opción la constituyen las harinas de yuca para ser mezcladas con otras harinas en sustitución parcial de estas y ser usadas directamente para la elaboración de productos como los panes, pastas alimenticias, galletería entre otros. Una segunda opción, para generar productos de mayor valor agregado a partir de las harinas de yuca, la constituyen las harinas modificadas por procesos térmicos y físicos, lo cual se logra con operaciones como la extrusión, que permite realizar modificaciones en la estructura química de la harina para hacerla más soluble o termoplástica; para la elaboración de

productos como coladas y sopas instantáneas o extruídos y expandidos para la elaboración de snacks.

- Es necesario realizar campañas de promoción en asociación con los medios de comunicación para la divulgación de los resultados de este proyecto, con el fin de incentivar el uso de harina de yuca en panificación haciendo partícipes de esto al sector yuquero, al gremio panadero y molinero y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural quien patrocinó junto a CLAYUCA este proyecto, con el objeto de buscar los mecanismos que permitan incentivar a los productores de yuca a sembrar yuca e identifiquen en este negocio un potencial de mercado para su producto, a los panaderos a utilizar harinas compuestas y/o a los molineros a mezclar la harina de yuca junto con la harina de trigo para venderla directamente como harina compuesta reduciendo los costos de sus materias primas y contribuyendo de esta manera a disminuir la fuga de divisas promoviendo el uso de un producto nacional; aprovechando esta oportunidad de negocio y no suceda lo mismo que paso hace casi dos décadas donde se realizaron estudios similares que se quedaron en el papel.
- Promover investigaciones en la carrera de Ingeniería Agroindustrial guiadas al desarrollo de nuevas tecnologías y productos en el tema de panificación, que promuevan el desarrollo de la agroindustria panadera y molinera en el país.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, M. Y SALCEDO, M. Estudio de las aplicaciones industriales, potencial de mercado en Colombia y diseño de un producto a partir de pirodextrinas de yuca. Cali, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial.

ACUÑA GORDILLO, OSWALDO. Utilización de harina de yuca en panificación. Boletín No 8. Escuela politécnica nacional. Instituto de investigaciones tecnológicas. Quito, 1974. 40 p.

BARBA LOVATO, LUÍS FABIAN. Elaboración de pan con harina de yuca. Quito, 1989. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química.

BARONA, S. e ISAZA, L. Estudios para el desarrollo de un proceso de extracción de almidón a partir de trozos secos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con mínima utilización de agua. Cali, 2003. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Agrícola.

BUITRAGO, J. La yuca en la alimentación animal. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1990. 450 p.

BYERLEE, Derek. Evitar la trampa del trigo: cómo las políticas erróneas cambian las dietas habituales. En: CERES. Revista de la FAO sobre agricultura y desarrollo. Roma. Vol. 18, No. 5 (sep.-oct.1985); p. 20-25.

CALVEL, R. El sabor del pan. [en línea]. España: molineriaypanaderia 2001. [Citado en 2004-09-13]. Disponible en Internet: <<http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/harina/harinat.html>>

CARDONA DE LA PAVA, G. Producción: Del Trigo al Pan. Bogota. FEDEMOL. 1997. 50p.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, PROGRAMAS DE DESARROLLO RURAL INTEGRADO Y UNIVERSIDAD DEL VALLE. Producción y mercadeo de harina de yuca para el consumo humano. Fase de planta piloto. Cali: CIAT, 1988.

CIAT. Yuca seca y sus derivados [en línea]. Cali: CIAT, 2001. [citado en 06-09-2004]. Disponible en internet: <http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/sistema_yuca/yucaseca.htm>

COCK J. H. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo de la planta de yuca. En: Domínguez, C. Yuca investigación producción y utilización. Cali Colombia. PNUT/CIAT, 1979. 74 p.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE ESTADÍSTICA NACIONAL (DANE). Cali. Anuario del Sector Agropecuario, 2002.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Registro de Exportaciones e Importaciones. [en línea]. Colombia: DPN, 2002. [citado en 2004-07-15]. Disponible en internet: <www.dpn.gov.co>

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. Yuca: Perfil de producto. No.6. Oct-Dic. Bogotá: CCI, 1990. p. 1-12.

CORTES, M. La harina de trigo. [en línea]. España: molineriaypanaderia 2000. [citado en 2004-07-13]. Disponible en internet: <<http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/harina/harinat.html>>

DAVIS, B. DULBECCO, R. and EISEN H. Tratado de microbiología. Barcelona. Salvat editores S.A. 1975. 1478 p.

DENDY, D.A. JAMES, A.W. and CLARKE. P.A. Work of the tropical products institute, on the use of non wheat flours in breadmaking. Cereal chemistry Vol. 42, pag. 3-6. 1972.

DEFLOOR, I. Factors governing the breadmaking potential of cassava (*Manihot Esculenta Crantz*) flour. Belgica: Katholieke universiteit te leuven faculteit landbouwkundige en toegepaste biologische wetenschappen, 1995. 264 p.

DEFLOOR, I and. DELCOUR, A. Wheat starch cassava starch, and cassava flour impairment of the breadmaking potencial of the wheat flour. Cereal chemistry, 1993. Vol 70 # 5, pag. 526 – 530.

DE MANN, J.M. RASPER, V. F. VOISEY, P. W. and STANLEY, D. W. Rheology and texture in food quality. Washington. The avi publishing company, 1976. 467 p.

DE SOUZA, E. Técnicas de la panificación. Bogotá. Thomas de Quincey editores Ltda, 1989. 274 p.

DEVORE, J. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.4 ed.. México. Internacional Thomson Editores, 1998. 720 p.

EGGLESTON, G. and OMOAKA, P. Alternative breads from cassava flour. Belgica. IITA Root and Tuber program., 1994. 260 p.

EGGLESTON, G. PAULYN E. OMOAKA, A. and ADUNI U. AROWSHEGBE. Flour, Starch and composite breadmaking quality of various cassava clones. UK. Journal of the science of food and agriculture, 1992.

ELLIS, R. H. and ROBERTS, E. H. Germination Of Stored Cassava Seed At Constant And Alternating Temperatures. *Ann. Bot.* 1979. 44: 677-684.

EMBRAPA. Senai reforça uso de amido de mandioca na panificação. En: Raíz & Fruto. Brasil: Ministério da agricultura, pecuária e abastecimiento, 2002. 4 p.

FERNANDEZ, A. *et al.* La producción y uso de la harina de yuca para consumo humano. En: SCOTT, G. *et al.* Desarrollo de productos de raíces y tubérculos. Vol. II- América Latina. Perú: CIP, 1992

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Composite flour programme. Roma: FAO, 1969.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Meeting of the sub-group on food industries and marketing. Nutritional aspects of composite flours. Roma: FAO, 1970.

GIACCO, C.F. and APPOLONIA, B.L. Baking studies with cassava and yam rheological and baking studies of tuber-wheat flour blends. Department of cereal chemistry and technology North Dakota state university. *Cereal chemistry*, 1977. Vol 55 # 4 / 78.

GÓMEZ, G. SANTOS, J. VALDIVIESO, M. Utilización de raíces y productos de yuca en alimentación animal. Palmira. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1982. 660 p.

GOTTRET, M. V. PEREZ, S. ESCOBAR, Z. El sector yuquero en Colombia: Desarrollo y Competitividad. En: Ceballos, H. Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Palmira. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2001. P. 340-376.

HERHEY, C. AMAYA, A. Germoplasma de yuca. Evolución distribución y colección. En: Domínguez, C. Yuca investigación producción y utilización. Cali, PNUT/CIAT, 1979. 89 p.

HIBBERD, G.E. AND PARKER, N.S. Measurements of the fundamental rheological properties of wheat flour doughs. Cereal chemistry, 1975. Vol 52, # 3, 1r.

HURTADO, J. Valoración de las amiláceas “no cereales” cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades físico-químicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. Bogotá, 1977. Trabajo de grado (Ingeniero de alimentos). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos.

INDUSTRIA ALIMENTICIA. Panificación y pastas. Bogota. Stagnito communications: Vol. 14 No. 12 Dic. 2003. p. 42, 44. 54 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Harina de trigo. Cuarta actualización. Bogotá: ICONTEC, 1998. 9 p. NTC 267.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ensayo de panificación de la harina de trigo. Cuarta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2001. 16 p. NTC 291.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS. Evaluación técnico-funcional de harinas de yuca en panificación. No.1. Bogotá: IIT, 1986. 52 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS. Evaluación técnico-funcional de la harina de yuca, variedad MCOL 22-15. No. 2. Bogotá: IIT, 1986. 13 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS. Evaluación paramétrica del pan elaborado con harina de yuca en panaderías comerciales de Bogotá (estudios para el auditaje a panaderías y aceptabilidad del pan). No. 3. Bogotá: IIT, 1986. 23 p.

LEON, M. MASCARA, W. GUILLÉN C. Utilización de harinas compuestas en la elaboración de productos de panadería. Republica Dominicana. 1982. p 13 – 14.

LOPEZ, A. R. LOZANO, G. A. Caracterización técnica y diagnóstico del subsector panificador en Palmira. Palmira, 2004. Trabajo de grado (Administrador de empresas). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Facultad de Ingeniería y Administración. Departamento de Administración de empresas. 140 p.

LUNA DE LA FUENTE, Roberto. Ensayo de panificación con mezclas de harinas de trigo y tres variedades de yuca. En: PCEA Boletín trimestral de investigación agropecuaria. Perú. Vol. 8, No. 3 (1954); p. 9 – 14.

MADRIÑAN, C. Química de alimentos. Cali. Universidad del valle, 1988. 527 p.

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR (MINCOMEX). Base de datos del registro de exportaciones e importaciones. Bogotá. 2003.

ONABOLU, A. ABASS, A. y BOKANGA, M. New food products from cassava. Ibadan, Nigeria: IITA, 1998.

OLSEN, K.M. SCHAAL B.A. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern. Amazonian origin of domestication. American Journal of Botany. 2001. 88 (1): p. 131–142.

OSPINA, B. CEBALLOS, H. La yuca en el tercer milenio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2002. 586 p.

OSTERTAG, C. WHEATLEY C. Proyecto de producción y comercialización de harina de yuca para consumo humano. Cali. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) - Universidad del Valle- Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI), 1992.

PEÑA, R.J. Bread wheat improvement and production. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002.

PYLER, E.J. Baking science & technology. Chicago. The bakers digest, 1973. 585 p.

RAJA, K.C. Texture characteristics of cassava-wheat flour dough and sensory properties of chapati, food division, regional research laboratory. revista CINYUCA. India 1985.

REBELO, A. Mandioca a salvação da lavoura. São Paulo. Anita Garibaldi, 2002.

SANINT, L. RIVAS, L. DUQUE, M. y SERE, C. Análisis de los patrones de consumo de alimentos en Colombia a partir de la encuesta de hogares DANE/DRI de 1981. Revista de hogares Planeación y Desarrollo (Colombia). 17(3): p.39-68.

TEJERO, F. Defectos en la harina de trigo. [en línea]. España: molineriaypanaderia 2000. [citado en 2004-07-13]. Disponible en internet:<<http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/harina/defectoh.html>>.

VANHAMEL, L. VAN DEN ENDE, P. DARIUS, L. DELCOUR, A. A volumeter for breads prepared from 10 grams of flour. American association of Cereal Chemists, Inc. Cereal Chemistry. 1991. 68(2): p. 170-172.

WATTS B. M. YLIMAKI G. L. JEFFERY L. E. ELIAS L. G. Basic methods for food evaluation. Ottawa. Centro internacional de investigaciones para el desarrollo, 1992. 170 p.

WHEATLEY, C y FERNÁNDEZ, F. Almacenamiento de raíces frescas de yuca. Cali: CIAT, 1983. p. 6.

ZANOUN, S. Identification of molecular markers linked to the baking behaviour of Tanzanian varieties of Cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). Dar-Es-Salaam. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), 2002. 41 p