ELABORACIÓN DE PAN FERMENTADO A PARTIR DE HARINA DE YUCA

Por:
Luis Enrique Ruiz Meneses

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
en
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
MAYAGÜEZ
2011

Aprobado por:

_____	_____
Agenol González , M.S Miembro, Comité graduado	Fecha
_____	_____
María Rodríguez, PhD Miembro, Comité graduado	Fecha
_____	_____
Fernando Pérez Muñoz, PhD Presidente, Comité graduado	Fecha
_____	_____
Bárbara Calcagno, PhD Representante de Estudios Graduados	Fecha
_____	_____
Edna Negrón de Bravo, PhD Directora del Departamento	Fecha

ABSTRACT

Breads were formulated and evaluated using composite cassava-wheat flour. Cassava flour used, enriched with gluten, came from 3 different sources (commercial cassava flour, peeled cassava flour and unpeeled cassava flour) and 4 levels of substitution (12.5%, 25% 37.5% and 50%) were used for the preparation of breads. The breads were compared to a control prepared in 100% wheat flour. Flours were evaluated in terms of proximate composition, sorption isotherm and color; finding that they all met the minimum requirements for use in bread making. Prepared bread doughs were evaluated in terms of growth. Significant differences ($p \leq 0.05$) among the masses developed with substitutions of 25%, 37.5% and 50% compared to control. In assessing the variables pH and Aw, no significant differences were found between treatments compared to the control. Breads were analyzed physically in terms of growth, growth rate, specific volume, weight loss during baking, texture and color. For each of these parameters, significant differences were found when compared to the control, particularly at levels of 37.5% and 50%. The control treatments were similar to breads made with cassava flour substitutions of 12.5 and 25%. When performing chemical analysis, significant differences were found in fiber and ash content, with breads containing 37.5% and 50% cassava exhibiting the highest compared to the control. No significant differences were evident in terms of Aw of the loaves and appearance of mold growth, the latter being about day 11. Sensory analysis reported that preferred breads, not including the control, were prepared with 12.5% of peeled cassava flour followed by formulations at 25%.

RESUMEN

Se formularon y evaluaron panes utilizando harinas compuestas de yuca – trigo. Las harinas de yuca usadas, las cuales fueron enriquecidas con gluten, provenían de 3 fuentes diferentes (harina de yuca comercial, harina de yuca sin cáscara y harina de yuca con cáscara) y se utilizaron 4 niveles de sustitución (12.5%, 25%, 37.5% y 50%) para la elaboración de los panes. Los panes fueron comparados con un control, el cual se elaboró de harina de trigo 100%. Se evaluaron las harinas originales en cuanto a su composición proximal, isoterma de sorción y color; encontrando que todas ellas cumplieron con los requisitos mínimos para ser usadas en panificación. Las masas elaboradas se evaluaron en cuanto a crecimiento de la masa, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las masas desarrolladas con sustituciones de 25%, 37.5% y 50%, con respecto al control. Al evaluar las variables pH y Aw, no se evidenciaron diferencias significativas al compararla con el control. Los panes fueron analizados físicamente en cuanto a crecimiento, porcentaje de crecimiento, volumen específico, pérdida de peso durante el horneado, textura (dureza y esponjosidad) y color. En cada uno de estos parámetros analizados se encontraron diferencias significativas al compararlos con el control, generalmente con los niveles de 37.5% y 50%. Los tratamientos más parecidos al control fueron los panes elaborados con las harinas de yuca en las sustituciones de 12.5 y 25%. Al realizar el análisis químico, las diferencias significativas se encontraron en las variables de fibra y ceniza, siendo los panes de harinas de yuca con sustituciones de 37.5% y 50% las que presentaron valores altos al compararlos con el control. No se evidenciaron diferencias significativas en cuanto a Aw de los panes y día de formación de mohos, siendo este aproximadamente al día 11. El análisis sensorial realizado reportó que los panes con mayor preferencia, sin contar el control, fueron los elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%, seguido de los elaborados con 25%.

Derechos del Autor Reservados ©
Luis Enrique Ruiz Meneses
2011

A Dios por ser la luz que ilumina mi camino

A mi madre y padre por su apoyo incondicional

A mis hermanos, en especial a Alex David

A mi novia Mariana

A mis amigos por la colaboración prestada

A toda mi familia

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante día a día.

A mi madre Celia Meneses, gracias por apoyarme en todos mis sueños y estar allí cuando más te necesitaba. A mi padre Luis Ruiz, por creer en mí siempre. A mi hermano Alex, por escucharme.

A mi director de tesis, Dr. Fernando Pérez, por guiarme, por su paciencia y su disponibilidad en todo momento.

A la Dra. Edna Negrón, le agradezco el darme la confianza para trabajar con usted, sus consejos y ayuda cuando más la necesité.

A la Dra. Ivelisse Padilla y la profesora Verónica Sánchez por darme la confianza de trabajar como ayudante de cátedra en el Departamento de Química. Fueron años maravillosos para mí donde crecí personal y profesionalmente.

A la profesora Aixa Rivera, le agradezco especialmente por la colaboración en el préstamo de algunos equipos y su consejos.

Gracias al profesor Agenol González por la colaboración prestada durante toda la investigación y contagiarme con esa actitud de positivismo que siempre lo caracteriza.

A la Dra. María Rodríguez por aceptar ser parte del comité graduado.

A mi novia, Mariana gracias por tu paciencia y comprensión, no fue fácil pero lo logramos.

A mi amiga Aimeé Montero y familia Montero Arce, no tengo palabras para describir lo que hicieron por mí. Ustedes fueron y seguirán siendo mi familia aunque estemos lejos. Jamás los olvidaré, siempre estarán en mi corazón.

A mi amigo Miguel Florián y familia Florián Algarín por abrirme la puerta de su casa y tratarme como alguien más de la familia.

A todos mis amigos de Puerto Rico y Colombia en especial a Nydia, Norleyn, Samuel, Luis, María Teresa, Pamela, Vivian, Fabián, Luisenrique, Angélica, José C, José D, Ariana, María José y todos aquellos que hicieron de mi estadía en este país la más placentera posible.

Al personal administrativo y técnicos del programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos, especialmente, Bessie, Gloria, Don José, Miguel, Jaime y Ruperto.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo de esta investigación y aportaron un granito de arena a mi desarrollo profesional.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT **II**

RESUMEN **III**

DEDICATORIA **IV**

AGRADECIMIENTOS **VI**

TABLA DE CONTENIDO **VIII**

LISTA DE TABLAS **XII**

LISTA DE FIGURAS **XIV**

LISTA DE GRÁFICAS **XV**

LISTA DE APÉNDICES **XVI**

1. INTRODUCCIÓN 1

2. REVISIÓN DE LITERATURA 4

2.1 LA YUCA 4

2.1.1 Producción de la yuca 7

2.1.2 Procesamiento de la yuca 10

2.2 EL TRIGO 12

2.2.1 Producción mundial de trigo 15

2.3 LA HARINA 16

2.3.1 Harina de trigo 17

2.3.1.1 Composición de la harina de trigo 18

2.3.1.2 Tipos de harina de trigo 19

2.3.2 Harina de yuca 20

2.3.2.1 Composición de la harina de yuca 20

2.4 EL PAN 21

2.5 ESTUDIOS DE PANIFICACIÓN REALIZADOS CON HARINA DE YUCA – TRIGO 25

3. MAREIALES Y MÉTODOS 28

3.1 Obtención de ingredientes 28

3.2 Elaboración de la harina de yuca 28

3.3 Preparación harinas compuestas 29

3.4 Elaboración de los panes 30

3.5 Diseño experimental 31

3.6 Análisis de la harinas 32

3.6.1 Determinación de las isotermas de sorción 32

3.6.2 Análisis proximal de la harinas 33

3.6.3 Análisis del color de las harinas 34

3.7 Análisis de la masa 34

3.7.1 pH 34

3.7.2 Actividad de agua (Aw) 35

3.7.3 Crecimiento de la masa 35

3.8 Análisis de los panes 36

3.8.1 Volumen, masa, volumen específico, % pérdida de peso en el horneado, crecimiento durante el horneado 36

3.8.2 Evaluación de la textura 37

3.8.3 Color de la miga 38

3.8.4 Aw de la miga del pan 39

3.9 Determinación de la presencia de hongos 39

3.10 Análisis químico de los panes 39

3.11 Evaluación sensorial 40

3.12 Análisis estadístico 40

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41

4.1 Análisis de las harinas 41

4.1.1 Isotermas de sorción 41

4.1.2 Composición proximal de las harinas 44

4.1.3 Análisis del color de la miga 46

4.2 Análisis de la masa 47

4.2.1 pH y actividad de agua de las masas 47

4.2.2 Crecimiento de la masa 49

4.3 Análisis de los panes 52

4.3.1 Crecimiento y % de crecimiento del pan durante el horneado. 52

4.3.2 Evaluación del volumen específico 54

4.3.3 Porcentaje de pérdida de peso durante el horneado 56

4.4 Evaluación de la textura de los panes a través del tiempo 58

4.4.1 Determinación de la dureza en gramos – fuerza 58

4.4.2 Determinación de la esponjosidad; unidad adimensional 62

4.5 Determinación del color de la miga del pan 63

4.5.1 Determinación de la variable L*; unidad – adimensional 63

4.5.2 Determinación de la variable HUE; unidad – adimensional 65

4.5.3 Determinación de la variable Croma; unidad- adimensional 66

4.6 Aw de la miga del pan a través del tiempo 68

4.7 Composición química de los panes en base seca 69

4.8 Determinación de la presencia de mohos 72

4.9 Análisis sensorial 74

5. CONCLUSIONES 76

6. RECOMENDACIONES 79

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80

8. APÉNDICES 84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Contenido (g) de los componentes nutricionales para 100 g de yuca y el porcentaje que cubre la dosis diaria recomendada 6

Tabla 2: Producción mundial de yuca 7

Tabla 3: Principales países productores de trigo 15

Tabla 4: Composición de la harina de trigo para panificación 18

Tabla 5: Composición proximal de la harina de yuca 20

Tabla 6: Harinas compuestas fabricadas en el laboratorio 29

Tabla 7: Formulación para elaboración de panes 30

Tabla 8: Diseño del experimento 31

Tabla 9: Composición proximal de las harinas en base seca 45

Tabla 10: Análisis del color de las harinas 47

Tabla 11: Resultados de pH y Aw para cada una de las masas 48

Tabla 12: Resultado de crecimiento de la masa 50

Tabla 13: Crecimiento y % de crecimiento del pan durante el horneado 53

Tabla 14: Volumen específico de los panes 55

Tabla 15: Porcentaje de pérdida de peso durante el horneado 57

Tabla 16: Determinación de la textura de los panes: Dureza 59

Tabla 17: Determinación de la textura de los panes: variable esponjosidad 63

Tabla 18: Determinación del color de la miga de los panes: variable L* 64

Tabla 19: Determinación del color de los panes: variable HUE 66

Tabla 20: Determinación del color de los panes: variable Croma 67

Tabla 21: Aw de la miga de pan con el tiempo de almacenamiento 68

Tabla 22: Composición proximal de los panes elaborados en base seca 70

Tabla 23: Día de formación de moho en los panes 73

Tabla 24: Análisis sensorial de panes 75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arbusto y raíz de yuca 4

Figura 2: Esquema de un grano de trigo 14

Figura 3: Metro de pH Orion 3 Star Thermo Scientific 35

Figura 4: Higrómetro Aqua Lab Cx-2® 35

Figura 5: Texturometro TA-XT2 38

Figura 6: Colorímetro HunterLab – Miniscan XE 39

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1: Isotermas de sorción de las harinas a 25 ^{O}C 42

Gráfica 4.2: Cinética de secado de las harinas 43

Gráfica 4.3: Crecimiento de la masa utilizando 12.5% de sustitución de harina de yuca 50

Gráfica 4.4: Crecimiento de la masa utilizando 25% de sustitución de harina de yuca 51

Gráfica 4.5: Crecimiento de la masa utilizando 37.5% de sustitución de harina de yuca 51

Gráfica 4.6: Crecimiento de la masa utilizando 50.0% de sustitución de harina de yuca 52

Gráfica 4.7: Relación entre fibra y volumen específico de los panes 56

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A: Modelado de las isotermas y coeficientes estimados 84

Apéndice B: Fotografías de los panes por el nivel de sustitución 86

Apéndice C: Fotografías de los panes por la fuente de la harina 87

Apéndice D: Ejemplos de mohos en algunos panes 88

Apéndice E: Hoja de panelista utilizada para análisis sensorial 89

Apéndice F: Fotografías del panel sensorial 90

1. INTRODUCCIÓN

La yuca (*Maniot esculenta* Crantz*)* es una especie de origen latinoamericano, conocida también con los nombres comunes de tapioca, casava, manioca y mandioca, entre otros. Se cultiva principalmente por sus raíces amiláceas, pero su follaje puede ser utilizado para la alimentación animal en algunas zonas productoras al momento de cosechar las raíces (Buitrago, 2001). Tanto la raíces como las hojas de la yuca son adecuadas para el consumo humano. Las primeras son una fuente importante de hidratos de carbono, y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas, particularmente carotenos y vitamina C (Ceballos, 2002).

Es un cultivo importante en países asiáticos, africanos y de América Latina, principalmente, por su participación en los sistemas agrícolas, y por su aporte a la dieta de la población, tanto humana como animal, siendo considerado el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz (Lacayo, 2008). En la mayoría de las zonas que producen yuca las raíces se utilizan frescas para alimentación diaria. Una proporción más o menos igual es utilizada para la elaboración de otros productos que eventualmente se utilizarán también como alimentos. Se ha estimado que el 65% de la yuca producida a nivel mundial es para consumo humano (CIAT, 1979).

El producto industrial más importante elaborado a base de yuca es el almidón. Además de ser un ingrediente importante de muchos alimentos, éste es muy útil en la industria textil y elaboración de adhesivos. También se pueden obtener otros productos como son yuca parafinada, croquetas de yuca, "snacks" de yuca, harina yuca, entre otros (Balagopagan, 2002).

Según E.E.A (1997), las raíces y tubérculos tropicales, tales como la yuca, batata, ñame, yautía, son fuentes importantes de alimento, energía y nutrición para la población y pueden desempeñar un papel importante en el contexto de un desarrollo sustentable de implementarse procesos tecnológicos que permitan su mejor aprovechamiento en beneficio de la población puertorriqueña. La producción de yuca en Puerto Rico para el año 2009 fue de 9,523 quintales, con un consumo anual per cápita de aproximadamente 3.37 libras (Oficinas de Estadísticas Agrícolas, 2010).

Siendo Puerto Rico un país donde las condiciones climáticas no son apropiadas para el desarrollo de cultivos como el trigo, que depende de la importación de éste, se hace necesario buscar nuevas alternativas para la elaboración de alimentos como lo es el pan. La presente investigación persigue la fabricación de un pan fermentado utilizando harinas compuestas (cualquier mezcla de dos o más harinas de cereales, leguminosas o tubérculos con diferentes fines) sustituyendo harina de trigo, por harina de yuca dulce en diferentes proporciones. Se propone estudiar el comportamiento de la harina de yuca como ingrediente panadero, reemplazándola parcialmente en la elaboración de panes fermentados, y determinar las características de los productos resultantes. En otras palabras, el objetivo general de esta investigación es determinar el efecto de añadir harina de yuca a la formulación de pan fermentado tipo "especial". Dentro de los objetivos secundarios, se incluyen los siguientes:

- Comparar la composición nutricional de harina de yuca comercialmente disponible con la producida en el laboratorio.
- Determinar las curvas isotérmicas de sorción de humedad de la harina comercial y la producida en el laboratorio.

- Determinar las características físicas del pan elaborado a partir de harina de trigo y harina de yuca enriquecida con gluten.
- Determinar el efecto de reemplazar harina de trigo por harina de yuca enriquecida con gluten en la formulación de pan fermentado en términos de:
    - pH de la masa
    - Crecimiento de la masa
    - Textura del pan horneado
    - Análisis sensorial
    - Largo de vida
    - Actividad de agua de la masa y pan

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA YUCA

El cultivo de yuca es de gran importancia en todas las regiones tropicales del mundo, tanto para consumo de raíces frescas como su uso agroindustrial. La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una de las principales fuentes de energía para millones de personas y se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2,000 metros de altura (Buitrago, 1990).

La yuca es una de las principales plantas tropicales útiles difundidas en todos los continentes. La mayoría de los botánicos y ecólogos consideran que el centro de origen de la especie *Manihot esculenta* es el nordeste del Brasil. La diversidad más amplia del género *Manihot* se encuentra en Brasil y el suroccidente de México y Guatemala (Allen, 2002). Ésta pertenece a la clase *Dycotyledoneae*, subclase *Archichlamydeae*, al orden *Euphorbiales*, familia *Euphorbiaceae*, tribu *Manihotae*, género *manihot* y especie *Manihot esculenta* Crantz (Allen, 2002).

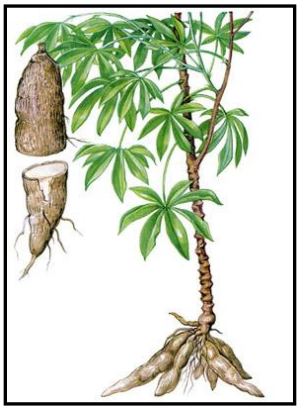


Figura 1: Arbusto y raíz de yuca. Ceballos y De la Cruz (2001)

Según Ceballos y De la Cruz (2001), la yuca es un arbusto perenne. Es monoica, de ramificación simpodial y con variaciones en la altura de la planta que oscila entre 1 y 5 metros, aunque la

altura máxima promedio es de 3 metros (**Figura 1**). Los tallos son particularmente importantes en la yuca, pues son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie. Porciones lignificadas del tallo, comúnmente llamadas estacas o cangres, sirven como semillas para la producción comercial del cultivo. El tallo es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm. Las hojas son los órganos en los cuales ocurre, principalmente, la fotosíntesis que permite la transformación de la energía radiante en energía química. Las hojas son caducas, es decir, se avejentan, mueren y se desprenden de la planta a medida que esta se desarrolla. El número total de hojas producidas por la planta, su longevidad y capacidad fotosintética son características varietales profundamente influidas por las condiciones ambientales.

La característica más importante de la planta de yuca es su sistema radical, debido a su capacidad de almacenamiento de almidones, siendo este órgano de la planta la que más ha tenido valor económico. Sin embargo no todas las raíces producidas eventualmente se convierten en órganos de almacenamiento. Cuando la planta proviene de semilla sexual, se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden. Aparentemente, la raíz primaria siempre evoluciona para convertirse en una raíz tuberosa y es la primera en hacerlo. Si la planta proviene de estacas, las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca, que se convierte en una callosidad y también a partir de las yemas de la estaca que están bajo la tierra. El sistema radical presenta una baja densidad de raíces, pero una penetración profunda. Esta característica es muy importante pues contribuye a que la planta tenga la capacidad de soportar períodos prolongados de sequía. Las raíces fibrosas de la yuca pueden alcanzar profundidades de hasta 2.5 m. La planta adsorbe el agua y los nutrimentos por medio de las raíces fibrosas, capacidad que pierden cuando se transforman en tuberosas. 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, resultando lesiones en la zona de corte, que aceleran el proceso de deterioro fisiológico postcosecha. Cuando el pedúnculo es demasiado largo, resultan mayores pérdidas, pues en el proceso de extracción de las raíces, éste se rompe más fácilmente y la raíz de interés comercial permanece en el suelo.

Unas de las ventajas principales de la yuca es su eficiencia en la producción de carbohidratos en comparación con los cereales y su alto porcentaje de almidón en su materia seca, además es una excelente fuente de ácido ascórbico. La yuca también aporta cierta cantidad de fibra, calcio y fósforo, así como riboflavinas y niacina (**Tabla 1**) (Mahan, 1996).

Tabla 1: Contenido (g) de los componentes nutricionales para 100g de yuca y el porcentaje que cubre de la dosis diaria recomendada.

Componente	**Cantidad en 100 g**	**% DDR***
Energía	148 Kcal	6
Proteína	0.8 g	2
Fibra	1 g	4
Calcio	36 mg	5
Fósforo	48 mg	6
Hierro	1.1 mg	8
Vitamina A	5 ug	1
Tiamina	0.06 mg	0
Riboflavina	0.04 mg	3
Niacina	0.5 mg	3
Acido ascórbico	40 mg	67
* Porcentaje de la Dosis Diaria Recomendada para adultos sanos promedio basado en una dieta de 9500 kJ (2300 kcal). (Wu Leung, 1979.)		

En la **Tabla 2** se muestran distintos indicadores del cultivo de yuca a nivel mundial. Podemos observar como África es el continente con mayor producción mundial, alcanzando el 53.94% del total mundial. Nigeria es el mayor país productor con 45.7 millones de toneladas, que ya de por sí supera a la producción de América y Oceanía juntas. Asia produce el 29.6% de la yuca

mundial, destacando Tailandia con 22.6 millones de toneladas, seguida de Indonesia con 19.9 millones. No obstante, a pesar de las cifras de producción de África, es Asia el continente que consigue un mayor rendimiento de sus plantaciones en kg/ha, quienes obtienen casi el doble de rendimiento al cultivo (18,243 frente a 10,081). El país americano que más yuca produce es Brasil, con 26,713,038 de toneladas, representando el 72.16% de la producción americana (FAO, 2007).

Tabla 2: Producción mundial de yuca.

	Producción-Cantidad (tm)	**Superficie cultivada (ha)**	**Rendimiento (kg/ha)**
América	37,041,521	2,806,835	13,196
África	122,088,128	12,110,694	10,081
Asia	67,011,365	3,673,235	18,243
Oceanía	196,382	17,560	11,183
Total	226,337,396	18,608,324	12,163
Fuente: FAO, 2007			

En Puerto Rico la yuca es cultivada por pequeños agricultores, siendo Isabela el municipio de mayor producción. El cultivo tiene un tremendo potencial de crecimiento y la isla sólo produce el 6% del consumo local. El rendimiento comercial en Puerto Rico puede ser de 150 a 200 qq/cda (E.E.A, 1997).

2.1.1 Producción de la Yuca

Es importante seleccionar el terreno donde se establecerá el cultivo y realizar un análisis de suelos para determinar su textura y composición química. Son necesarios dos cortes de arado, rastrillado y la preparación de bancos o camellones. Durante la preparación del terreno, los drenajes naturales de la finca no se deben arar ni sembrar para evitar la erosión de los suelos. El

cultivo de la yuca es tolerante a ciertas condiciones adversas como la sequía, pero se ve muy afectado por la humedad. Es preferible sembrar en suelos franco arenosos (E.E.A, 1997).

Al momento de establecer un cultivo es muy importante determinar la variedad a sembrar, ya que en este momento se deben tener en cuenta características como: fisiología y adaptabilidad de la variedad a condiciones edafoclimáticas, características físico – químicas y organolépticas de la variedad, utilización de la raíz después de la cosecha, y mercado objetivo (Buitrago, 1990). La yuca se reproduce por estacas de las plantas más productivas y se deben seleccionar estacas libres de plagas y enfermedades de 3 o 4 yemas. Es importante utilizar esquejes o estacas maduros provenientes de plantas de 8 a 12 meses de edad. Los tallos pueden conservarse hasta ocho semanas si no se dividen y se almacenan en un lugar sombreado y ventilado (E.E.A, 1997).

Si no hay riego disponible, se debe sembrar durante la época de lluvia. Con riego suplementario se puede sembrar en cualquier época de año. La densidad de siembra por cuerda debe ser de 3,600 plantas. Los esquejes deben sembrarse a una profundidad de 3 a 4 pulgadas. Deben ser cangres maduros, preferiblemente basales o del área intermedia del tallo de la planta. Se recomiendan sembrar los esquejes en posición verticales o inclinados (E.E.A, 1997).

Según Buitrago (1990), el ataque de plagas y enfermedades a un cultivo trae como consecuencia pérdidas económicas, deterioro de la calidad de las raíces y consecuencias ambientales lamentables. El manejo preventivo contribuye a asegurar la calidad del cultivo. Las buenas prácticas culturales, de nutrición y control de maleza sobre el cultivo, están relacionadas con los rendimientos y la calidad de las raíces al momento de la cosecha. La cosecha se realiza entre los 7 y 18 meses de edad de la planta y su importancia es tal, que si una variedad se cosecha antes de su período óptimo los rendimientos serán bajos; si se cosecha más tarde, el contenido de materia seca y de almidón podrían ser bajos.

La cosecha puede ser manual o mecánica. La cosecha manual es el método más utilizado y demanda de una gran cantidad de esfuerzo físico y mano de obra. Para la cosecha mecánica se han diseñado varias arrancadoras de tiro animal o mecánico, con el fin de sacar las raíces, o por lo menos aflojarlas, para que el arranque manual sea menos arduo. La yuca debe cosecharse cuidadosamente, para evitar causarle heridas a la raíz durante y después de la cosecha. A mayor cantidad de heridas y de tejido expuesto a oxígeno, mayor y más rápido el deterioro fisiológico (E.E.A, 1997).

En cuanto a las variedades de yuca, existen aproximadamente 160 especies silvestres en América. En el norte se encuentran desde el sur de los Estados Unidos, pasando México, América Central y en los países andinos, hasta Chile, en el sur (CIAT, 1979). El género *Manihot*, tiene alrededor de 180 especies, en el cual hay árboles de 15 m de alto. Entre los árboles hay algunos que producen caucho de poco valor industrial. El género se compone principalmente de arbustos y se encuentran desde Arizona en los Estados Unidos, hasta Argentina. *Manihot esculenta* y sus especies afines son todos arbustos de regiones tropicales bajas. *Manihot aesculifolia*, habita en México y América Central. *Manihot rubricaulis* se encuentra en Duranjo (México), *Manihot tristi* habita en el noreste de Suramérica en suelos húmedos (Buitrago, 1990).

Puesto que las raíces constituyen el producto de mayor utilidad, mientras que el follaje generalmente se utiliza sólo en casos aislados, la selección de variedades comerciales casi siempre se ha hecho considerando el rendimiento y buena calidad de las raíces. Existe poca información sobre las variedades destinadas exclusivamente a la producción de un alto volumen de follaje, o con altos rendimientos de raíces y de follaje en forma simultánea (Allen, 2002).

Según la concentración de glucósidos cianogénicos (linamarina) sea más o menos alta, una variedad de yuca puede ser amarga, y altamente tóxica, o puede ser dulce. Sin embargo, la

diferenciación entre variedades amargas y dulces no siempre es exacta, ya que el contenido de glucósidos cianogénicos no es constante; depende no solamente de la variedad sino también de las condiciones ecológica del cultivo. La variedad determina el uso final de la yuca. Para consumo fresco se usa invariablemente una variedad dulce, con bajo contenido de cianuro, en tanto si es para uso industrial o para procesamiento tradicional, se puede usar variedades amargas siempre y cuando se procesen en forma adecuada (Buitrago, 1990).

En Puerto Rico básicamente la yuca es para el consumo fresco por lo cual no se consiguen variedades amargas. Según González y Cardona (2002), en Puerto Rico se encuentran variedades como: P.I. 12902, Jamaica 18, Trinidad 14 – 56, Serrallés, C.M. 3064, C.M. 3311, Abuelo, Chilena.

2.1.2 Procesamiento de la Yuca

Según Balagopagan (2002), la yuca ofrece diferentes opciones de aprovechamiento e igual fuente de mercado como productos que se pueden obtener. Es de suma importancia integrar la producción en línea de cada una de estas opciones, lo cual nos permite aprovechar los efluentes de una línea a otra y así cumplir con el principal objetivo de la agroindustrialización del cultivo; siendo aprovechado el mayor porcentaje de su biomasa. Este mismo factor nos permite reducir los costos de operación, obtener productos competitivos y tener la posibilidad de llegar a mercados como el de la harina de yuca. Existen diferentes opciones de productos, pero no se puede descartar el mercado fresco de raíces de yuca en las plazas mayoristas y supermercados, que aún proveen yuca fresca sin ningún tipo de tratamiento. Una vez el productor haya satisfecho este mercado, o haya determinado en qué parte de este mercado va a participar con su cultivo, es cuando se decide qué líneas de proceso serán aprovechadas. Esta decisión depende del

comportamiento que tenga cada uno de los productos en el mercado (oferta, demanda, precios, etc.).

Los productos posibles de procesamiento agroindustrial que podemos encontrar son: yuca parafinada, yuca pelada y congelada, yuca precocida, croquetas de yuca, "snacks" de yuca, almidón de yuca y harina de yuca. Estos dos últimos son utilizados muy comúnmente en la elaboración de productos de panadería.

Ospina y Ceballos (2002) describen los siguientes pasos de la cosecha y poscosecha de la yuca para la producción de harina.

- Cosecha - Aunque generalmente la cosecha se define como el conjunto de raíces recogidas, el manejo actual de los cultivos confiere a la cosecha una serie de aspectos importantes que van desde la planificación de la cosecha, la manera de retirar las raíces de la planta, su acondicionamiento y selección, hasta el empaque para ser trasladadas al sitio donde se comercializa.
- Manejo poscosecha - Una vez extraídas las raíces se colocan sobre los surcos donde estaban las plantas. El producto cosechado debe llevarse a un sitio de acopio donde esté protegido del sol y del viento hasta el momento de empaque o cargue, para no aumentar el calor interno que acelera procesos fisiológicos y microbianos que deterioran la calidad. En cuanto sea posible, las raíces se someten a un control de calidad durante su cosecha: se despojan de fragmentos de tallo adheridos, se desechan las piedras y los terrones que pueden acompañarlas y se separan las raíces que parezcan deficientes.
- Estimación de rendimiento - La yuca se pesa en una báscula con capacidad para varios bultos a la vez para agilizar esta operación. Pesar la yuca antes y después del secado

permite definir el parámetro de rendimiento, tanto para las variedades de yuca que se utilizan como para el proceso mismo.

- Secado - Uno de los procesos más importantes para la conservación de la raíz es el secado. Esto es necesario para la producción de harinas de yuca. Para esto es necesario exponerlas al aire en una superficie mayor; esto se logra cortándolas en trozos pequeños y uniformes, labor que se puede realizar utilizando una máquina picadora. Los métodos de secado de trozos de yuca más comunes pueden clasificarse de la siguiente manera según el nivel de tecnología alcanzado y su costo. La elección del método depende, en gran parte, de la cantidad de yuca que se secará, de la disponibilidad de capital, del costo de la mano de obra y de la disponibilidad de las fuentes de energía.
    - Secado continúo en secadores rotatorios o de transportador.
    - Secado por tandas en secadores de capa estática, empleando aire caliente forzado.
    - Secado natural (con luz solar) en pisos de cemento o en bandejas.

2.2 EL TRIGO

(*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*. Son plantas anuales de la familia de las gramíneas (monocotiledóneas de tallos cilíndricos), ampliamente cultivadas en todo el mundo. La palabra trigo designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales. El trigo es uno de los tres cereales más producidos globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo (**Figura 2**) es utilizado para hacer, sémola, cerveza, harina, harina integral, además de ser la materia prima principal para la elaboración de panes

(Aykrog y Doughty, 1970). Según Peña (2002), el grano de trigo está compuesto por tres partes esenciales:

- Germen o Embrión - Es la parte del grano que daría lugar a la planta si se encuentra en condiciones adecuadas. Es rico en proteínas de alto valor biológico, ácidos grasos esenciales, vitamina E y B1 y elementos minerales. Constituye el 2.5% del grano.
- El endospermo o albumen – Es la capa interna del grano del trigo y la que representa el mayor porcentaje de mismo (entre el 80 y 90% de peso total). Su componente químico mayoritario es el almidón, seguido de proteínas (responsables del gluten) y en un menor porcentaje los lípidos. Los gránulos de almidón se encuentra en el interior de las células vegetales llamadas plástidios, cuya composición química son: pentosanas principalmente, seguidos de hemicelulosa y beta-glucanos. La función del endospermo es proporcionar substancias de reserva para el crecimiento de la nueva planta.
- Cubierta externa o salvado - Está formada por tres capas que son: epidermis, epicarpio, endocarpio. La siguiente capa es la testa, estructura muy fina que constituye la verdadera envoltura del grano. La última capa es la aleurona y está íntimamente unida al endospermo. Están formadas por celulosa (*fibra vegetal)*, son ricas en vitamina B1, contienen una pequeña cantidad de proteínas y elementos minerales *(calcio, hierro)*. Constituye cerca del 15% del grano.

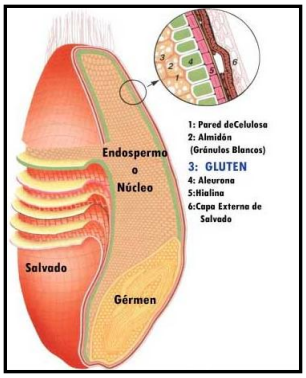


Figura 2: Esquema de un grano de trigo. Peña (2002)

Lelley (1976), clasifica las especies de trigo botánicamente en función del número de cromosomas de las células vegetativas, se reconocen tres series, diploide (14 cromosomas), tetraploide (28 cromosomas), y hexaploides (48 cromosomas). Estas especies se hibridan con bastante frecuencia en el medio natural. El trigo se puede clasificar también según su tiempo de cosecha; puede ser trigo invernal y trigo primaveral, se puede clasificar según la textura del endospermo; trigo vítreo y trigo harinosos, según la dureza del endospermo; trigos duros y trigos blando, según su fuerza; trigos fuertes y trigos flojos (Garza, 2007). Según Henao (2004), los tipos de trigo más importantes en panificación 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 harinas para torta y galletería.

Durum- Es el más duro de todos los trigos, tiene alto contenido de proteínas, de esta variedad se extrae la sémola y sémolina para la fabricación de pastas.

2.2.1 Producción Mundial de Trigo

Tabla 3: Principales países productores de trigo

País Productor	Cantidad en millones de toneladas
Unión Europea	135.63
China	114.5
India	80.71
Rusia	42.5
Estados Unidos	60.51
Canadá	22.2
Pakistan	22.60
Australia	23.0
Ucrania	17.0
Turquía	17.0
Irán	14.40
Kazajstán	11.5
Argentina	12.0
Egipto	8.6
Uzbekistán	6.5
Brasil	5.15
Otros países	47,64
Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2010	

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la producción mundial de trigo 2010/11 es de 641.44 millones de toneladas, donde los países de la Unión europea son los principales productores con 135.63 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 (Henao, 2004). En Suramérica el principal productor de trigo es Argentina, produciendo anualmente 12.0 millones de toneladas. La **Tabla 3** detalla los principales países productores de trigo para el año 2010/11.

El trigo en Puerto Rico, mayormente es importado de Estados Unidos y es destinado básicamente para la industria alimentaria (Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2010).

2.3 LA HARINA

Harina es el polvo que se obtiene de moler las semillas de los cereales o de algunos tubérculos y legumbres, y también al secar y moler ciertos productos animales (The bread and flour regulation, 1998). Según Madrid (1999), las harinas son las materias básicas para la preparación del pan, galletas, pastas alimenticias, etc. Se obtienen por la molienda del trigo limpio u otros cereales, leguminosas y tubérculos. La harina sin otro calificativo se entiende siempre como procedente del trigo. Cuando se trata de procedentes de otros productos se debe indicar (harina de maíz, harina de cebada, etcétera).

La harina usada en panificación debe ser suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños de rancidez, moho, acidez, amargor o dulzor. Debe presentar una apariencia uniforme, sin puntos negros, libre de cualquier defecto, de insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales. Desde el punto de vista comercial, las harinas se clasifican de la siguiente forma:

- Harina enriquecida – Es aquélla a la que se le ha adicionado algún producto que eleve su valor nutritivo (leche en polvo, azúcares, etcétera).
- Harina acondicionada – Es la que mediante tratamientos físicos o adición de ciertos productos (ácido ascórbico, fosfatos, etc.) es mejorada en sus características organolépticas y plásticas.
- Harina integral – Es la obtenida por la trituración del cereal, sin separación de ninguna parte del mismo.

- Harinas malteadas – Son las obtenidas a partir de cereales que hayan sufrido un malteado (tueste) previo, y se clasifican según el contenido de almidón soluble en agua.
- Harinas dextrinas – son las que por tratamiento térmico o adición de una pequeña cantidad de ácido no perjudicial contiene dextrina. Las dextrinas son oligosacáridos de bajo peso molecular producidas por hidrólisis del almidón.
- Harina mezclada o compuesta – Es el resultado de la mezcla de harinas diferentes, debiendo indicarse cuáles son las harinas integrantes. En la presente investigación se utilizó harina de trigo y harina de yuca para elaborar una harina compuesta.

2.3.1 Harina de Trigo

Por harina de trigo se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX STAN 152-1985). La harina de trigo es la materia prima por excelencia de todos los proceso panarios.

Henao (2004), describe los siguientes pasos para la elaboración de harina de trigo:

- Limpieza – Los trigos llegan a los molinos con bastante suciedad, mezclado con materiales indeseables como piedras, semillas, metales, sustancias fecales de pájaros entre otras. Esta suciedad puede representar un 1.5% del peso total de trigo por lo tanto estas impurezas deben ser separados del trigo por medio diferentes sistemas de limpieza compuestas de presión de aire o haciendo uso de tamices.

- Lavado – El trigo es llevado en un tornillo sin fin a una lavadora y secadora centrifuga, donde el trigo va aumentando su humedad en 2-3%; lo cual facilita el trabajo de la molienda lo que permite que el salvado se desprenda más fácilmente del endospermo.
- Molienda – La eficiencia de este proceso juega un papel importante en suministrar a la industria panadera harinas de calidad específica. La molienda puede ser en seco, en las que se separan las partes anatómicas del grano, o húmeda, en la que además se separan algunos constituyentes como lo son el almidón, las proteínas y las fibras. En el proceso de molienda se separa el salvado, y por lo tanto, la harina de trigo será más fácilmente digerible, aunque por el contrario más pobre en fibra.

2.3.1.1 Composición de la Harina de trigo

La harina de trigo está formada por almidón (70-75%), agua (14 %) y proteínas (10-12%), las cuales inciden de manera directa y significativa en las propiedades de la masa y el volumen final del pan. Además está compuesta de polisacáridos no provenientes del almidón (2-3%) especialmente arabinoxilanos y lípidos (2%) (De la Vega, 2009). La composición de la harina de trigo destinada a la elaboración de pan se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Composición de la harina de trigo para panificación

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	70 – 75
Agua	14
Proteínas	10 – 12
Polisacáridos no del almidón	2 – 3
Lípidos	2

Fuente: De la Vega, 2009

Las proteínas de la harina se dividen en soluble e insolubles. Entre las solubles se encuentran la albúmina, globulinas, peptonas y proteasas. Estas corresponden al 1% de la cantidad total. Entre las insolubles en agua están la gliadina y gluteinas que se encuentran en una relación 50/50 en el

trigo. Las gliadinas (aporta elasticidad) representan un grupo sumamente polimórfico de proteínas monoméricas con pesos moleculares que varían de 30,000 a 80,000. Las gluteinas (aporta la extensibilidad) son una mezcla heterogénea de polímeros con pesos moleculares que varían desde aproximadamente 80,000 hasta varios millones de kDa. Estas dos proteínas conforman la estructura del gluten, sustancia elástica y gomosa que resulta de la hidratación de las dos proteínas insolubles y que se forman en el proceso de amasado proporcionando a las masas la características de plasticidad que se requieren a la hora de preparar pan (Henao, 2004).

Las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas del gluten le confieren a la masa una funcionalidad única que la diferencia del resto de las proteínas de otros cereales, la masa de harina de trigo se comporta desde el punto de vista reológico como un fluido viscoelastico, ésta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible (De la Vega, 2009).

2.3.1.2 Tipos de harinas de Trigo

Las harinas de trigo se pueden clasificar según el tipo de trigo de donde se extraigan, pueden ser: extraduras, duras y blandas. Las extraduras se destinan a la fabricación de masas donde no se necesita fermentación como lo son las pastas. Las harinas duras son indicadas para aquellas masas que deben fermentar y adquirir volumen, especialmente si contienen grasas, la cual contrarrestan las propiedades de las proteínas. Así que difícilmente fermentaría sin quebrarse. Las harinas blandas son las harinas de bajo contenido de proteínas y son destinadas básicamente a la fabricación de bizcochos, galletas y tortas, y provienen de trigos blandos con baja cantidad de proteínas (FAO, 2002).

2.3.2 Harina de Yuca

Según Salas y Guzmán (1995), la harina de yuca es un producto blanco, fino, que se obtiene del secado y molienda de la raíces de yuca. Este producto contiene, además de almidón, proteínas, azúcares, fibra y cenizas que lo convierten en un buen sustituto de la harina de trigo, en productos de panificación, condimentos, pastas y embutidos. De la harina de yuca seca o tostada, se fabrica particularmente en algunas partes del mundo productos comestibles como lo es casabe, mañoco, y gari. En Brasil una gran proporción de yuca es consumida como fariña en la fabricación de diversos platos típicos (Henao 2004).

Una harina de yuca de buena calidad debe tener un porcentaje de humedad de 13.0 %. Si la harina es fina, al menos el 90% deberá pasar por un tamiz de 0.60 mm; si es gruesa, al menos el 90% deberá pasar por un tamiz de 1.20 mm (CODEX STAN 176-1989 (Rev. 1 - 1995)).

2.3.2.1 Composición de la harina de yuca

La harina de yuca es rica en carbohidratos; un producto alimenticio no balanceado cuando se trata aisladamente (**Tabla 5**). Se trata de un alimento concentrado, formado en su mayoría por almidones y casi privado de proteínas. Es interesante resaltar que contiene muy poca cantidad de fibra, lo que permite deducir que se trata de un alimento dotado de un elevado coeficiente de digestibilidad.

Tabla 5: Composición proximal de la harina de Yuca

Componente	Harina de yuca g/100g
Proteína	2.0
Grasa	0.61
Ceniza	2.58
Humedad	7.97
Fibra Cruda	1.20
Carbohidratos	85.64

Fuente: Benítez *et al*., 2008.

En cuanto a los minerales y vitaminas, además de ser variables, son pobres (Benítez *et al*., 2008).

2.4 EL PAN

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Bourgeois y Larpent, 1995). Al principio era una pasta plana, no fermentada elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes. Parece que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan ligero y de mejor gusto. Existen bajorrelieves egipcios (3000 años a de c) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Aleixandre, 1996).

Los galos, después de Plinio, utilizaron la espuma de la cerveza para elaborar pan. Esta técnica fue olvidada y redescubierta en el siglo XVII convirtiéndose en práctica habitual en Europa hasta 1800 (Fellows, 1993; Bourgeois y Larpent, 1995).

En el siglo XIX las levaduras de las cervecerías fueron reemplazadas por las procedentes de las destilerías de alcohol de cereales. A finales del siglo XIX, a raíz de los trabajos de Pasteur, se desarrolla una industria específica para la producción de levaduras que culmina en 1920 con un moderno método de producción de levaduras de panadería (*Saccharomyces cerevisiae)*, inventado por el danés Soren Sak y denominado "Método Zero" ya que evita la producción de etanol (Bourgeois, 1995).

Durante los siglos XIX y XX los oficios familiares dan paso a la construcción de fábricas que incrementa la capacidad de producción de alimentos básicos, entre ellos el pan y los productos de panadería llegándose a nuestros días a dos tendencias hasta cierto punto contrapuestas. Por un lado los cambios de estilo de vida y la difusión de los congeladores y de los hornos microondas han llevado un aumento de la demanda de alimentos (entre ellos el pan) de más cómoda preparación y adecuados para su almacenamiento en congeladores. Por otro lado, existen también una cierta demanda de alimentos lo más parecido posible al alimento tradicional (Aleixandre y García, 1999). Estas dos tendencias han tenido una repercusión importante en la panificación moderna.

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre, 2002). Mesas *et al*., 2002, define los siguientes tipos de panes:

- Pan común: Se define como el de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo, sal levadura y agua, al que se le puede añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados. Dentro de este tipo se incluyen los siguientes: Pan bregado, de miga dura, español o candelal; es el elaborado con cilindros refinadores. Pan de flama o de miga blanca, es el obtenido con una mayor proporción de agua que el pan bregado y normalmente no necesita del uso de cilindros refinadores en su elaboración.
- Pan especial: Es aquel que, por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.), por no llevar sal, por no haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada, no corresponde a la definición básica de pan común. Ejemplos de pan especial

son los tres siguientes: Pan integral es aquel en cuya elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituración del grano completo sin separar ninguna parte del mismo. Pan Viena o francés, es el pan de flama que entre sus ingrediente incluye azúcares, leche o ambos a la vez. Pan de Molde o americano, es el pan de corteza blanda en cuya cocción se emplean moldes. Pan de cereales, elaborado con harinas de trigo más otra harina en proporción no inferior al 51%. Pan de huevo, pan de leche, pan de miel, pan de pasa, etc., son panes especiales a los que se añade algunas de estas materias primas, recibiendo el nombre de la materia prima añadida.

Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que viene determinado principalmente por el tipo de levadura utilizado (Tejero, 1995; Callejo, 2002), son los siguientes:

- Directo - Se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de 55 minutos antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.
- Mixto - es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial. Requiere de un reposo previo a la división de la masa de sólo 10 – 20 minutos. Es el más recomendado cuando la división de la masa se hace por medio de una divisora volumétrica.
- Esponja o "poolish" - Es el sistema empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo el pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40 % del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede con el método directo.

Con las particularidades propias de cada sistema de elaboración y de cada tipo de pan, el proceso de elaboración consta de las siguientes etapas (Quaglia, 1991; Kamel, 1993; Guinet y Gordon, 1996; Cauvain y Young, 1998).

- Amasado - Sus objetivos son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de las masas así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras.
- División y pesado - Su objetivo es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano. Si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica, pesando a mano un fragmento de masa múltiplo del número de piezas que salen de la divisora.
- Heñido o boleado - Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la estructura de la masa tras la división. Puede realizarse a mano, si la baja producción o tipo de pan así lo aconsejan.
- Reposo - Su objetivo es dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado.
- Formado - Su objetivo es dar la forma que le corresponde a cada tipo de pan. Si la pieza es redonda el resultado del boleado proporciona ya dicha forma. Si la pieza es grande o tiene un formato especial suele realizarse a mano.
- Fermentación: Consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que trasforman los azúcares fermentables en etanol, CO_2 y algunos productos

secundarios. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO_2, para que la masa se esponje al ser retenido y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las trasformaciones que sufren los componentes de la harina. En un sentido amplio, la fermentación se produce durante todo el tiempo que transcurre desde que se han mezclado todos los ingredientes (amasado) hasta que la masa ya dentro del horno alcanza unos 50 º C en su interior.

- Corte - Operación intermedia que se hace después de la fermentación, justo en el momento que va a ser introducido en el horno. Consiste en practicar pequeñas incisiones en la superficie de las piezas. Su objetivo es permitir el desarrollo del pan durante la cocción.
- Cocción - Su objetivo es la trasformación de la masa fermentada en pan, lo que conlleva evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de la corteza. La cocción se realiza en hornos que van desde los 220 a los 260 º C, aunque el interior de la masa nunca llegue a rebasar los 100 ºC.

2.5 ESTUDIOS DE PANIFICACION REALIZADOS CON HARINA DE YUCA - TRIGO

Estudios realizados por Salazar y Álvarez (2001), evaluaron las características objetivas y subjetivas de panes elaborados a partir de harinas compuestas de trigo, yuca dulce, y subproductos amiláceos del maíz. Encontraron que sustituciones de harina de trigo hasta un 50% por harina de yuca y derivados de maíz permitió desarrollar productos de panificación con características reológicas y sensoriales aceptables por el consumidor. Otros estudios han

experimentado diferentes edades de cosecha entre 8 y 14 meses, evaluándose también el porcentaje de sustitución de la harina de yuca. Los resultados obtenidos determinaron que con una yuca de 10 meses de edad, para la obtención de harina de yuca procesada, con o sin cascara, fue posible elaborar un pan, fabricando una mezcla de harina de trigo (85%) y harina de yuca (15%), con características similares a las del pan patrón (100% harina de trigo). 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 del patrón con trigo, que se utiliza en la producción de panes a escala comercial (IIT. No 1, 1986).

En países como Cuba y Filipinas, la harina de yuca en panificación se ha utilizado y obligado legalmente. En Venezuela, el pan a base de harina de trigo y de yuca, ha sido elaborado desde hace mucho tiempo, hasta un 60% de harina de yuca. En Perú se realizaron estudios de panificación con mezclas de harinas de trigo utilizando tres variedades de yuca, donde se observó que las características físicas del pan se mantuvieron en condiciones aceptables hasta la proporción de 10% de harina de yuca, siendo 15-20% aceptables. A mayor proporción de harina de yuca, disminuyó el volumen de pan, la textura se hizo inferior y se acentuó el color 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 (Henao, 2007). Investigaciones realizadas por el Instituto de Agricultura Tropical (IITA) ubicado en Nigeria, han demostrado la posibilidad de obtener pan utilizando 100 % de harina de yuca y también con mezclas de harina de soya y de trigo. Los ensayos de panificación han sido realizados obteniendo pan de molde y se han presentado resultados cuyo producto final es diferente a un pan solo de trigo, sin embargo se continúan mejorando las

técnicas de panificación y desarrollando nuevos productos a partir de yuca, tubérculos de la alimentación básica en África (Onabolu *et al*., 1998). Estudios realizados por Henao (2007) en Colombia, evidencia que existe una ventaja económica en la producción de pan utilizando harinas compuestas de trigo-yuca para el sector panadero, ya que la harina de yuca podría tener un costo promedio 20 % más bajo que la harina de trigo y porque se obtiene un rendimiento de 1.4% mayor en la masa final dada la mayor absorción de agua. El sector agrícola también se beneficia porque, si existieran unidades de producción de harina de yuca para consumo humano, y estimando una sustitución entre 10-15 % de la harina de trigo destinada a panificación, se podría reducir la cantidad de trigo importado y asegurar parte de la producción de yuca para la obtención de un producto de mayor valor agregado en el mercado.

Informes realizados por la FAO (2000), sobre la yuca en África, dan cuenta que sustituir un 15% de harina de trigo por harina de yuca podría ahorrarle a Nigeria casi 15 millones de dólares anuales de divisas. Muchos gobiernos podrían ahorrar dinero si invirtieran en serio para desarrollar su industria comercial de la yuca, lo cual ayudaría a impulsar la agricultura y las industrias locales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención de ingredientes

La harina de trigo, sal, azúcar, gluten y margarina utilizados en esta investigación se obtuvieron de los centros comerciales o mercados públicos de la ciudad de Mayagüez. También se utilizó harina de yuca disponible comercialmente como uno de los tratamientos a considerar.

3.2 Elaboración de la harina de yuca

La yuca para elaboración de la harina es del tipo dulce variedad CM 3311 con 9 meses de de haber sido plantada. Esta fue provista por la Estación Experimental de Corozal de la Universidad de Puerto Rico. Una vez en la planta piloto del Centro de Innovación y Tecnología Agroindustrial "Alfredo Ramírez de Arellano y Rossel" (CITAI), se procedió a lavarlas con agua potable a presión para remover toda la tierra y desinfectarlas con una solución a 200 ppm de hipoclorito de sodio durante 10 minutos por inmersión. Después de un enjuague se pelaron manualmente, utilizando un cuchillo de acero inoxidable en condiciones asépticas. Posteriormente la yuca se cortó en pedazos de aproximadamente 2 mm de espesor (para facilitar secado) y se secaron en un horno convencional "Blue M, modelo POM – 206C-1" a 75 ± 2 ºC durante 5 horas, hasta obtener una humedad de aproximadamente 13 %. Una vez seca se procesó en un molino de disco "Glenmi modelo 91-1528 de 1.5 HP", para obtener la harina, la cual se pasó por una tamizadora "CSM Scientific modelo Sive Shaker 18480" equipada con un tamiz # 45 con un tamaño de ojo de 355 micrómetros hasta obtener un producto de buenas condiciones y características (Salas y Guzman, 1995).

En otro de los tratamientos se utiliza harina de yuca siguiendo el procedimiento descrito sin incluir el proceso de pelado.

3.3 Preparación harinas compuestas

Para la preparación de las harinas compuestas se tomaron como base las reportadas por Defloor *et al*., 1991. Los porcentajes de harina de yuca fueron variados desde 12.5% a 50%. Las harinas de yuca fabricadas en el laboratorio (sin cáscara y con cáscara) y la comercial fueron enriquecidas con 12% de harina de gluten. La **Tabla 6** muestra las harinas compuestas fabricadas.

Tabla 6: Harinas compuestas fabricadas en el laboratorio

Tratamientos	**% HY enriquecida**	**% HT**
0/100 (Control)	0	100
HY comercial (HYC)		
12.5/87.5	12.5	87.5
25/75	25	75
37.5/62.5	37.5	62.5
50/50	50	50
HY sin cáscara (HYSC)		
12.5/87.5	12.5	87.5
25/75	25	75
37.5/62.5	37.5	62.5
50/50	50	50
HY con cáscara (HYCC)		
12.5/87.5	12.5	87.5
25/75	25	75
37.5/62.5	37.5	62.5
50/50	50	50

HY= Harina de Yuca
HT= Harina de Trigo

En la fabricación de cada una de las harinas compuestas, tanto la harina de yuca comercial, la harina de yuca sin cáscara y la harina de yuca con cáscara previamente enriquecidas, se mezclaron respectivamente con harina de trigo en una mezcladora “Kitchenaid modelo K5SS”

para obtener una mezcla homogénea. Posteriormente se empacaron en bolsas de polietileno, las cuales fueron guardadas en nevera hasta su uso en la elaboración de los panes.

3.4 Elaboración de panes.

Para la elaboración de los panes se trabajó con el método descrito por Pacheco y Testa (2005). Los panes elaborados en esta investigación fueron del tipo especial y se usó el Método Directo, metodología común utilizada en la elaboración de panes. La formulación utilizada se observa en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Formulación para elaboración de panes

Ingredientes	Cantidad (g)
Harina	100.0
Azúcar	12.0
Margarina	8.0
Levadura	6.0
Sal	2.0
Nota: Se añadió agua a razón de 50 a 55% del peso total de la harina.	

En el proceso de fabricación de los panes, inicialmente se pesaron cada uno de los ingredientes descritos en la **Tabla 7** en una balanza digital "Sartorius modelo ELT 601", con una precisión de 0.1 g. Posteriormente se mezclaron en una mezcladora "Kitchenaid modelo K5SS" por 6.0 minutos y se amasó en el mismo equipo por espacio de 12 minutos hasta obtener una masa consistente. Luego del amasado, la masa fue dispuesta en bandejas de acero inoxidable y cubierta con un paño para dar inicio a una primera fermentación que se extendió por un tiempo de 55 minutos a temperatura de salón. Al cabo de la primera fermentación, se pesaron esferas de aproximadamente 30 gramos y, utilizando un rodillo, fueron aplanadas para posteriormente formar panes en forma de rollitos, los cuales se sometieron a una segunda fermentación por 2

horas a temperatura de salón. Finalmente, se introdujeron en el horno a 175 ^{O}C por 12 minutos. Una vez horneados se empacaron en bolsas de polietileno, se sellaron y se dejaron a temperatura de salón.

3.5 Diseño Experimental

Para el diseño experimental (**Tabla 8**) se tienen en cuenta dos variables: 1) la proporción HY/HT, para lo cual se tienen 4 niveles representados así, 12.5/87.5, 25/75, 37.5/62.5, 50/50; 2) la procedencia de la harina de yuca, teniendo en este caso harina de yuca comercial, harina de yuca preparada en el laboratorio sin cáscara y la harina de yuca preparada en el laboratorio con cáscara, representando ésto 3 niveles. Se contará también con un control, el cual estará representado por 100% harina de trigo para hacer las respectivas comparaciones. Los factores a mantener constantes son: formulación, procedimiento de elaboración de los panes, tipo de pan y temperatura del horno.

Tabla 8: Diseño del experimento

Variables	Niveles
Procedencia de la Harina	3
Niveles de sustitución de harinas de yuca	4
Modelo factorial	3 x 4
Número de tratamientos	12

Nota: Se incluirá un control (harina de trigo 100%) para hacer las comparaciones respectivas, por lo tanto el número de tratamientos que realmente se tienen son 13 en total.

3.6 Análisis de las harinas

Las harinas utilizadas en la presente investigación (harina de trigo, harina de yuca comercial, harina de yuca sin cáscara, harina de yuca con cáscara) fueron evaluadas en base a las isotermas de sorción, composición proximal y color.

3.6.1 Determinación de las Isotermas de Sorción

Para la determinación de las isotermas de sorción se pesaron por triplicado 3 g de cada harina en un plato metálico y fueron puestas en un desecador que contenía agua, para crear un ambiente de humedad relativa alta. Las muestras se dejaron herméticamente cerradas y se tomaron medidas de actividad de agua (Aw) y peso de la muestra a las 0 h, 6h, 12h, 24h, 36h 48h, 72h, 5d, 7d y 10d. Posteriormente se calculó la humedad.

La actividad de agua (Aw) se midió usando un higrómetro "Aqua LabCx-2®" y la humedad se determinó según la AOAC (1990).

Los datos experimentales obtenidos se modelaron con la ecuación de GAB, (Guggenheim, Anderson y de Boer) (**Ecuación 1**). La calidad de los ajustes del modelo propuesto se evaluó por medio del coeficiente de correlación lineal (R^2) el que debe ser superior a 0.84 para conseguir un buen modelado de los datos experimentales (Toloba., *et al* 2004). Este modelo derivado de aproximaciones cinéticas y mecánicas estadísticas (GAB), es conocido como descriptor de datos de sorción en alimentos y otros materiales biológicos y usualmente se utilizan para obtener estimaciones de los valores de humedad monocapa (Xm) (Rahman, 1995).

$$Xw = \frac{Xm\ .\ C\ .\ k\ .\ Aw}{(1 - k.Aw).(1 + (C - 1).k\ .Aw)}$$

Ecuación 1: Modelo de GAB

Xm: Humedad de producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por molécula de agua.

C: Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.

K: Factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Aw: Actividad de agua del alimento obtenida experimentalmente.

Xw: Humedad del alimento obtenida experimentalmente.

Para determinar la cinética de secado, muestras de 3 g por triplicado de cada una de las harinas, fueron dispuestas en un deshidratador marca "Gardenmaster Food Dehydrator, model FD-1010PC" a una temperatura de 50 ^{O}C.

Los primeros 10 minutos las muestras se sacaron cada 2 minutos del deshidratador y posteriormente se tomaba el peso. Después de 10 minutos las muestras fueron extraídas cada 5 minutos, hasta aproximadamente 25 minutos. Al final se calculó la humedad para cada tiempo según la AOAC (1990).

3.6.2 Análisis proximal de harinas

Los análisis químicos de las harinas se realizaron por triplicado, según AOAC (1990) para la humedad, proteína, cenizas, grasas, fibra cruda y carbohidratos. Para la humedad se utilizó el método por desecación en estufa Nro. 925.10. La ceniza por el método Nro. 923.03. La Proteína (N X 6.25) por el método 960.52. La grasa por extracción con solvente éter de petróleo de grado analítico, método Nro. 920.39. Para la fibra cruda se utilizó el método 962.09. Los carbohidratos

totales se calcularon restando a 100 la suma de los porcentajes de ceniza, proteína, grasa y fibra cruda, para obtener valores en base seca.

3.6.3 Análisis de color de las harinas.

El color de las harinas utilizadas se determinó por medio de un colorímetro "HunterLab-Miniscan XE" (Figura 6) configurado para leer los parámetros "L", "a" y "b" con un observador de 10º e iluminante D65. El colorímetro fue calibrado utilizando un plato blanco y uno negro que emplea los estándares de calibración X, Y y Z, los cuales equivalen respectivamente a los valores 79.8, 84.6 y 90.4. Cada parámetro fue leído de acuerdo a la siguiente escala: "L" indica luminosidad o claridad del color (0=negro, 100= blanco), "a" (-a = verde, a = rojo) y "b" (-b = azul, b = amarillo). También se determinó el Ángulo HUE o tono de color [$H^O = \tan^{-1}(b/a)$] y croma o saturación del color $[(a^2 + b^2)]^{1/2}$ (McGuirre, 1992). En el experimento se realizaron tres réplicas cada una de ellas con tres repeticiones para cada tipo de harina.

3.7 Análisis de la masa

Las masas crudas se evaluaron en base al pH, actividad de agua (Aw) y crecimiento.

3.7.1 pH

En la determinación del pH de las masas, se aplicó el método 02-52 de la AACC (AACC, 2000). Se utilizaron 10 gramos de muestras por cada tratamiento, y la medida se tomó después del amasado. Se realizaron 3 réplicas, cada una con tres repeticiones. El instrumento utilizado fue un metro de pH "Orion 3 Star Thermo Scientific modelo 1212000" (**Figura 3**) previamente estandarizado con soluciones amortiguadoras de pH 4.00, 7.00 y 10.00

Figura 3: Metro de pH Orion 3 Star Thermo Scientific, tomado de www.thermo.com

3.7.2 Actividad de agua (Aw)

La actividad de agua se midió en un higrómetro "Aqua LabCx-2®" (**Figura 4**). Las medidas se tomaron después del amasado. Las muestras se colocaron en los platos de medición del instrumento, cubriendo toda la superficie del fondo del plato sin que la muestra sobrepasara la mitad de la altura del mismo. Se realizaron tres réplicas, cada una con tres repeticiones.

Figura 4: Higrómetro Aqua LabCx-2®, tomado de www.aqualab.com

3.7.3 Crecimiento de la masa

El crecimiento de la masa se evaluó para la segunda fermentación. Para esto se colocaron 8.0 g de cada tipo de masa dentro de una probeta graduada de 100.00 mL, cubriendo la superficie de la probeta con un paño húmedo para evitar resequedad en la corteza de la masas. Posteriormente se registró el volumen ocupado por la muestra y se tomaron medidas de crecimiento de las masas (mL) cada 30.00 minutos hasta los 120.00 minutos. Se realizaron tres réplicas, cada una de ellas con tres repeticiones.

3.8 Análisis de los panes

Los panes fueron evaluados de acuerdo a sus propiedades físicas.

3.8.1 Volumen, masa, volumen específico, % pérdida de peso en el horneado, crecimiento durante el horneado

Los panes elaborados con los distintos tratamientos fueron evaluados de acuerdo a su masa, volumen, volumen específico, porcentaje de pérdida de peso y crecimiento durante el horneado. La masa de los panes se determinó antes y después de horneados utilizando una balanza digital "Sartorius modelo ELT601" con una precisión de 0.1 g. Se elaboraron panes de aproximadamente 30 g. El volumen se determinó antes y después del horneado, con el propósito de determinar por diferencia cuánto crecían los panes durante este proceso. El método utilizado para determinar el volumen fue el de desplazamiento (AACC, 1984), usando un recipiente de volumen conocido y utilizando arroz como "fluido". El pan fue colocado al interior del recipiente, del cual ya sabíamos la cantidad de arroz necesaria para llenarlo completamente; esa cantidad se dejó caer sobre el pan (dentro de recipiente) hasta taparlo completamente, la cantidad de arroz que no se utilizó corresponde al volumen desplazado por el pan, el cual fue medido en una probeta de 100.00 mL. El volumen específico de los panes se obtuvo haciendo uso de la **Ecuación 2**.

$$Volumen\ específico = \frac{Volumen\ del\ pan\ horneado\ (mL)}{Masa\ del\ pan\ horneado\ (g)}$$

Ecuación 2: Volumen específico de los panes.

Se evaluó el porcentaje de pérdida de peso durante el proceso de horneado, para ello se utilizó la **Ecuación 3**.

$$\%\ pérdida\ de\ peso = \frac{(Peso\ antes\ del\ horneado\ (g) - peso\ después\ del\ horneado\ (g))}{Peso\ antes\ del\ horneado\ (g)}$$

Ecuación 3: Porcentaje de pérdida de peso de los panes.

El porcentaje de crecimiento durante el horneado, fue evaluado utilizando la **Ecuación 4**:

$$\%\ de\ crecimiento\ = \frac{V.después\ de\ horneado\ (mL) - V.antes\ de\ horneado\ (mL)}{V.antes\ del\ horneado\ (mL)}$$

Ecuación 4: Porcentaje de crecimiento de los panes durante el horneado

A todos los tratamientos se le realizaron 3 réplicas con 5 repeticiones cada una.

3.8.2 Evaluación de la Textura

La evaluación de la textura se llevó a cabo en un texturómetro "Texture Technologies Analyzer-Stable Micro System Model TA-XT2" (**Figura 5**) equipado con un cilindro de penetración de 5 mm de diámetro. La prueba se realizó a una distancia de compresión de 1 cm, a velocidad de 0.5cm/seg y una fuerza de disparo de 50 g. Para el análisis se elaboraron panes de 30 g elaborados de la misma forma (para mantener la geometría de las muestras) de cada uno de los tratamientos en estudio y fueron evaluados en los días 1, 5, 9 y 13. Se tomaron los datos de fuerza máxima (dureza) la cual fue expresada en gramos de Fuerza (g) y razón, fuerza ciclo 1/fuerza ciclo 2 (esponjosidad). De cada uno de los tratamientos se elaboraron 5 panes para ser evaluados cada día, y se realizaron dos réplicas.

Figura 5: Texturometro TA-XT2, tomado de www.texturetechnologies.com.

3.8.3 Color de la miga

El color de la miga se determinó por medio de un colorímetro "HunterLab- Miniscan XE" (**Figura 6**) configurado para leer los parámetros "L", "a" y "b" con un observador de 10º e iluminante D65. El colorímetro fue calibrado utilizando un plato blanco y uno negro que emplea los estándares de calibración X, Y y Z, los cuales equivalen respectivamente a los valores 79.8, 84.6 y 90.4. Para la evaluación de color se elaboraron panes de 30 g, a los cuales se les realizó un corte transversal para así tomar la lectura de la miga, los días 1, 5, 9 y 13. Cada parámetro fue leído de acuerdo a la siguiente escala: "L" indica luminosidad o claridad del color (0=negro, 100= blanco), "a" (-a = verde, a = rojo) y "b" (-b = azul, b = amarillo). También se determinó el Ángulo HUE o tono de color [$H^o = \tan^{-1}(b/a)$] y croma o saturación del color [$(a^2 + b^2)]^{1/2}$ (McGuirre, 1992). En el experimento se realizaron dos réplicas cada una de ellas con cinco repeticiones para cada tratamiento.

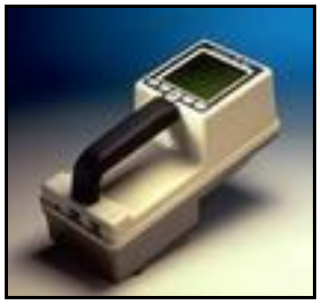


Figura 6: Colorímetro HunterLab – Miniscan XE, tomado de www.hunterlab.com.

3.8.4 Aw de la miga de pan

La actividad de agua de la miga del pan se midió en un higrómetro "Aqua LabCx-2®". Las medidas se tomaron los días 1, 5, 9, 13. Las muestras se colocaron en los platos de medición del instrumento, cubriendo toda la superficie del fondo del plato sin que la muestra sobrepasara la mitad de la altura del mismo. Se realizaron dos réplicas, cada una con cinco repeticiones.

3.9 Determinación de la presencia de hongos

Para la determinación de la presencia de hongos se elaboraron panes de 30 gramos de cada tratamiento. La panes fueron empacados en bolsas de polietileno y dejados a las mismas condiciones de almacenamiento, esto es, lejos de humedad, posibles fuentes de contaminación y a temperatura de laboratorio. Los panes fueron observados diariamente hasta la aparición de hongos. Se realizaron tres réplicas, cada una con tres repeticiones.

3.10 Análisis químicos de panes

Los análisis químicos de cada uno de los panes evaluados se realizaron por triplicado, según AOAC (1990) para la humedad, proteína, cenizas, grasas, fibra cruda y carbohidratos. Para la humedad se utilizó el método por desecación en estufa Nro. 925.10. La ceniza por el método

Nro. 923.03. La Proteína (N X 6.25) por el método 960.52. La grasa por extracción con solvente éter de petróleo de grado analítico, método Nro. 920.39. Para la fibra cruda se utilizó el método 962.09. Los carbohidratos totales se calcularon restando a 100 la suma de los porcentajes de ceniza, proteína, grasa y fibra cruda, para obtener valores en base seca.

3.11 Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial para los panes compuestos de harina de yuca y de trigo se realizó usando una prueba de ordenamiento simple, donde el atributo a evaluar fue la preferencia (**Apéndice E**). Para ello se empleó un panel de 40 personas no adiestradas. Se le dieron muestras de panes de 12 g los cuales fueron mantenidos a temperatura ambiente hasta el momento de la evaluación sensorial. A cada muestra se le asignó un código aleatorio de 3 dígitos para identificar los tratamientos.

3.12 Análisis Estadístico

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico Infostat V 3.0. Cuando los efectos resultan ser significativos ($p < 0.05$) se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de las medias (Benítez *et al*., 2008). Para el análisis de los datos del panel sensorial se utilizó el método Friedman.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados del desarrollo de la fase experimental, incluyendo la caracterización de las harinas, masas y los resultados de ensayo de panificación, realizando el respectivo análisis y discusión.

4.1 Análisis de las harinas

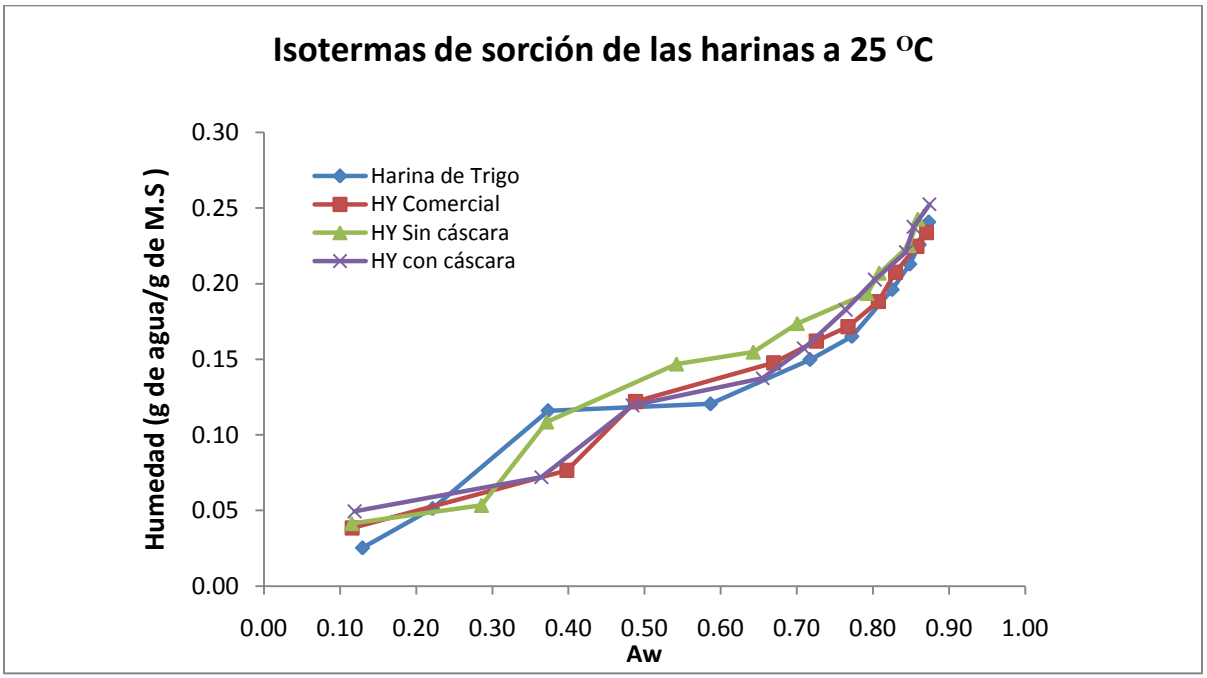
4.1.1 Isotermas de sorción

La isoterma de sorción de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica del agua del mismo, ya que en el equilibrio, este último parámetro es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto. Las isotermas son importantes para el análisis y diseño de varios procesos de transformación de alimentos, tales como secado, mezcla y envasado de los mismos. Además, son importantes para predecir los cambios en la estabilidad de los alimentos y en la elección del material de empaque adecuado (Zhang, 2006).

La **Gráfica 4.1** muestra las isotermas de sorción para cada una de las harinas tratadas en esta investigación. Se puede observar que todas ellas presentan una forma sigmoidea o tipo S, característico para estos tipos de alimentos. Además, a actividades de agua por encima de 0.65, los puntos se encuentran más cercanos, lo cual nos da un indicativo de que las harinas están llegando a un equilibrio de saturación con el medio que lo rodea. El valor de la monocapa según GAB fue de 0.096 g de agua/g de M.S, para la harina de trigo, 0.130 g de agua/g de M.S para la harina de yuca comercial, 0.210 g de agua/g de M.S para la harina de yuca sin cáscara y 0.082 g de agua/g de M.S para harina de yuca con cáscara. Los valores de R^2 fueron de 0.89, 0.84, 0.85 y

0.90, respectivamente. En el **Apéndice A**, se muestran el ajuste a los modelos de sorción de GAB, y los parámetros estimados para cada una de las harinas utilizadas.

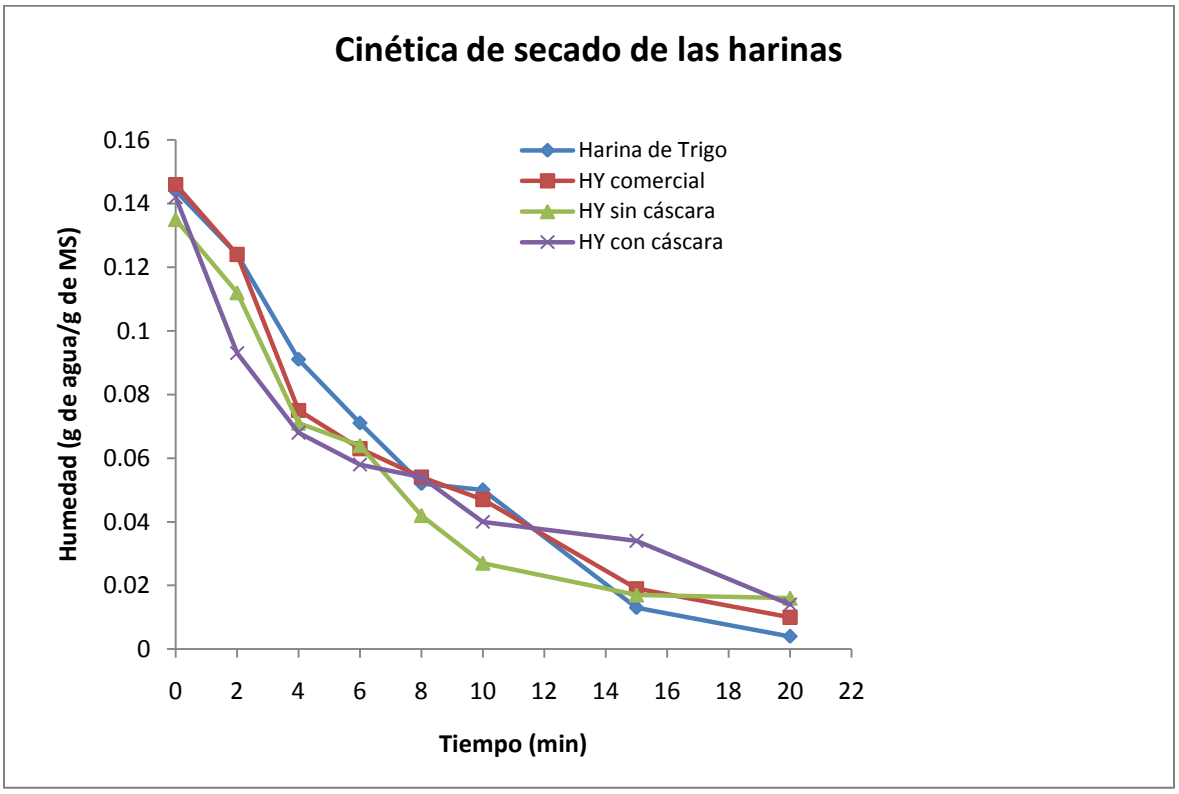
Gráfica 4.1: Isotermas de sorción de las harinas a 25 ^{O}C



La isoterma de GAB describe muy bien los valores de sorción de agua hasta valores de actividad de agua (Aw) de 0.98, confirmando la aplicabilidad de esta ecuación de sorción en regiones de multicapa (Van den Berg y Bruin, 1981).

La **Gráfica 4.2**, muestra la cinética de secado de las harinas utilizadas en esta investigación. Se puede observar una tendencia similar en la cinética de cada una de ellas. Las gráficas obtenidas son curvas características de secado, que refleja el paso del sólido por distintos períodos a medida que la humedad libre de las harinas se reduce desde valores de 0.145 g de agua/g de M.S, hasta valores finales de 0.015 g de agua/g de M.S. El tiempo de secado de todas las harinas fue de 20 min a temperatura de 50 ^{O}C.

Gráfica 4.2: Cinética de secado de las harinas



4.1.2 Composición proximal de las harinas

La **Tabla 9**, muestra la composición proximal de las harinas de yuca enriquecida con harina de gluten expresada en base seca con excepción de la humedad. En lo que respecta al contenido de proteína, se esperaba que con la adición de harina de gluten, y asumiendo que la harina de yuca en su estado natural tenía 2.0% de proteína (Benítez *et al*., 2008), la harina enriquecida presentará un contenido de proteína bastante similar a la de harina de trigo. Sin embargo, luego de realizar el análisis proximal se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la harina de trigo y las harinas de yuca enriquecidas con harina de gluten. Para tratar de explicar esta discrepancia se observaron nuevamente los ingredientes utilizados para preparar las harinas y se encontró que la harina de gluten utilizada para enriquecer la harina de yuca era aproximadamente 90% proteína en vez de 100% como se había asumido. Por consiguiente el análisis de balance de masa usando harina de gluten con 90% de proteína confirma que la proteína total en la harina resultante es de aproximadamente 11%.

Esta diferencia en la cantidad de proteína puede explicar algunos resultados que posteriormente serán evaluados, como lo es el caso del crecimiento de la masa, el cual se puede ver afectado por la cantidad de proteína que aporta la harina.

Estudios realizados por De la Vega (2009), afirman que una buena harina para panificación debe contener porcentajes de proteínas entre 10 – 12%, lo cual se compara favorablemente con los promedios obtenidos en esta investigación para cada una de las harinas. Por lo tanto, se espera que los panes elaborados con harina de yuca puedan presentar características similares a los elaborados solo con harina de trigo.

Tabla 9: Composición proximal de las harinas en base seca

	Proteína (%)	Humedad* (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos (%)
HT	12.04[a]	12.76[a]	0.55[a]	0.29[b]	0.38[c]	86.74[a]
HYC	11.16[b]	8.11[d]	1.17[a]	2.02[a]	1.47[b]	84.17[b]
HYSC	11.07[b]	10.01[b]	1.11[a]	1.72[a]	1.82[b]	84.29[b]
HYCC	11.06[b]	9.14[c]	0.80[a]	2.08[a]	2.33[a]	83.73[b]

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

HT: Harina de trigo; HYC: Harina de Yuca Comercial; HYSC: Harina de Yuca Sin Cáscara; HYCC: Harina de Yuca Con Cáscara

*Determinada en base húmeda

Al evaluar el contenido de humedad de las harinas encontramos diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre todas las harinas utilizadas. Siendo la harina de trigo la que presentó la mayor humedad, la cual fue de 12.76%, y la harina de yuca comercial la que presentó el menor valor, el cual fue de 8.11%. A pesar de las diferencias significativas encontradas, todas las harinas se encuentran dentro de los límites establecidos. Según el Codex Stan 152-1985, para la harina de trigo el porcentaje de humedad permitida máxima es de 15.5%, mientras que el Codex Stan 176-1989 (Rev. 1-1995), para harina de yuca comestibles la humedad máxima permitida es de 13%. Estos valores de humedad de la harina de yuca se asemejan a los obtenidos por Henao, (2004), donde variaron de 7.97 a 10.80%. Cabe recalcar que la variedad de la yuca con que se elaboraron la harina de yuca con cáscara y sin cáscara, es conocida, a diferencia de la comercial, la cual no fue posible conocer, y por lo tanto esto podría representar diferencias en los resultados finales.

En lo referente al contenido de grasa, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre las harinas bajo estudio. Sin embargo, la mayor cantidad de grasa se encontró en la harina de yuca comercial (1.17%) y la menor cantidad en la harina de trigo (0.55%). Estos valores se asemejan a los reportados por Benítez *et al*., (2007) para la harina de trigo, de 0.61%, y para la harina de yuca, entre 0.60 y 1.30%.

El contenido de fibra cruda en las harinas de yuca es mayor que en las harinas de trigo. La **Tabla 9** muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre las harinas de yuca y la de trigo. Esta característica hace que el pan nutricionalmente se pueda comparar con panes integrales, puesto que presenta contenidos de fibra similares a las harinas integrales (Henao, 2004).

Analizando el contenido de ceniza, se puede ver que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre la harina de trigo y las harinas de yuca. Además, se encontraron diferencias entre las harinas de yucas sin cáscara (incluyendo la comercial) y la harina de yuca con cáscara. Según el Codex Stan 176-1989 (Rev. 1-1995), las harinas de yuca deben presentar un máximo de cenizas de 3.0%, lo cual deja a las harinas de yuca elaboradas en esta investigación dentro de los límites permitidos. Se puede entender que el valor alto que se encontró en la harina de yuca con cáscara es debido al aporte en ceniza de la cáscara.

El análisis de varianza reportó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para carbohidratos entre la harina de trigo y las harinas de yuca en estudio. Los carbohidratos son los principales componentes de la materia seca de harina de yuca, donde 64 a 72% corresponde a almidones, de los cuales el 20% es amilosa y el 69% es amilopectina, existiendo pequeñas cantidades de sacarosa y fructosa. El alto contenido de carbohidratos hace de la harina de yuca una excelente fuente de energía (Pochon *et al*., 2010).

4.1.3 Análisis del color de las harinas

La **Tabla 10**, muestra el análisis de varianza de los valores L*, HUE y Croma de las harinas utilizadas. Al analizar la variables L*, no se reportaron diferencias significativas entre la harina de trigo y las harinas de yuca sin cáscara. Se encontraron diferencias entre el control (HT), y las harinas de yuca comercial y con cáscara. No se encontraron diferencias al comparar la variable

HUE. El análisis de varianza evidenció diferencias significativas, en la variable croma, entre la harina de yuca comercial con respecto a las demás.

Tabla 10: Análisis de color de las harinas

	L*	HUE	Croma
HT	89.94[a]	86.41[a]	8.48[b]
HYC	89.04[b]	86.08[a]	11.18[a]
HYSC	89.88[a]	85.35[a]	9.49[b]
HYCC	87.50[c]	86.18[a]	8.71[b]

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.2 Análisis de la masa

4.2.1 pH y actividad de agua de las masas

La **Tabla 11** muestra los valores de pH y Aw para cada una de las masas tratadas.

Al realizar el análisis de varianza para el pH de las masas se puede apreciar que no existen diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre el control y ninguno de los tratamientos propuestos, asimismo no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en la actividad de agua de los tratamientos. Se puede inferir, que tanto la fuente de la harina de yuca, así como el nivel de sustitución para la elaboración de masas con fines panarios no afecta el pH de la masa.

Tabla 11: Resultados de pH y Aw para cada una de las masas

Tratamiento		pH	Aw
Fuente	**% Yuca**		
Control	0.0	5.28[a]	0.84[a]
HY Comercial	12.5	5.20[a]	0.83[a]
HY Comercial	25.0	5.24[a]	0.83[a]
HY Comercial	37.5	5.23[a]	0.83[a]
HY Comercial	50.0	5.28[a]	0.83[a]
HY sin cáscara	12.5	4.97[a]	0.83[a]
HY sin cáscara	25.0	5.28[a]	0.84[a]
HY sin cáscara	37.5	5.34[a]	0.84[a]
HY sin cáscara	50.0	5.32[a]	0.84[a]
HY con cáscara	12.5	5.23[a]	0.85[a]
HY con cáscara	25.0	5.06[a]	0.84[a]
HY con cáscara	37.5	5.33[a]	0.84[a]
HY con cáscara	50.0	5.32[a]	0.84[a]

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Estudios previos han demostrado que sustituir harina de trigo por harina de yuca no afecta significativamente el pH, y este se mantiene alrededor de 5.30 (Pacheco y Testa, 2005). Según Calaveras (2004), la capacidad del gluten para formar la red esponjosa está influida por el pH de la masa, y el pH óptimo para la panificación está entre 5.0 y 5.4 a temperaturas de 28 a 30 ^{O}C. Esto quiere decir que las masas elaboradas tienen características para panes de buena calidad.

En cuanto a la actividad de agua de las masas, tampoco se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos propuestos con respecto al control, ni entre los tratamientos. Esto nos dice que la fuente de la harina y los niveles de sustitución no influyen en la actividad de agua de las masas. Sin embargo, estos valores no concuerdan con los datos obtenidos por Motoya y Giraldo (2010), los cuales evaluaron actividad de agua en masas elaboradas a partir de harina de trigo donde obtuvieron valores de 0.91, en masas elaboradas de manera similar. No obstante esta diferencia puede estar relacionada con la formulación.

4.2.2 Crecimiento de la masa

La **Tabla 12** muestra el análisis de varianza de los valores del crecimiento de la masa en los tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos. Como era de esperar, se puede observar que las masas de todos los tratamientos aumentan su volumen con el tiempo de fermentación.

Se puede observar, además, que existe un efecto por el contenido de yuca en cada uno de los tratamientos. A medida que aumentamos el porcentaje de harina de yuca enriquecida con gluten en las harinas analizadas, el crecimiento de la masa fue menor. A los 120 min, tiempo en que termina la fermentación, se puede observar claramente este comportamiento. Si analizamos la tabla tomando como referencia el mismo nivel de sustitución, por ejemplo 12.5%, podemos observar que no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), entre el control y la harina de yuca elaborada en el laboratorio sin cascara y con cáscara, pero si entre el control y la harina de yuca comercial. Además se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la harina de yuca comercial y con cáscara (**Gráfica 4.3**). Al tomar como referencia el nivel de sustitución de 25%, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre el control y los tratamientos estudiados, pero no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) al terminar la fermentación entre las mezclas con harina de yuca (**Gráfica 4.4**). Este mismo comportamiento se observó para los niveles de sustitución de 37.5% y 50% (**Gráfica 4.5** y **4.6**, respectivamente).

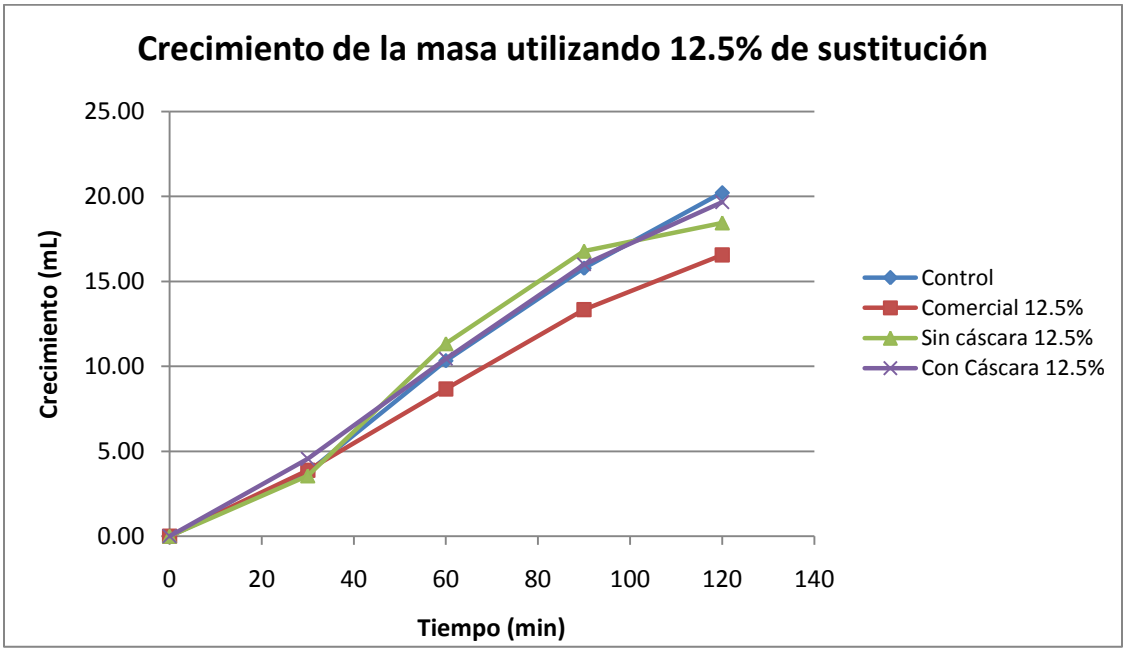
Tabla 12: Resultado de crecimiento de la masa (mL)

Tratamiento		C30	C60	C90	C120
Fuente	**% Yuca**				
Control	0.0	3.78^{ab}	10.33^{ab}	15.78^{ab}	20.22^{a}
HY Comercial	12.5	3.89^{ab}	8.66^{abc}	13.33^{bcd}	16.56^{bc}
HY Comercial	25.0	4.33^{ab}	9.22^{abc}	11.89^{cd}	14.22^{cde}
HY Comercial	37.5	5.89^{a}	8.67^{abc}	10.44^{def}	11.00^{fg}
HY Comercial	50.0	5.11^{ab}	7.78^{bc}	8.89^{efg}	9.44^{gh}
HY sin cáscara	12.5	3.56^{b}	11.33^{a}	16.78^{a}	18.44^{ab}
HY sin cáscara	25.0	4.00^{ab}	8.22^{bc}	12.78^{cd}	15.22^{cd}
HY sin cáscara	37.5	4.67^{ab}	11.11^{a}	12.67^{cd}	13.33^{def}
HY sin cáscara	50.0	3.67^{ab}	7.33^{c}	7.44^{g}	8.33^{h}
HY con cáscara	12.5	4.56^{ab}	10.44^{ab}	16.00^{ab}	19.67^{a}
HY con cáscara	25.0	5.44^{ab}	8.78^{abc}	14.56^{abc}	15.56^{cd}
HY con cáscara	37.5	4.22^{ab}	9.00^{abc}	10.89^{de}	12.11^{ef}
HY con cáscara	50.0	4.78^{ab}	7.44^{c}	7.88^{fg}	8.78^{gh}

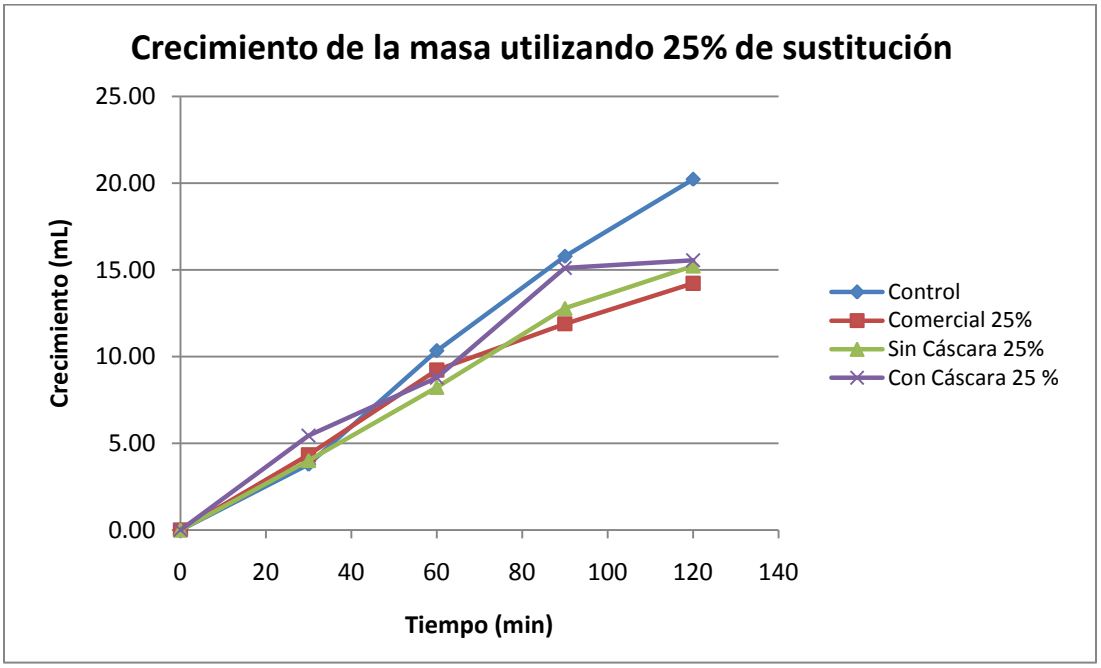
Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

C30= Crecimiento en mL a los 30 min
C60= Crecimiento en mL a los 60 min
C90= Crecimiento en mL a los 90 min
C120= Crecimiento en mL a los 120 min

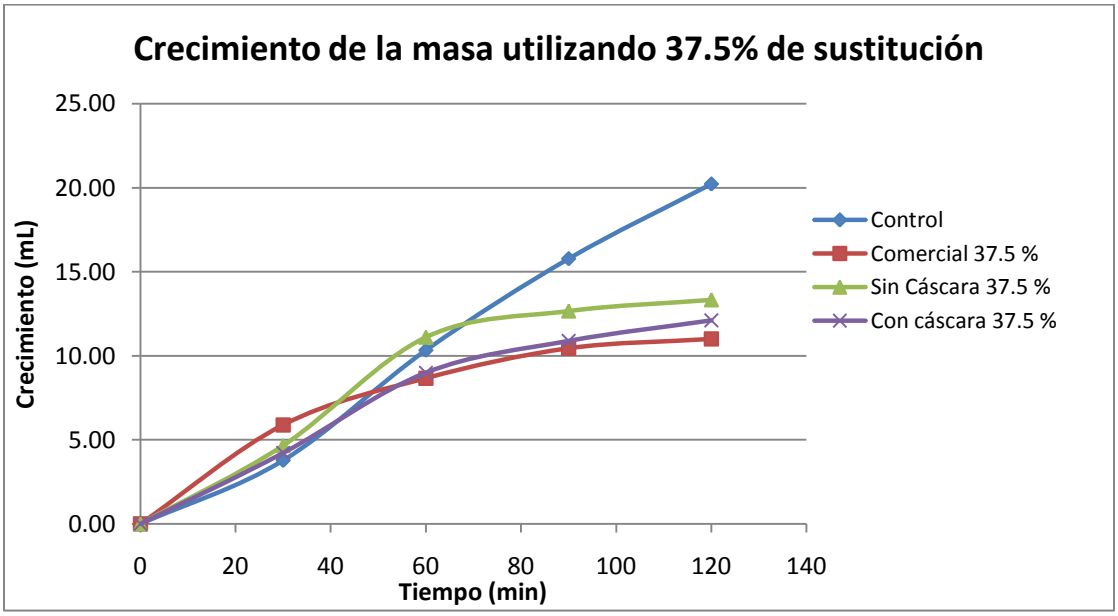
Gráfica 4.3: Crecimiento de la masa utilizando 12.5% de sustitución de harina de yuca



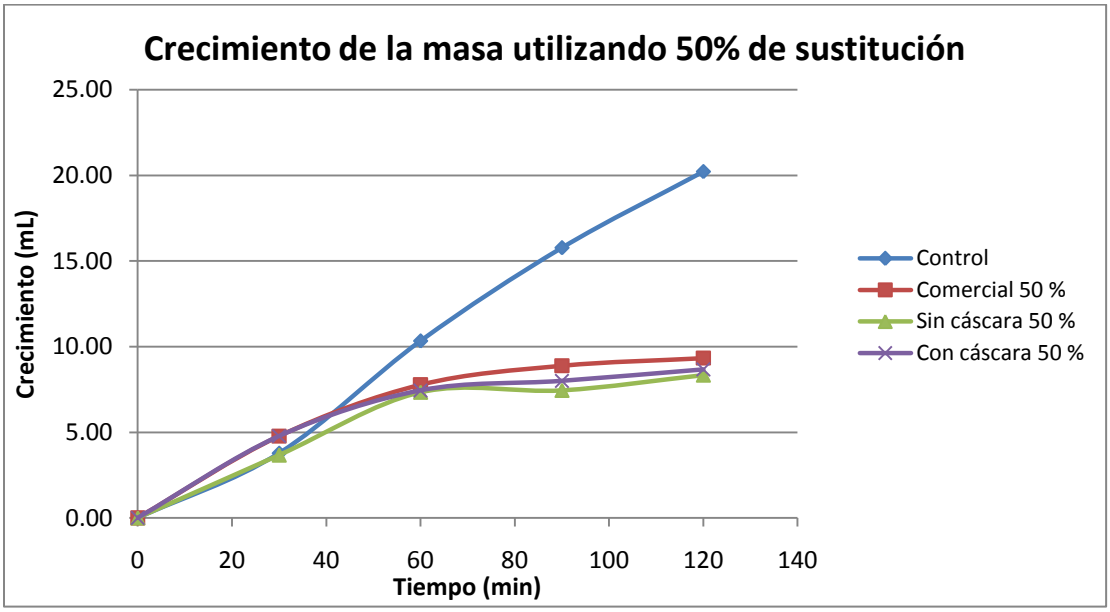
Gráfica 4.4: Crecimiento de la masa utilizando 25% de sustitución de harina de yuca



Gráfica 4.5: Crecimiento de la masa utilizando 37.5% de sustitución de harina de yuca



Gráfica 4.6: Crecimiento de la masa utilizando 50% de sustitución de harina de yuca



El crecimiento de la masa está relacionado con la capacidad que tiene para retener gas carbónico. Se encontró con el análisis proximal que las harinas desarrolladas presentaron valores de proteínas entre 11 y 12%, con estos valores se esperaría que no se encontraran diferencias muy marcadas entre todas las masas desarrolladas. Sin embargo, por lo visto anteriormente, esto no sucedió. Así que además de la cantidad de proteína (gluten) aportada por la harina, otros factores pueden intervenir para que la masa no haya crecido, como lo es el caso de la cantidad de fibra aportada por la yuca.

4.3 Análisis de los panes

4.3.1 Crecimiento y % de crecimiento del pan durante el horneado

Para determinar el crecimiento del pan durante el horneado, se midió el volumen de los panes antes y después de la cocción, utilizando el método de desplazamiento con arroz. Por diferencia se obtuvo el crecimiento en mL.

La introducción de calor en el pan es el responsable de aumentar la presión del gas en el interior del mismo, produciendo un aumento significativo del volumen del pan (Calaveras, 2004).

Tabla 13: Crecimiento (mL) y % de crecimiento del pan durante el horneado

Tratamiento		Crecimiento (mL)	Crecimiento (%)
Fuente	**% Yuca**		
Control	0.0	15.73^{a}	25.47^{a}
HY Comercial	12.5	12.40^{ab}	21.67^{a}
HY Comercial	25.0	13.13^{ab}	24.72^{a}
HY Comercial	37.5	11.13^{ab}	23.16^{a}
HY Comercial	50.0	10.87^{b}	24.87^{a}
HY sin cáscara	12.5	13.47^{ab}	24.92^{a}
HY sin cáscara	25.0	13.60^{ab}	28.96^{a}
HY sin cáscara	37.5	13.40^{ab}	30.63^{a}
HY sin cáscara	50.0	10.60^{b}	25.43^{a}
HY con cáscara	12.5	14.47^{ab}	25.38^{a}
HY con cáscara	25.0	11.67^{ab}	22.85^{a}
HY con cáscara	37.5	11.27^{ab}	23.52^{a}
HY con cáscara	50.0	9.93^{b}	22.85^{a}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En la **Tabla 13** se observan los valores de crecimiento en volumen de los panes durante el proceso de cocción u horneado a 175^{O}C durante 12 minutos. Es de notar que solo existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y los tres tratamientos de harina de yuca a la proporción de 50%. No se encontraron diferencias significativas al comparar los tres tipos de panes de harinas de yuca durante esta etapa.

La Tabla evidencia claramente que no existen diferencias significativas en cuanto al porcentaje en crecimiento durante el proceso de horneado. Sin embargo los valores fluctúan entre 21 – 31 %. Es bueno mencionar que el horno utilizado fue uno convencional, y no especializado para panadería, por lo cual, es posible observar irregularidades durante este proceso, ya que no sabemos a ciencia exacta como el equipo distribuye el calor y menos la eficiencia del mismo. No

existe una regla general de cuánto debe crecer un pan durante el proceso de horneado, esto dependerá de factores tales como el tipo de pan elaborado, el tamaño del pan, características de horno que se utiliza, entre otros.

4.3.2 Evaluación del volumen específico

En la **Tabla 14** se observa el volumen específico de todos los panes elaborados. El Volumen específico relaciona el volumen del pan con el peso del mismo. Esta medida pretende determinar el espacio que ocupa un gramo del producto. El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y todos los panes elaborados, excepto con el elaborado con harina de yuca con cáscara 12.5% el cual presenta algunas características semejantes al control.

Si se comparan los panes por el nivel de sustitución, observamos que para la sustitución de 12.5%, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuestión. La misma tendencia se observó para los panes elaborados con las sustituciones de 25%, 37.5% y 50%.

Al comparar las harinas teniendo como base la procedencia o fuente de la harina de yuca, en este caso la harina de yuca comercial, notamos que no existen diferencias significativas entre las proporciones de 12.5% y 25%, de la misma forma no existen diferencias entre las proporciones 25% y 37.5% y entre las proporciones 37.5% y 50%. El mismo comportamiento se encontró para las harinas elaboradas en el laboratorio con harina de yuca sin cáscara y con cáscara.

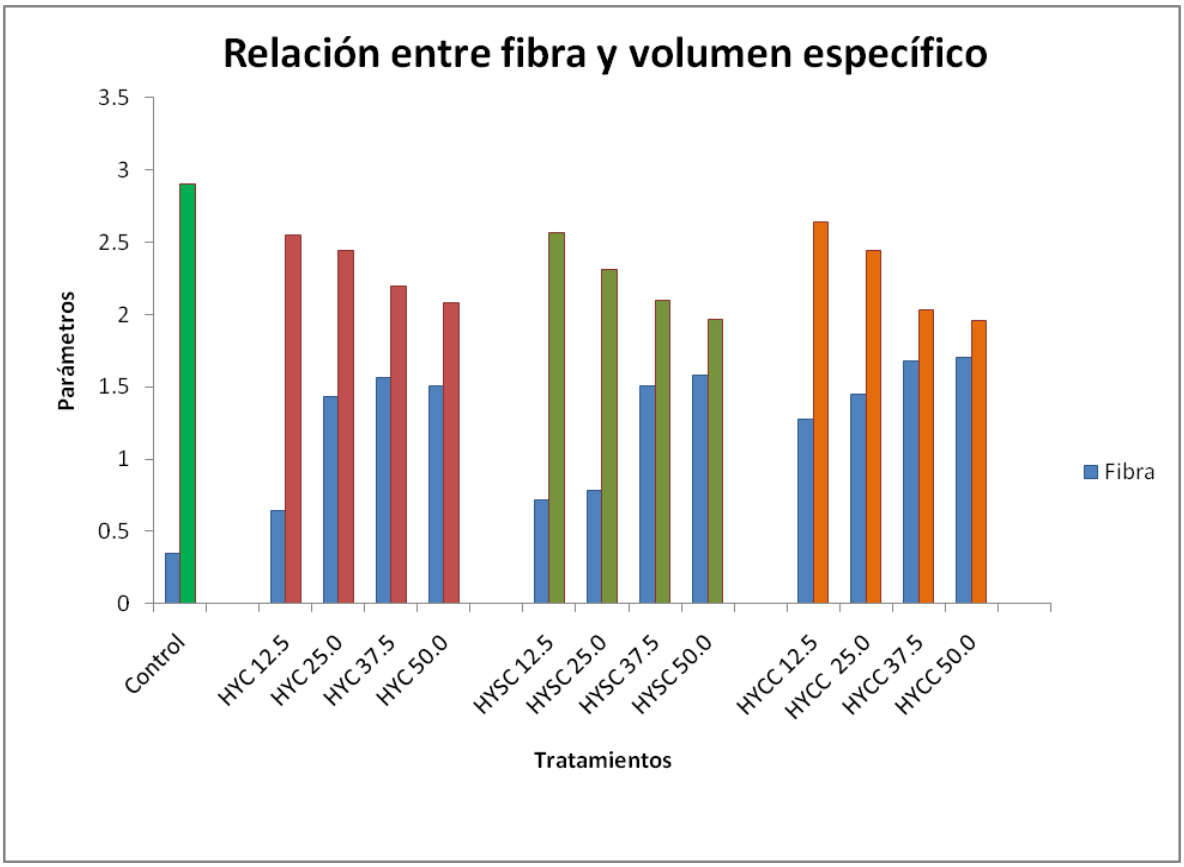
Tabla 14: Volumen específico de los panes

Tratamiento		Volumen específico (ml/g)
Fuente	**% Yuca**	
Control	0.0	2.90^{a}
HY Comercial	12.5	2.55^{b}
HY Comercial	25.0	2.44^{bcd}
HY Comercial	37.5	2.20^{def}
HY Comercial	50.0	2.08^{ef}
HY sin cáscara	12.5	2.57^{bc}
HY sin cáscara	25.0	2.31^{cde}
HY sin cáscara	37.5	2.10^{ef}
HY sin cáscara	50.0	1.97^{f}
HY con cáscara	12.5	2.64^{ab}
HY con cáscara	25.0	2.44^{bcd}
HY con cáscara	37.5	2.03^{ef}
HY con cáscara	50.0	1.95^{f}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

A simple vista se puede notar que el porcentaje de yuca puede ser un factor determinante al evaluar esta característica de los panes, a medida que aumenta el porcentaje de yuca el volumen específico se hace menor. Esto quiere decir que si aumentamos los niveles de sustitución de harina de yuca en los panes, aunque los niveles de proteína de ésta se encuentre en niveles aceptables (11-12%) (**Tabla 9**), el pan no crecerá la suficiente. Se encontró también que existe una relación entre el contenido de fibra de los panes (**Tabla 22**) y el volumen específico. A medida que el porcentaje de fibra aumenta en cada uno de los tratamientos, el volumen específico disminuyo considerablemente (**Gráfica 4.7**). El volumen específico al igual que el crecimiento de la masa está relacionado con la propiedad que tienen las masas para retener CO_2 (**Apéndice B y C**).

Gráfica 4.7: Relación entre fibra y volumen específico de los panes



4.3.3 Porcentaje de pérdida de peso durante el horneado

Uno de los procesos que ocurre durante el horneado de los panes es la disminución de peso debido a la evaporación de agua. La **Tabla 15** muestra el porcentaje de pérdida de peso de cada uno de los panes elaborados en esta investigación.

Tabla 15: Porcentaje de pérdida de peso durante el horneado

Tratamiento		% pérdida de peso
Fuente	**% Yuca**	
Control	0.0	10.01^{a}
HY Comercial	12.5	9.61^{ab}
HY Comercial	25.0	8.10^{c}
HY Comercial	37.5	8.26^{c}
HY Comercial	50.0	8.27^{c}
HY sin cáscara	12.5	8.51^{bc}
HY sin cáscara	25.0	8.32^{bc}
HY sin cáscara	37.5	7.61^{c}
HY sin cáscara	50.0	7.53^{c}
HY con cáscara	12.5	8.75^{abc}
HY con cáscara	25.0	8.37^{bc}
HY con cáscara	37.5	7.97^{c}
HY con cáscara	50.0	8.01^{c}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El análisis de varianza para esta variable indica diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y los panes elaborados con harinas de yuca en las diferentes proporciones, excepto para los elaborados con harina de yuca comercial y con cáscara en la proporción de 12.5%. Al comparar los panes elaborados con harina de yuca, solo la proporción de 12.5%, podemos observar que no existen diferencias significativas entre ellos, la misma tendencia se observa para los panes elaborados con las proporciones de 25%, 37.5% y 50%. Cuando se compararon los niveles de sustitución por fuente, solo la harina de yuca comercial 12.5% presentó diferencias significativas con las formulaciones de 25%, 37% y 50%.

Las harinas de yuca sin cáscara y con cáscara no presentaron diferencias significativas entre ellas. De estos resultados se puede inferir que los panes elaborados con harina de yuca independientemente de la fuente o el nivel de sustitución, al parecer tienen la capacidad de retener mayor humedad, contrario a lo que se observa con los panes elaborados con harina de

trigo (control) donde la pérdida de peso es mayor. Estudios realizados por Salazar (2001), demostraron que el índice de absorción de agua aumentó con la adición de harina de yuca en panes y que esto se debía posiblemente a que el almidón de yuca presenta una mayor capacidad de absorción de agua que el almidón de trigo. Tinoco (2008), realizó estudios en panes elaborados con almidón de yuca, encontrando un promedio de pérdida de peso de 7.4% durante el horneado.

4.4 Evaluación de la textura de los panes a través de tiempo

4.4.1 Determinación de la dureza en gramos - fuerza

La **Tabla 16** muestra los perfiles de la determinación de textura de los panes, donde se midió la dureza de los mismos, en los días 1, 5, 9 y 13. Independientemente de la fuente de la harina y del porcentaje de sustitución que se haya utilizado, en todos los tratamientos, la fuerza necesaria para comprimir una muestra de pan aumentó considerablemente al pasar los días, lo cual era de esperar. También se puede observar una tendencia en los tratamientos de harina de yuca considerados, a medida que aumenta el nivel de sustitución, aumenta la fuerza necesaria para comprimir el pan. Siendo los panes elaborados con 37.5 y 50% los que presentaron valores mayores en los panes elaborados con harina de yuca comercial y sin cáscara. En los panes elaborados con harina de yuca con cáscara se presentaron valores altos a partir del porcentaje de 25%. En lo que corresponde a la dureza a través del tiempo, en general se evidenciaron diferencias significativas entre el día 1 con los días 9 y 13 en la mayoría de los panes en estudio.

Tabla 16: Determinación de la textura de los panes: Dureza (gramos-fuerza)

Tratamiento		Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Fuente	**% Yuca**				
Control	0.0	331.60^{a}_{B}	491.60^{a}_{B}	707.30^{a}_{B}	1676.80^{ab}_{A}
HY Comercial	12.5	404.10^{ab}_{B}	610.20^{a}_{B}	1098.40^{ab}_{A}	1167.40^{a}_{A}
HY Comercial	25.0	613.80^{abc}_{B}	971.20^{abcd}_{B}	1774.10^{cde}_{A}	1656.40^{abc}_{A}
HY Comercial	37.5	685.20^{bc}_{C}	1444.60^{def}_{B}	1308.50^{abc}_{B}	1755.20^{abc}_{A}
HY Comercial	50.0	777.10^{cd}_{C}	1187.90^{bcde}_{BC}	1461.60^{bcd}_{B}	2192.80^{bcd}_{A}
HY sin cáscara	12.5	549.90^{abc}_{B}	864.20^{abc}_{B}	1393.10^{bcd}_{A}	1316.30^{ab}_{A}
HY sin cáscara	25.0	582.10^{abc}_{B}	811.40^{ab}_{B}	1094.50^{ab}_{AB}	1704.40^{abc}_{A}
HY sin cáscara	37.5	666.10^{bc}_{B}	1224.50^{bcde}_{AB}	1553.20^{bcd}_{A}	1702.00^{abc}_{A}
HY sin cáscara	50.0	1139.50^{e}_{C}	1752.90^{ef}_{BC}	1941.80^{be}_{B}	2727.50^{d}_{A}
HY con cáscara	12.5	541.50^{abc}_{B}	1448.20^{def}_{A}	1454.40^{abc}_{A}	1461.50^{abd}_{A}
HY con cáscara	25.0	1103.70^{e}_{B}	1438.60^{cdef}_{B}	2279.20^{e}_{A}	2357.20^{cd}_{A}
HY con cáscara	37.5	1040.30^{de}_{C}	1438.10^{cdef}_{BC}	1505.80^{bcd}_{B}	2091.20^{abcd}_{A}
HY con cáscara	50.0	1619.10^{f}_{B}	2000.50^{f}_{AB}	2181.70^{de}_{A}	2253.60^{bcd}_{A}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

Realizando la comparaciones con respecto al control, los panes elaborados con harinas fabricadas con harina de yuca comercial y sin cáscara en las proporciones de 12.5% y 25%, presentaron en su mayoría características muy parecidas al control, al analizar cada día. Los panes elaborados con harina de yuca con cáscara presentaron características semejantes al control en la proporción de 12.5%

Comparando los panes con harinas de yuca entre sí, podemos observar para el caso de 12.5%, no se encontraron diferencia entre los panes elaborados con harina de yuca comercial, harina de yuca sin cáscara y harina de yuca con cáscara en el día 1. Para el día 5 se encontró diferencia con el pan elaborado con harina de yuca con cáscara. El día 9 no se encontraron diferencias entre los panes, lo mismo se encontró para el día 13.

Para el porcentaje de 25%, se encontró diferencia significativa, con el pan elaborado con harina de yuca con cáscara, en días 1. Para el día 5 no se encontraron diferencias entre el pan elaborado

con harina de yuca comercial y harina de yuca sin cáscara, pero a su vez existía diferencia entre el pan fabricado con harina de yuca comercial y harina de yuca con cáscara. Pero el pan elaborado con harina de yuca sin cáscara presentó características similares al elaborado con harina de yuca con cáscara. En el día 9, el pan que presentó diferencia significativa fue el elaborado con harina de yuca con cáscara. En el día 13, los panes elaborados con harina de yuca comercial, sin cáscara y con cáscara, no presentaron diferencias significativas entre ellos.

Para el porcentaje de 37.5%, se encontraron diferencias significativas en el día 1, con los panes elaborados con harina de yuca con cáscara. En el día 5, no se encontraron diferencias entre los panes elaborados con las distintas harinas. Igual tendencia se encontró para los días 9 y 13.

Utilizando el porcentaje de harina del 50%, se encontraron diferencias significativas entre los tres tipos de panes elaborados para el día 1. La harina de yuca comercial presentó un valor de 777.10 g, la harina de yuca sin cáscara un valor de 1139.50 g, mientras que la harina de yuca con cáscara presentó el valor más alto, 1610.19 g. En el día 5, se encontraron diferencias entre los panes fabricados con harina de yuca comercial y harina de yuca con cáscara, pero cabe anotar que entre los panes elaborados con harina de yuca comercial y harina de yuca sin cáscara, y los elaborados con harina de yuca sin cáscara y harina de yuca con cáscara, presentaron características similares. En los días 9, así como el 13 no se presentaron diferencias significativas entre los panes elaborados con las distintas harinas para el porcentaje de 50%. Si se comparan los panes fabricados con harina de yuca comercial entre sí, se podría decir que no existen diferencias significativas en los primeros tres niveles de sustitución, y esto ocurre en todos los días. La misma tendencia se observa en los elaborados con harina de yuca sin cáscara. Si analizamos los elaborados con harina de yuca con cáscara en los días 5 y 9, no se presentaron diferencias entre

ellos. En los días 1 y 9, los porcentajes que no presentaron diferencias entre sí fueron los últimos tres.

La dureza y firmeza de los panes, está íntimamente relacionada con el envejecimiento (Frágenas, 1994). La firmeza de la miga es causada por cambios en la estructura del almidón. El almidón en la harina está formado por cadenas rectas y ramificadas que están contenidas en los gránulos. Durante el horneado, los gránulos de almidón se hinchan y las cadenas lineales se difunden fuera del gránulo, luego cuando el pan se enfría las cadenas lineales se juntan para proveer fuerza y darle forma al pan. Las cadenas ramificadas del almidón permanecen dentro del gránulo durante el horneo y se van juntando lentamente durante el almacenamiento y hace que la miga se vaya poniendo más firme con el tiempo.

Según Calavera (2004), el pan envejecido pierde sabor y aroma, llegando a ser insípido. Hay una sensación de sequedad al contacto con el mismo. La miga tiende a desmoronarse, y se aprecia una dureza elevada al tacto, perdiendo su suavidad y flexibilidad. Si el pan tiene varios días, hay una clara pérdida de la humedad. La corteza pierde ese estado crujiente y el color brillante para ser descolorida. En el terreno físico – químico se observa una disminución del poder de hinchazón del agua, de la cantidad de almidón soluble y de la facilidad de ataque del almidón por parte de las amilasas.

El problema de un pan envejecido viene unido a un mal proceso de panificación, es decir, fermentación irregular, tanto en tiempo y temperatura como en pH de la masa, relación muy diferenciada entre la humedad del ambiente y el pan, utilización de materias primas incorrectas, como puede ser una harina con pocas proteínas (8%), o harinas que tengan una gran actividad enzimática. Harinas con muchas enzimas amilasa producen muchas dextrinas y éstas, gracias a su rápida capacidad de absorción y retención de agua, producen una tendencia a la separación

entre la miga y la corteza que limitan el movimiento de las moléculas. Otro factor que afecta el envejecimiento es la elasticidad del gluten que se va perdiendo al ser cada vez más seco y vítreo por la migración de parte del agua de la miga hacia la corteza.

4.4.2 Determinación de la esponjosidad; unidad - adimensional

La **Tabla 17**, muestra los valores de esponjosidad para panes elaborados en esta investigación. Este valor viene dado por la resultante de la fuerza en el ciclo 1, dividido por la fuerza en el ciclo 2, del equipo "Texture Technologies Analyzer-Stable Micro System Model TA-XT2". Se puede observar que no se encontraron diferencias significativas entre el control y los panes elaborados con harinas de yuca, en las distintas fuentes y proporciones para el día 1. Para el día 5 se encontró diferencia significativa entre el control y los panes fabricados con harina de yuca comercial 37.5%. No se encontraron diferencias significativas al analizar el día 9. Para el día 13, el único tratamiento donde se encontró diferencia con el control fue el tratamiento que contiene harina de yuca comercial 12.5%. El 50% panes evaluados presentaron diferencias significativas a través del tiempo, entre los días 1 y 13. Pero cabe recalcar que no existe una tendencia definida que nos pueda decir, que los niveles o fuente utilizada, expliquen este comportamiento.

Tabla 17: Determinación de la textura de los panes: variable esponjosidad (adimensional)

Tratamiento		Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Fuente	**% Yuca**				
Control	0.0	1.10^{a}_{A}	1.13^{b}_{A}	1.12^{a}_{A}	1.10^{b}_{A}
HY Comercial	12.5	1.11^{a}_{A}	1.15^{b}_{A}	1.19^{a}_{A}	1.65^{a}_{B}
HY Comercial	25.0	1.15^{a}_{A}	1.21^{ab}_{A}	1.21^{a}_{A}	1.46^{ab}_{B}
HY Comercial	37.5	1.13^{a}_{A}	1.47^{a}_{A}	1.17^{a}_{A}	1.10^{b}_{A}
HY Comercial	50.0	1.24^{a}_{A}	1.04^{b}_{A}	1.24^{a}_{A}	1.19^{ab}_{A}
HY sin cáscara	12.5	1.13^{a}_{A}	1.14^{b}_{A}	1.27^{a}_{A}	1.36^{ab}_{A}
HY sin cáscara	25.0	1.08^{a}_{A}	1.14^{b}_{B}	1.16^{a}_{B}	1.17^{ab}_{B}
HY sin cáscara	37.5	1.11^{a}_{A}	1.15^{b}_{B}	1.17^{a}_{B}	1.17^{ab}_{B}
HY sin cáscara	50.0	1.11^{a}_{A}	1.06^{b}_{A}	1.18^{a}_{A}	1.18^{ab}_{A}
HY con cáscara	12.5	1.10^{a}_{A}	1.14^{b}_{A}	1.27^{a}_{A}	1.14^{ab}_{A}
HY con cáscara	25.0	1.10^{a}_{A}	1.17^{b}_{AB}	1.16^{a}_{AB}	1.22^{ab}_{B}
HY con cáscara	37.5	1.12^{a}_{A}	1.17^{b}_{B}	1.14^{a}_{AB}	1.17^{ab}_{AB}
HY con cáscara	50.0	1.15^{a}_{A}	1.17^{b}_{A}	1.30^{a}_{A}	1.30^{ab}_{A}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

Prácticamente ni la fuente y ni el nivel de sustitución afectan la esponjosidad de los panes.

4.5 Determinación del color de la miga del pan

4.5.1 Determinación de la variable L*; unidad - adimensional

La **Tabla 18**, evidencia el análisis de varianza realizado para el color de la miga de los panes, específicamente la variable L*, la cual mide la "Luminosidad" de 0 - 100, (negro = 0, blanco = 100). De acuerdo a la información brindada por la Tabla, es posible observar un efecto en la miga, en los tres tipos de panes de harina de yuca, a medida que los niveles de sustitución aumentan. La variable L* en la miga de los panes van disminuyendo con el aumento del porcentaje de yuca. Al parecer, el tipo de harina utilizada influye significativamente al evaluar esta variable en la miga del pan, así como también el nivel de sustitución de ésta. Estudios

realizados en el IIT (1986), en los cuales desarrollaron panes a partir de harina de yuca, los panes obtenidos presentaron una atenuada coloración de la miga al aumentar los niveles de sustitución.

Tabla 18: Determinación del color de la miga de los panes: variable L* (adimensional)

Tratamiento		**Día 1**	**Día 5**	**Día 9**	**Día 13**
Fuente	**% Yuca**				
Control	0.0	81.35^{a}_{A}	76.82^{ab}_{B}	78.33^{a}_{B}	78.75^{a}_{B}
HY Comercial	12.5	79.32^{abc}_{A}	76.81^{ab}_{A}	77.19^{ab}_{A}	78.42^{a}_{A}
HY Comercial	25.0	75.26^{de}_{A}	74.81^{abcd}_{A}	73.65^{bcde}_{A}	75.31^{abc}_{A}
HY Comercial	37.5	73.11^{ef}_{A}	71.49^{cde}_{A}	73.89^{bcd}_{A}	73.09^{bcde}_{A}
HY Comercial	50.0	72.88^{ef}_{A}	70.52^{e}_{A}	71.21^{cde}_{A}	71.18^{de}_{A}
HY sin cáscara	12.5	79.72^{ab}_{A}	78.18^{a}_{AB}	77.05^{ab}_{B}	76.74^{ab}_{B}
HY sin cáscara	25.0	78.80^{abc}_{A}	77.45^{a}_{A}	76.24^{ab}_{A}	76.36^{ab}_{A}
HY sin cáscara	37.5	77.58^{bcd}_{A}	76.25^{ab}_{A}	76.07^{ab}_{A}	75.00^{abcd}_{A}
HY sin cáscara	50.0	76.55^{cd}_{A}	75.64^{ab}_{A}	75.05^{abc}_{A}	75.18^{abc}_{A}
HY con cáscara	12.5	77.61^{bcd}_{A}	75.10^{abc}_{B}	73.92^{bcd}_{B}	74.99^{abcd}_{B}
HY con cáscara	25.0	74.75^{de}_{A}	73.78^{bcde}_{A}	73.38^{bcde}_{A}	71.61^{cde}_{A}
HY con cáscara	37.5	72.26^{ef}_{A}	71.29^{de}_{A}	69.75^{e}_{A}	70.77^{e}_{A}
HY con cáscara	50.0	71.39^{f}_{A}	71.37^{de}_{A}	70.59^{de}_{A}	70.31^{e}_{A}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

En general, el análisis de varianza no reportó diferencias significativas marcadas a medida que trascurre el tiempo.

Comparando el control con los panes elaborados con harina de yuca comercial, se observaron diferencias significativas con los panes elaborados con las proporciones de 37.5% y 50% en casi todos los días.

Los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara fueron los que presentaron características similares al control. Esta tendencia concuerda con los datos obtenidos al realizar el análisis de color para el parámetro L* a las harinas originales, donde no se encontraron diferencias entre la harina de trigo y la harina de yuca sin cáscara para esta variable (**Tabla 10**).

Al comparar el control, con los panes elaborados con harina de yuca con cáscara, se encontró que estos fueron los menos parecidos al control en todos los días de observación. Solo algunos con la proporción de 12.5% presentaron características semejantes al control.

4.5.2 Determinación de la variable HUE; unidad - adimensional

En la **Tabla 19** se muestra el análisis de varianza, donde se evalúa el parámetro HUE o tono de la miga de los panes elaborados. En los tres tratamientos analizados, se puede observar que existe un efecto de que al aumentar los niveles de harina de yuca, la tonalidad de la miga disminuye.

Se encontró evidencia significativa entre los días 1, con los días 9 y 13 en los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara a través del tiempo. Asimismo se evidenció diferencia significativa en su mayoría, con los panes elaborados con harina de yuca con cáscara, entre los días 1 y 13. Lo panes elaborados con harina de yuca comercial, no presentaron diferencias a través del tiempo.

Comparando el control, con los panes elaborados con harina de yuca comercial, se observa que no se encontró diferencia significativa con los panes elaborados con las proporciones de 12.5% en todos los días de evaluación.

Al comparar los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara respecto al control, el análisis de varianza pone en evidencia, que no se encontraron diferencias significativas en los días 1 y 5, contra las proporciones de 12.5% y 25%. Igual tendencia se encontró el día 13, para la sustitución de 12.5%.

Los panes elaborados con harina de yuca con cáscara presentaron diferencias significativas al compararlos con el control, en todas las sustituciones usadas y días de evaluación.

Al igual que en el parámetro L*, el tipo de harina utilizada y la sustituciones propuestas afectan la tonalidad en la miga.

Tabla 19: Determinación del color de los panes: variable HUE (adimensional)

Tratamiento		Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Fuente	% Yuca				
Control	0.0	87.05^{a}_{A}	86.53^{a}_{A}	86.50^{a}_{A}	86.08^{a}_{A}
HY Comercial	12.5	85.95^{ab}_{A}	85.84^{ab}_{A}	85.37^{ab}_{A}	85.42^{ab}_{A}
HY Comercial	25.0	83.75^{de}_{A}	83.81^{cde}_{A}	83.65^{cde}_{A}	83.78^{cd}_{A}
HY Comercial	37.5	82.76^{ef}_{A}	82.57^{efg}_{A}	83.23^{cde}_{A}	82.89^{de}_{A}
HY Comercial	50.0	82.47^{ef}_{A}	82.41^{efg}_{A}	82.27^{ef}_{A}	81.70^{ef}_{A}
HY sin cáscara	12.5	85.73^{ab}_{A}	85.23^{abc}_{AB}	84.54^{bcd}_{B}	84.50^{abc}_{B}
HY sin cáscara	25.0	86.33^{ab}_{A}	85.05^{abcd}_{AB}	84.70^{bc}_{B}	84.01^{bcd}_{B}
HY sin cáscara	37.5	85.48^{bc}_{A}	84.29^{bcd}_{AB}	84.11^{bcd}_{B}	83.87^{bcd}_{B}
HY sin cáscara	50.0	84.18^{cd}_{A}	83.58^{cdef}_{AB}	83.08^{de}_{BC}	82.50^{de}_{C}
HY con cáscara	12.5	85.69^{b}_{A}	84.64^{bcd}_{AB}	83.97^{bcd}_{B}	83.36^{cd}_{B}
HY con cáscara	25.0	84.10^{d}_{A}	83.41^{def}_{AB}	83.08^{de}_{AB}	82.61^{de}_{B}
HY con cáscara	37.5	82.46^{ef}_{A}	82.08^{fg}_{A}	81.42^{f}_{A}	81.34^{ef}_{A}
HY con cáscara	50.0	82.20^{f}_{A}	81.75^{g}_{AB}	81.32^{f}_{AB}	80.82^{f}_{B}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

4.5.3 Determinación de la variable Croma; unidad - adimensional

En la **Tabla 20** se puede ver el análisis de varianza, para la variable croma, también llamada saturación o intensidad de un color. Al observar la tabla, se puede constatar que existe un leve aumento a medida que aumentan los niveles de sustitución de harina de yuca, en todos los días, en los panes elaborados con harina de yuca comercial y en los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara. Un efecto contrario se observó en los panes elaborados con harina de yuca con cáscara, pero vale la pena mencionar que en la mayoría de los días, según el análisis de varianza, a pesar de que los valores disminuyeron, con el aumento en el nivel de la harina de yuca, no

hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Se encontró también, que el valor de croma, se afectó mínimamente al transcurrir lo días de evaluación, encontrándose efecto significativo en algunos casos; principalmente en los panes elaborados con harina de yuca comercial.

Tabla 20: Determinación del color de los panes: variable Croma (adimensional)

Tratamiento		Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Fuente	% Yuca				
Control	0.0	19.13^{ef}_{A}	20.59^{cd}_{AB}	20.79^{de}_{B}	21.24^{def}_{B}
HY Comercial	12.5	20.34^{def}_{A}	21.44^{bcd}_{B}	21.81^{cd}_{B}	22.16^{cde}_{B}
HY Comercial	25.0	23.52^{abc}_{A}	23.01^{bc}_{A}	23.15^{bc}_{A}	23.06^{bcd}_{A}
HY Comercial	37.5	24.07^{ab}_{A}	24.05^{ab}_{A}	23.32^{bc}_{A}	23.56^{b}_{A}
HY Comercial	50.0	24.88^{a}_{A}	25.76^{a}_{AB}	25.07^{a}_{AB}	26.55^{a}_{B}
HY sin cáscara	12.5	21.04^{de}_{A}	23.61^{ab}_{B}	22.31^{bcd}_{AB}	22.90^{bcd}_{B}
HY sin cáscara	25.0	21.38^{cde}_{A}	22.59^{bc}_{A}	22.94^{bc}_{A}	23.09^{bcd}_{A}
HY sin cáscara	37.5	22.19^{bcd}_{A}	23.10^{abc}_{A}	23.01^{bc}_{A}	23.56^{bc}_{A}
HY sin cáscara	50.0	23.54^{abc}_{A}	23.50^{ab}_{A}	23.68^{ab}_{A}	23.48^{bc}_{A}
HY con cáscara	12.5	19.63^{ef}_{A}	22.44^{bc}_{A}	20.88^{de}_{A}	21.28^{def}_{A}
HY con cáscara	25.0	18.62^{f}_{A}	19.69^{d}_{AB}	20.02^{e}_{B}	20.39^{ef}_{B}
HY con cáscara	37.5	19.61^{ef}_{A}	19.48^{d}_{A}	19.83^{e}_{A}	19.77^{f}_{A}
HY con cáscara	50.0	19.11^{ef}_{A}	18.79^{d}_{A}	19.83^{e}_{A}	19.60^{f}_{A}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

Al comparar el control con los panes elaborados con harina de yuca comercial, se encontraron diferencias significativas con los panes elaborados con proporciones de 37.5% y 50%. Se encontró una tendencia similar al comparar el control con los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara. Los panes elaborados con harina de yuca con cáscara presentaron características similares al control.

4.6 Aw de la miga del pan a través del tiempo

Los valores de actividad de agua muestran una fracción del contenido de agua total de las muestras que está libre, y en consecuencia disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diversas reacciones químicas que afectan la estabilidad del alimento (Montoya y Giraldo, 2010).

La **Tabla 21** muestra el análisis de varianza de los panes para la variable de Aw. El análisis de varianza reportó, que se encontraron diferencias significativas a través del tiempo entre los días 1 y 13, principalmente en los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara, observando una disminución en el valor.

En general, el Aw no se ve afectado, tanto por la fuente de la harina, así como los niveles de sustitución utilizados.

Tabla 21: Aw de la miga de pan con el tiempo de almacenamiento

Tratamiento		Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Fuente	% Yuca				
Control	0.0	0.86^{bc}_{A}	0.85^{bc}_{AB}	0.85^{c}_{AB}	0.85^{c}_{B}
HY Comercial	12.5	0.86^{c}_{A}	0.85^{c}_{A}	0.85^{bc}_{A}	0.85^{c}_{A}
HY Comercial	25.0	0.87^{ab}_{A}	0.87^{c}_{A}	0.87^{a}_{A}	0.86^{abc}_{A}
HY Comercial	37.5	0.86^{bc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{bc}_{A}
HY Comercial	50.0	0.86^{bc}_{A}	0.87^{ab}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{ab}_{A}
HY sin cáscara	12.5	0.87^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}
HY sin cáscara	25.0	0.87^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{AB}	0.86^{abc}_{AB}	0.86^{bc}_{B}
HY sin cáscara	37.5	0.87^{abc}_{A}	0.86^{bc}_{B}	0.86^{bc}_{B}	0.86^{bcd}_{B}
HY sin cáscara	50.0	0.87^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{AB}	0.86^{bc}_{B}	0.86^{bcd}_{B}
HY con cáscara	12.5	0.86^{bc}_{A}	0.85^{bc}_{AB}	0.85^{c}_{AB}	0.85^{cd}_{B}
HY con cáscara	25.0	0.86^{bc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{A}
HY con cáscara	37.5	0.87^{abc}_{A}	0.86^{abc}_{AB}	0.86^{bc}_{AB}	0.86^{bcd}_{B}
HY con cáscara	50.0	0.88^{a}_{A}	0.86^{abc}_{B}	$0.87B^{ab}_{B}$	0.87^{a}_{AB}

Valores con distintos superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Valores con distintos subíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo.

Comparado el control, con los panes elaborados con harina de yuca comercial, no se evidenció diferencia significativa para el parámetro de Aw. Se encontró la misma tendencia entre el control y los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara. Al comparar el control con los panes elaborados con harina de yuca con cáscara, se reportó diferencia significativa con los elaborados con la proporción de 50%. Es de recalcar que todos los panes analizados, quedaron en el área de peligro para el ataque de hongos debido a las actividades de agua que presentaron.

4.7 Composición química de los panes en base seca

La **Tabla 22**, muestra el análisis de varianza de la composición proximal en base seca, exceptuando la humedad de todos los panes elaborados. En lo que respecta al contenido de proteína, no se encontraron diferencias significativas entre los panes en estudio. Cabe mencionar que el valor más alto en este parámetro se encontró en los panes elaborados con harina de trigo (9.73%). Esto se debe al aporte en proteína de la harina de trigo, el cual es aproximadamente de 12% a diferencias de las harinas de yuca que se encontraba en el intervalo de 11 – 12%. Aun así los panes elaborados con harina de yuca enriquecida con gluten presentan niveles aceptables de proteína, los cuales nutricionalmente en este aspecto pueden competir con los elaborados con harina de trigo.

En lo correspondiente al análisis de varianza para humedad, se encontraron diferencias significativas entre el control y los panes elaborados con harina de yuca comercial en la proporción de 50%. Igual ocurrió para los elaborados con harina de yuca sin cáscara. En tanto, para los panes elaborados con harina de yuca con cáscara se encontró diferencia con los que tenían 37.5 y 50%. Por lo visto anteriormente, existe una influencia por la cantidad de harina de yuca adicionada con la humedad. Cuando se tiene niveles altos de sustitución de harina de yuca,

los panes presentan una mayor humedad, en comparación con los panes desarrollados con harina de trigo, esto justifica lo dicho anteriormente cuando se evaluó el porcentaje en pérdida de peso, donde se observó que los tratamientos que presentaron el menor porcentaje de pérdida de peso fueron los que presentaron sustituciones altas de harina de yuca, independiente de la fuente de donde provenga.

Cabe recalcar que el Aw no se afecta aunque la humedad cambia significativamente. Esto va de acuerdo a lo establecido previamente en relación a la capacidad de los gránulos de almidón de yuca de absorber y retener agua.

Tabla 22: Composición proximal de los panes elaborados en base seca

Tratamiento		Proteína (%)	Humedad* (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos (%)
Fuente	% Yuca						
Control	0.0	9.73^{a}	27.28^{b}	2.05^{a}	0.35^{e}	1.48^{cd}	86.39^{a}
HY Comercial	12.5	9.46^{a}	29.85^{ab}	2.06^{a}	0.64^{de}	1.55^{bcd}	86.29^{a}
HY Comercial	25.0	9.63^{a}	29.11^{ab}	1.98^{a}	1.43^{abcd}	1.41^{d}	85.56^{a}
HY Comercial	37.5	9.39^{a}	29.09^{ab}	1.39^{a}	1.56^{ab}	1.72^{abcd}	85.94^{a}
HY Comercial	50.0	9.37^{a}	32.32^{a}	1.16^{a}	1.51^{abc}	1.98^{ab}	85.98^{a}
HY sin cáscara	12.5	9.70^{a}	31.15^{ab}	1.04^{a}	0.72^{cde}	0.93^{e}	87.62^{a}
HY sin cáscara	25.0	9.54^{a}	30.84^{ab}	1.02^{a}	0.78^{bcde}	1.60^{bcd}	87.06^{a}
HY sin cáscara	37.5	9.38^{a}	29.14^{ab}	1.91^{a}	1.51^{abc}	1.74^{abcd}	85.45^{a}
HY sin cáscara	50.0	9.33^{a}	31.82^{a}	1.35^{a}	1.58^{ab}	1.90^{abc}	85.86^{a}
HY con cáscara	12.5	9.54^{a}	31.20^{ab}	1.41^{a}	1.28^{abcd}	1.72^{abcd}	86.06^{a}
HY con cáscara	25.0	9.51^{a}	30.79^{ab}	1.64^{a}	1.45^{abcd}	2.01^{ab}	85.39^{a}
HY con cáscara	37.5	9.40^{a}	32.46^{a}	1.59^{a}	1.68^{a}	1.87^{abcd}	85.46^{a}
HY con cáscara	50.0	9.34^{a}	30.93^{a}	1.58^{a}	1.70^{a}	2.13^{a}	85.24^{a}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).
*Determinada en base húmeda

No se presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en el contenido de humedad, entre los panes elaborados con harina de yuca, independiente de la fuente y porcentaje de sustitución utilizados.

En lo que se refiere al contenido de grasa, el análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas ($p \geq 0.05$), entre los tratamientos considerados.

Con lo referente al contenido de fibra, los únicos tratamientos que no presentaron diferencias significativa con respecto al control fueron los panes elaborados con harina de yuca comercial 12.5% y harina de yuca sin cáscara 12.5 y 25%. Los cuales presentaron contenidos de fibra menores a 0.78%. Al comparar según el porcentaje de yuca, comenzando por el de 12.5%, solo para harinas de yuca, podemos observar que no existen diferencias entre los panes elaborados con harina de yuca comercial y harina de yuca sin cáscara, pero si existen diferencias con respecto a los elaborados con harina de yuca con cáscara. En el caso de 25%, no se encontraron diferencias entre los tres tipos de panes fabricados con harina de yuca. Igual tendencia se encontró para los elaborados con las proporciones de 37.5% y 50%. Aunque no se presentaron diferencias significativas según el análisis de varianza, a simple vista se puede observar que los panes elaborados con harina de yuca con cáscara en las sustituciones de 37.5% y 50%, fueron los que presentaron mayor contenido de este parámetro. Lo cual se esperaba, sabiendo que las harinas de yuca con cáscara fueron las que presentaron niveles de fibra más alto cuando se le realizó el análisis proximal.

Para el contenido de ceniza, el análisis de varianza reporta diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre el pan control y los elaborados con harina de yuca comercial 50%, harina de yuca sin cáscara 12.5% y harina de yuca con cáscara 12.5 y 50%. Si se tienen en cuenta sólo, los panes elaborados con la proporción de 12.5%, se encontraron diferencias sólo con los elaborados con harina de yuca sin cáscara, el cual tenía un valor de 0.93%. Para los elaborados con 25%, se encontraron diferencias con los fabricados con harina de yuca con cáscara. Los que se elaboraron

con la proporción de 37.5 % no se encontraron diferencias entre sí, lo mismo ocurrió con los elaborados con 50% de harina de yuca.

Se podría comparar también las harinas de yuca comercial entre sí, encontrándose diferencia con la que presenta 50%. Al observar esto mismo con la harina de yuca sin cáscara, la que presentó diferencia fue la elaborada con 12.5% en sustitución. Y para harina de yuca con cáscara no se presentaron diferencias entre las sustituciones utilizadas.

Luego de realizar este análisis de ceniza, se puede destacar, que los panes elaborados con harinas de yuca con cáscara, son los que presentan niveles más uniformes de este parámetro, y más que la sustitución utilizada, es la fuente de la harina la que puede ser significativa para el aporte de ceniza en los panes elaborados. Si observamos la **Tabla 9**, el mayor aporte en ceniza fue para la harina de yuca con cáscara. Estos valores altos en ceniza se pueden traducir en un mayor aporte de minerales.

El análisis de varianza no reportó diferencias significativas para la variable de carbohidratos, encontrándose valores en intervalos de 85.16 – 87.62.

4.8 Determinación de la presencia de mohos

La **Tabla 23** muestra el día de formación de mohos en los panes elaborados, luego de haberlos dejado en bolsas de polietileno a temperatura de salón, lejos de condiciones de humedad y posibles fuentes de contaminación. El análisis de varianza reportó que no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), entre los tratamientos en estudio. Esto quiere decir que la fuente de la harina, así como la sustitución de esta en la elaboración de panes, no representa condiciones favorables o desfavorables para la aparición de hongos. Es importante resaltar que la aparición de hongos fue entre los días 10 y 12 (**Apéndice D**) y a los panes no se le agregó ningún

tipo de preservativo. Estudios elaborados por Henao (2004), en panes elaborados a partir de harina de yuca-trigo, los panes presentaron moho en la corteza del pan, entre 8 – 10 días.

Lo tipos de mohos más frecuentes y que se observaron en esta investigación son:

Rhizopus nigricans: color negro de aspecto algodonoso.

Mucor mucedo: de color blanco en la primera etapa, que se va oscureciendo hasta llegar a ser negro-marrón.

Asperguillus niger: color blanco o amarillo pálido en la fase inicial, convirtiéndose más tarde de color negro.

Penicillum expansum: Color azul brillante o verde.

Neurospora sitophila, color rojo-naranja, es frecuente cuando el pan está mal cocido o se ha empaquetado caliente

Tabla 23: Día de formación de hongos en los panes

Tratamiento		**Día de formación**
Fuente	**% Yuca**	
Control	0.0	11.89[a]
HY Comercial	12.5	11.00[a]
HY Comercial	25.0	11.56[a]
HY Comercial	37.5	11.67[a]
HY Comercial	50.0	11.78[a]
HY sin cáscara	12.5	11.67[a]
HY sin cáscara	25.0	11.56[a]
HY sin cáscara	37.5	11.67[a]
HY sin cáscara	50.0	11.33[a]
HY con cáscara	12.5	11.11[a]
HY con cáscara	25.0	11.67[a]
HY con cáscara	37.5	11.56[a]
HY con cáscara	50.0	11.00[a]

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativa ($p \leq 0.05$).

En general, la mayoría de los productos de panadería recién hechos, al salir del horno están exentos de mohos tanto en su forma vegetativa como en esporas. Pero inmediatamente después

se convierten en un medio de cultivo óptimo, sobre el que se depositan las esporas que se encuentran en el aire. Desde la germinación de una espora hasta la formación de una colonia, trascurren de 2 a 3 días. Son de vida vegetativa y aeróbica, es decir, necesitan oxígeno para reproducirse, por eso es frecuente que los hongos proliferen en la corteza, que es la zona más expuesta al aire que contiene la bolsa. Condiciones favorables para la formación de hongos en los panes son las siguientes:

- Falta de cocción- El pan ha de contener una humedad máxima de 38%. Si sobrepasa este porcentaje el medio es más favorable para la aparición de mohos.
- Falta de acidez - El pH, con valores entre 5.7 y 5.9 o superiores, facilita la proliferación microbiana. La reducción del pH por fermentación prolongada o por la adición de algunos reguladores de pH favorece un tiempo de mayor conservación.
- Falta de conservantes- La adición de anti-moho en el pan, como los propionatos de sódio y calcio, así como los sorbatos de potasio y cálcio, retrasan el crecimiento de los hongos.
- Grado de contaminación ambiental- Es uno de los factores fundamentales para el desarrollo microbiano en el pan, que se ven afectados por cantidad de esporas que se encuentran flotando en el aire, dentro de la sala de enfriamiento y de empaquetado.
- Altas temperaturas ambientales- La temperatura ambiente influye en el crecimiento superficial de hongos, siendo la temperatura óptima para su desarrollo la de 30^{O}C. Se considera pertinente mantener el pan a temperaturas en torno a 20^{O}C.

4.9 Análisis Sensorial de los panes

La evaluación sensorial fue realizada para los panes elaborados con harina de trigo (control), harina de yuca comercial 25%, harina de yuca sin cáscara 12.5%, 25% y 37.5%. Se utilizó una

prueba de ordenamiento simple donde el atributo a evaluar fue la preferencia. Se le asignó 1 a los panes de mayor preferencia y 5 a los de menor preferencia. Cuarenta panelistas no adiestrados evaluaron las muestras (**Apéndice F**).

Tabla 24: Análisis sensorial de panes

Tratamiento		**Valoración**
Fuente	**% Yuca**	
Control	0.0	79^{a}
HY comercial	25.0	124^{b}
HY sin cáscara	12.5	110^{ab}
HY sin cáscara	25.0	123^{b}
HY sin cáscara	37.5	163^{c}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El análisis de varianza mostrado en la **Tabla 24**, evidencia que no se encontraron diferencias significativas, entre el control y los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%. Asimismo se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y los panes elaborados con harina de yuca comercial 25% y harina de yuca sin cáscara 25% y 37.5%. El análisis deja ver claramente que los panelistas prefirieron mayormente a los panes elaborados con harina de trigo (control) y los elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%. Si se comparan los panes elaborados con harina de yuca entre sí, no se encontraron diferencias entre los panes elaborados con harina de yuca comercial 25% con los elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5% y 25%. Los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara 37.5% presentaron diferencias significativas en comparación con los demás. Los panelistas calificaron a estos panes con la menor preferencia y comentaron que estos panes presentaban un sabor levemente amargo en comparación con los demás y duro al masticarlo, lo que concuerda con los datos de textura analizados anteriormente.

5. CONCLUSIONES

De la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

- Es posible la fabricación de harina de yuca, y usarla en la elaboración de productos como lo es el pan.
- Las harinas de yuca enriquecidas fabricadas cumplieron con los parámetros establecidos por el Codex Alimentarius, tanto física como químicamente.
- Los valores de proteínas que se encontraron en las harinas de yuca enriquecidas con gluten fueron de 11-12%, siendo valores aptos para obtener panes de buena calidad.
- Las isotermas desarrolladas fueron características para el tipo de alimento elaborado. Las isotermas de harina de yuca presentaron tendencias similares a las isotermas de harina de trigo.
- El pH y actividad de agua de las masas no se afectó significativamente al variar las fuentes y niveles de sustitución de harinas de yuca.
- El crecimiento de la masa se vio afectado por los niveles de sustitución de harina de yuca utilizando las tres fuentes. A medida que aumentó el nivel de sustitución, el crecimiento fue menor durante la fermentación. A pesar de que el valor de proteínas eran aceptables para que el pan creciera convenientemente, intervinieron otros factores para que esto no sucediera. Tal es el caso de la cantidad de fibra en las harinas con valores altos de sustitución.
- Los panes que presentaron un nivel de sustitución de 12.5%, presentaron características muy parecidas al control.
- El porcentaje de crecimiento durante el horneado de los panes estuvo entre 21-31%.

- El volumen específico de los panes elaborados con harina de trigo-yuca se afectó por el nivel de sustitución utilizado y contenido de fibra. Al aumentar el nivel de sustitución y contenido de fibra, el volumen específico fue menor. Sin embargo sustituciones entre 12.5 y 25% se podrían considerar aceptables.
- Los panes que presentaron mayor pérdida de peso durante el horneado fueron los elaborados con harina de trigo (control). Aquellos que contenían un nivel de sustitución de harina de yuca mayor, fueron lo que menos peso perdieron. El almidón de yuca tiene una capacidad mayor de absorción de agua que el almidón de trigo. A mayor cantidad de almidón de yuca, mas absorbe agua el pan, y más difícil es que se evapore durante el proceso de horneado.
- El nivel de sustitución y los días de almacenamiento tuvieron un efecto sobre en la dureza de los panes. A medida que aumentó el porcentaje de sustitución, en general, la dureza aumento levemente.
- La esponjosidad no se afectó significativamente.
- Se evidenciaron efectos significativos sobre la variable L*, Hue y Croma. En cuanto a la variable L*, esta disminuyó al aumentar los niveles de sustitución y los días de almacenamiento. Los panes elaborados con sustituciones de 12.5% y 25% fueron los más semejantes al control. Igual tendencia se encontró con la variable Hue. En la variable croma, los panes elaborados con harina de yuca comercial y sin cáscara, los valores aumentaron levemente al aumentar el nivel de sustitución de harina de yuca. En los panes elaborados con harina de yuca con cáscara, los valores se mantuvieron casi iguales en todos los niveles de sustitución.

- No se evidenciaron efectos significativos en cuanto al Aw de la miga, en la mayoría de los panes, por la fuente utilizada y nivel de sustitución. Al trascurrir el tiempo, los valores de Aw en cada uno de los tratamientos se afectaron poco. Sin embargo los panes elaborados con niveles de sustitución de 50%, presentaron Aw mayores.
- En general, el análisis proximal realizado a todos los panes no dejó ver muchas diferencias con respecto al control. Las diferencias más notorias se pueden observar en los análisis de fibra y ceniza, donde los porcentajes de 37.5 y 50%, presentaron alto contenido de estos parámetros. Aunque los panes con altos niveles de sustitución no presentan un gran crecimiento y volumen específicos menores, nutricionalmente pueden ser atractivos para un segmento de la población.
- La formación de hongos en los panes se presentó entre los días 10-12. No se encontró efecto significativo por el nivel de sustitución y fuente utilizada. La mayoría de los factores que intervienen en la aparición de mohos son externos.
- El análisis sensorial reportó que los panes elaborados con harina de trigo (control), fueron los preferidos por los panelista, seguido de los elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%. Cabe resaltar que el análisis de varianza no reportó diferencias significativas entre ellos. Los panelistas no encontraron diferencias significativas entre los panes elaborados con harina de yuca en las proporciones de 12.5 y 25%, pero si con los elaborados con 37.5%. Encontraron que los panes elaborados con 37.5% tenían un sabor algo amargo al paladar y con consistencia dura.
- En conclusión, se pueden elaborar panes utilizando harinas de trigo-yuca, en diferentes proporciones, observando buenos resultados cuando los porcentajes utilizados están por debajo de 25%.

6. RECOMENDACIONES

- Al utilizar niveles de sustituciones altas de harina de yuca es recomendable evaluar el nivel de levadura adicionada, el tiempo de fermentación y el uso de otras sustancias con el fin de obtener panes de buena calidad.
- Sería de vital importancia estudiar la reología de las harinas utilizadas en esta investigación en posteriores trabajos, con el objeto de determinar la calidad, como harina panificable.
- Realizar estudios de panificación utilizando harinas de yuca, que sean libres de gluten, destinado a personas alérgicas a este componente.
- Se recomienda el uso de harinas de yuca con niveles de sustitución altos en productos, como es el caso de las galletas, donde no se necesita que la masa crezca demasiado.
- Se hace necesario realizar campañas de promoción para dar a conocer estos tipos de productos e incentivar el uso de harinas de yuca en panificación.
- Promover investigaciones en el programa de maestría de Ciencia y Tecnología de Alimentos destinada al desarrollo de nuevas tecnologías y productos en el tema de panificación que promuevan el desarrollo de la industria panadera en Puerto Rico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. 1984. Approve method. 8th edn. Washington D. C: American Association of Cereal Chemists Approve Methods. AACC (2000) Approved Methods. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU. pp. 15-16.
- AOAC.1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- Aleixandre, J.L. 1996. Procesos de elaboración de alimentos. Ed. Acribia S.A., Zaragoza.
- Aleixandre, J.L.: García, M.J. 1999. Industrias Agroalimentarias. Ed U.P.V., Valencia.
- Allem, 2002. The originis and taxonomy of cassava in: Hillocks, R.J, Tres, JM and 9-Belloti. A.C. (Eds). Cassava: biology, Production and utilization. CABI Publish pp 1 – 16.
- Balagopalan, C. 2002. Cassava Utilization in Food, Feed and Industry. Crop Utilization and Biotechnology, Central Tuber Crops Research Institute, Sreekariyam, Trivandrum 695 017, Kerale, India.
- BENITEZ, Betty, ARCHILE, Anangelina, RANGEL, Lisbeth *et al*. 2008, Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *INCI*, vol.33, no.1, p.61-65. ISSN 0378-1844
- Buitrago A., J, A .1990. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 446 p.
- Bourgeois, C.M.; Larpent, J. P. 1995. Microbiología Alimentaria II: Fermentaciones Alimentarias. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Calaveras, Jesús. 2004. Nuevo Tratado de Panificación y Bollería. Segunda edición. Madrid, España. 622 p.
- Cauvin, A.CH.; Young L.S. 1998. Technology of Breadking. Ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Callejo, M.J. 2002. industrias de Cereales Y derivados. Ed AMV- Mundi-Prensa, Madrid.

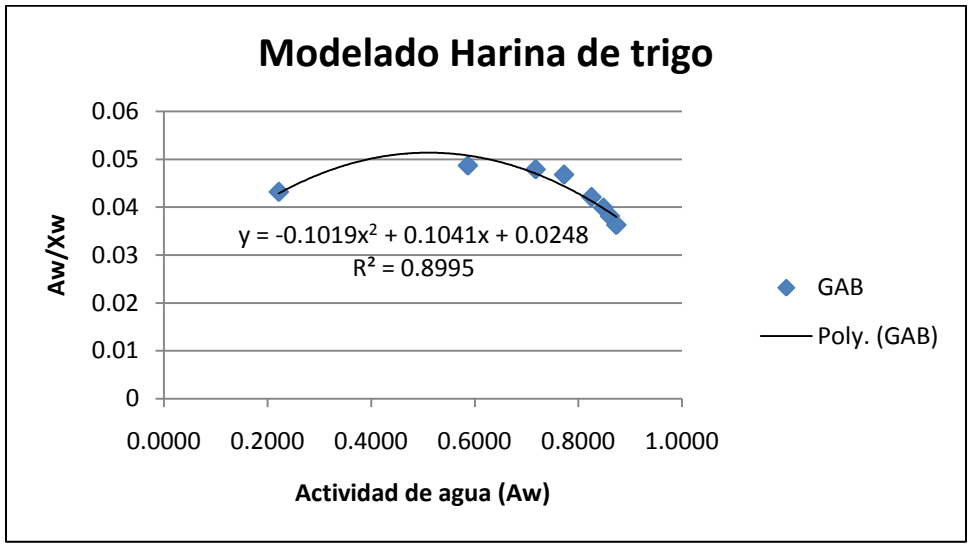
- Ceballos, H. 2002. La yuca en Colombia y el Mundo. En: H. Ceballos and B. Ospina eds.) La Yuca en el Tercer Milenio. CIAT, Cali, Colombia p. 1-13.
- Ceballos, H. y De la Cruz, G.A. (2001). Taxonomía y Morfología de la Planta. En: H. Ceballos and B. Ospina (eds.) La Yuca en el Tercer Milenio. p. 17-33. CIAT, Cali, Colombia.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT. 1979. Curso de producción de yuca. Cali: s.n., p. 42
- De la Vega, H. 2009. Proteínas de la harina de trigo: Clasificación y propiedades funcionales. Temas de Ciencia y Tecnología. Mexico. Vol.13 (38) p 27-32.
- DEFLOOR, Y., DE GEEST, C., SCHELLEKENS, M., MARTENS, A.,DECLOUR, J. 1991. Emulsifiers and/or extruded starch on the production of breads from cassava. Cereal Chem. 68(4): 323-327
- Departamento de Agricultura. 2010. Oficina de Estadísticas Agrícolas. Farináceos – Yuca. Estado Libre Asociado de Puerto Rico
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2010.
- EEA, 1997. Conjunto Tecnológico para la Producción de Raíces y Tubérculos. Publicación 101. EEA. Río Piedras, Puerto Rico.
- Frágenas, N.1994. Estudio tecnológico, físico-químico, microbiológico y organoléptico para elaborar queso blanco llanero de buena calidad. Tesis de Postgrado. Título de Magíster Scientiarum en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 110p.
- FAO, 2007. Producción Mundial de Yuca.
- FAO, 2000. Defensa de la Causa de la Yuca. Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Garza, A. 2007. El trigo. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Salud Pública y Nutrición. Licenciatura en Nutrición. Monografía. México.
- González, A. y Cardona, J. 2002. Selección de Genotipos de Yuca con potencial de Cosecha Precoz. Nota de Investigación. J. Agric. Univ. P.R. 86(3-4):159-161
- Guinet, R.; Gondon, B. 1996. La panificación. Ed Montagud, Barcelona.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS.1986.Evaluación técnico-funcional de harinas de yuca en panificación. No1. Bogotá: IIT. 13 p.

- Kamel, B.S. 1993. Advances in Baking Technology. Ed. VCH, New York.
- Lacayo, M. 2008. Determinación del Contenido de Betacaroteno en Harina de Yuca (Manihot *esculenta)* biofortificada tipo panificable. Nicaragua.
- Fellows, P. 1993. Tecnología del Procesado de los alimentos: Principios y Prácticas. Ed Acribia, Zaragoza.
- Henao, O; S. 2004. Estudio Tecnológico de la Utilización de la Harina de Yuca en Panificación. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración. Tesis de Grado para Optar Título de Ingeniería Industrial. 128p.
- Lelley, J. 1976. Wheat breeding, theory and practice. Publishing house of the hungarian academy of Science. Akademiai Kiado, Hungría. 485 p.
- Mahan, L. Kathleen. 1996. Krause's Food, Nutrition and Diet Therapy. W.B Saunders Company, Toronto.
- Mesas J.M.; Alegre M.T.; 2002, El Pan y su proceso de elaboración. Ciencia y Tecnología Alimentaria, dicembre, año/vol 3, número 005. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México. Pp. 307 – 313.
- Montoya, J y Giraldo, G. 2010. Caracterización físico – química de la harina de trigo, masa y pan. Grupo de Investigación de Agroindustria de Frutas Tropicales, Laboratorios de diseño de nuevos productos. Universidad del Quindío. p 24
- NORMA DEL CODEX PARA LA HARINA DE YUCA COMESTIBLE CODEX STAN 176-1989 (Rev. 1 - 1995).
- Ospina, B. y H. Ceballos. 2002. La yuca en el tercer milenio. (eds.). 586 pp. Publicación CIAT No. 327.
- PACHECO-DELAHAYE, Emperatriz y TESTA, Giusepina. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de plátano verde. INCI, vol.30, no5, p.300 – 304. ISSN 0378 – 1844.
- Peña, R.J. Bread. 2002. Wheat improvement and production. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Pochon, D.O.; Koslowski, H.A.; Picot, J.A.; Navamuel, J.M. 2010. Efectos de la sustitución parcial de maíz por harina integral de mandioca sobre variables productivas de cerdos en crecimiento. Rev. vet. 21: 1, 38–42.

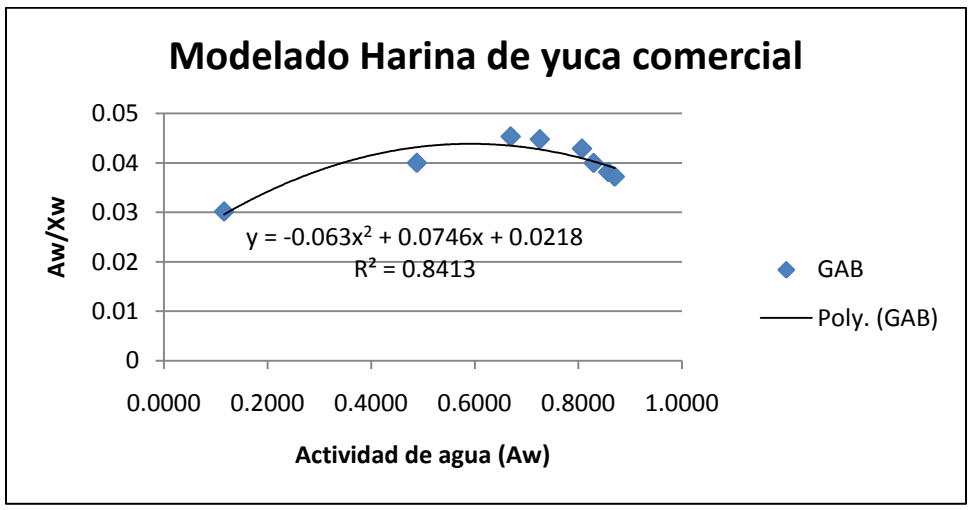
- Quaglia, G.1991. Ciencia y Tecnología de la Panificación. Ed. Acribia, Zaragoza.
- RAHMAN, S. 1995. Food properties handbook. CRC press, Boca Raton, FL.:1-83.
- Salas, S; Guzmán, Y. 1995. Experiencia sobre la producción de harina de yuca en la amazonía peruana. En Agroindustria Rural, Recursos Técnicos y Alimentación. F.Boucher; J. Muchnik, editores. CIRAD, CIID, IICA, San José, pp. 474- 485.
- Salazar E, Álvarez, L. 2001. Características objetivas y subjetivas en la evaluación de panes elaborados con harinas compuesta de trigo (*Triticum vulgare*, Yuca dulce (*Manihot esculenta)* y subproductos amiláceos del maíz (Zea mays). Unidad de Cursos Básicos. Departamento de Ingeniería Química. Núcleo Anzoátegui. Universidad del Oriente. Venezuela. Vol. 13. N 1: 50 – 54.
- Tejero, F. 1995. Panadería Española. (2 Vols.). Ed Montagud, Barcelona.
- The Bread and Flour Regulations 1998 and shall come into force on 19th February 1998.
- Tinoco, A. 2008. Efecto de aditivos mejoradores sobre la calidad organoléptica y tiempo de vida útil en la elaboración de pan de almidón de yuca. Tesis de grado de ingeniería de alimentos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. p47.
- TOLOBA, M. P.; PELTZER, M.; ENRIQUEZ, N.; POLLIO, M. L. 2004. Grain sorption equilibria of quinoa grains. Journal of Food Engineering, 61(3):365-371.
- VAN DER BERG, C. Y BRUIN, S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: theorycal aspects, in water activity: Influence on food quality, Ed by Rockland LB and Stewart GF, Academic Press, New York,:1-61.
- Wu Leung, W. 1979. Tabla de Composición de Alimentos Para Uso en América Latina. INCAP, Guatemala.
- ZHANG, X.; XIE LIU, DE-XIANG GU, WEI ZHOU, REN-LI WANG, PEN LIU.1996. Desorption Isotherms of Some Vegetables. Journal Science Food Agriculture, v. 70, n. 3, p. 303-306.

APÉNDICE

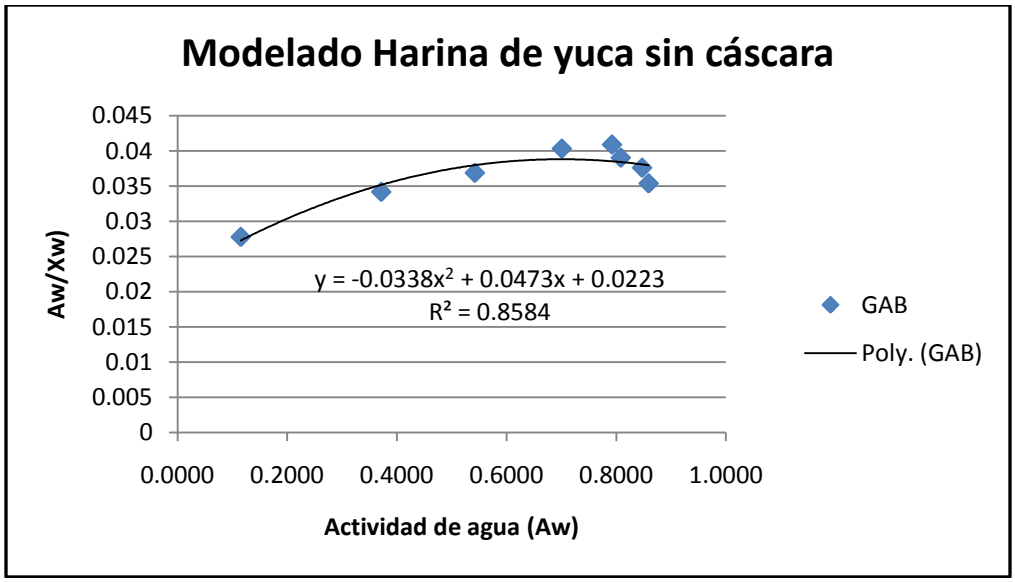
Apéndice A: Modelado de las isotermas y coeficientes estimados.



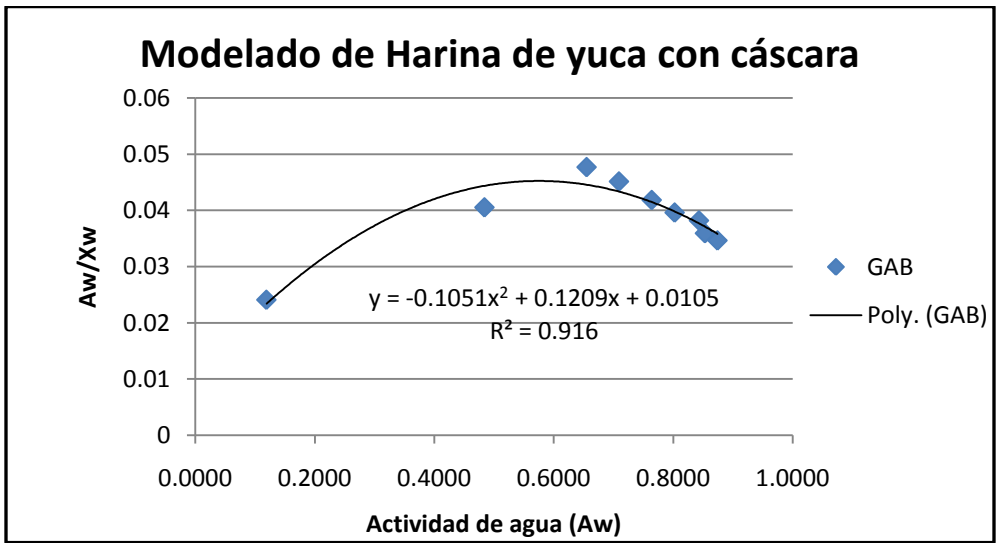
Parámetros estimados:
K: 0.82 Cf: 5.12 Xm: 9.60



Parámetros estimados:
K: 0.70 Cf: 4.88 Xm: 13.40

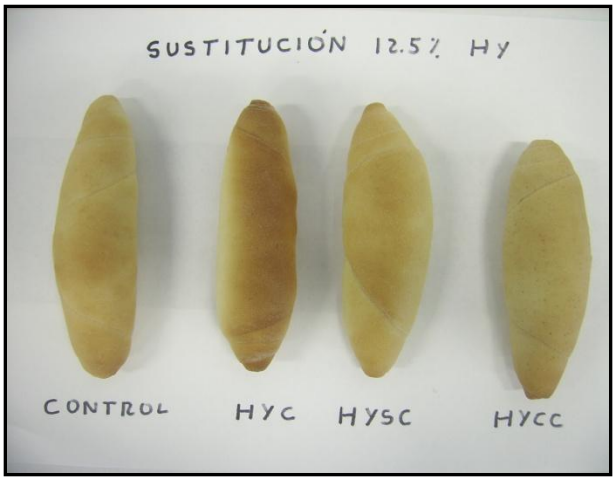


Parámetros estimados:
K: 0.56 Cf: 3.75 Xm: 21.14

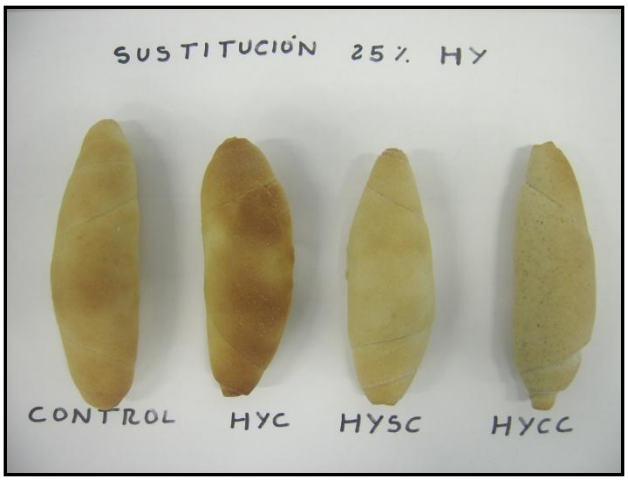


Parámetros estimados:
K: 0.81 Cf: 14.17 Xm: 8.27

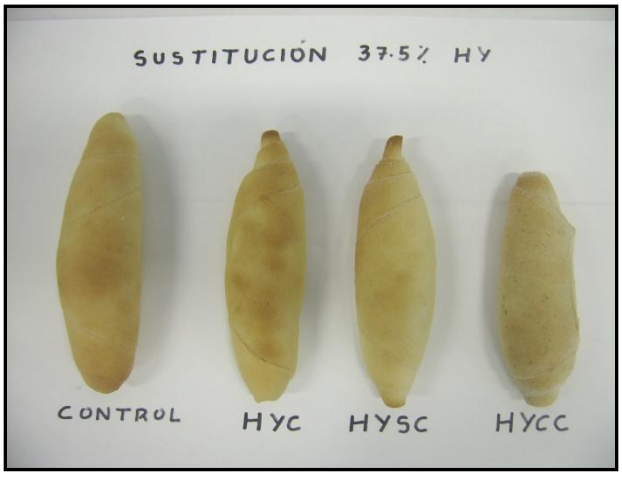
Apéndice B: Fotografías de los panes por el nivel de sustitución



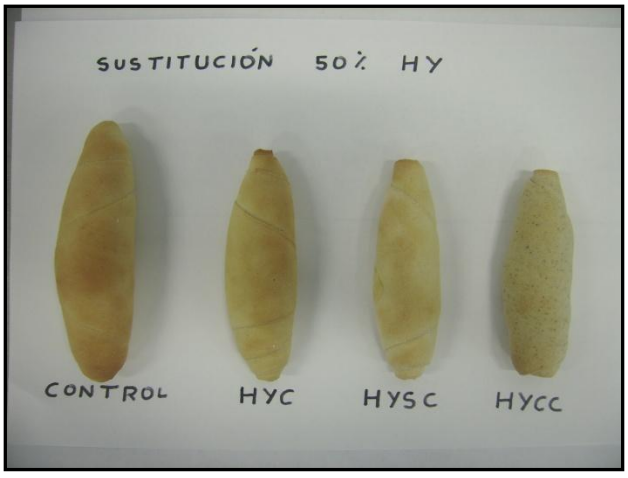
B1- 12.5% de sustitución



B2 – 25% de sustitución

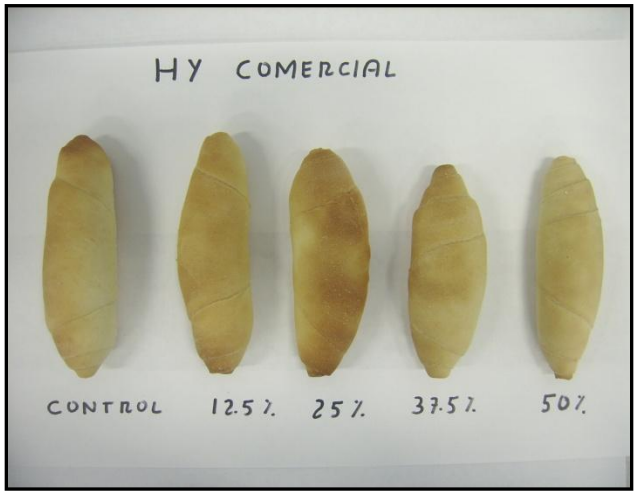


B3 - 37.5% de sustitución

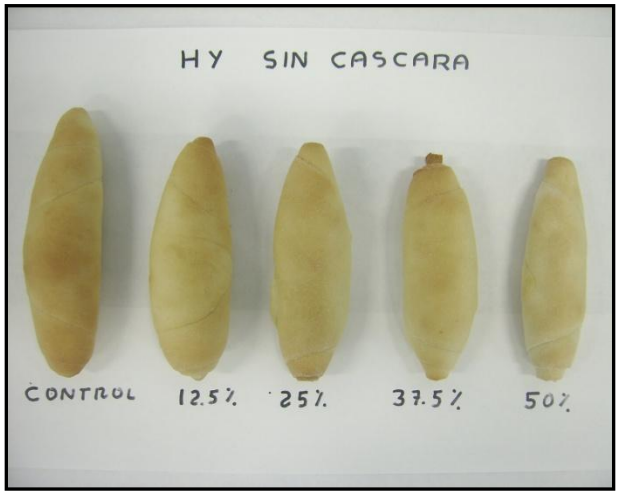


B4 – 50% de sustitución

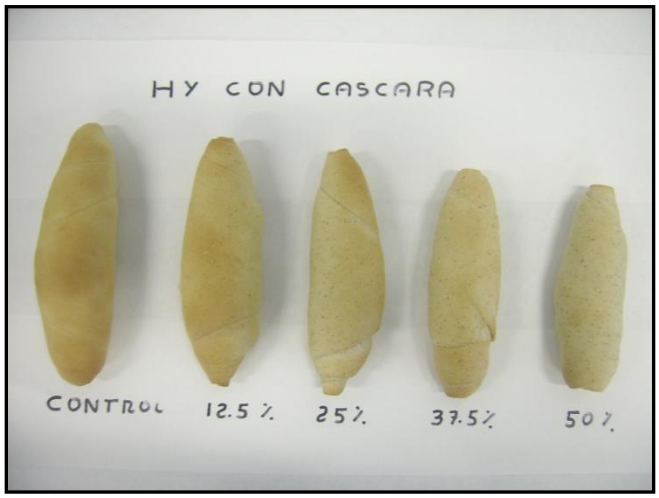
Apéndice C: Fotografía de los panes por la fuente de la harina



C1- Panes harina de yuca comercial



C2- Panes harina de yuca sin cáscara



C3- Panes harina de yuca con cáscara

Apéndice D: Ejemplos de mohos en algunos panes

D1 – Mohos en el día 10

D2 – Mohos en el día 10

D3 – Moho en el día 12

D4 – Mohos en el día 11

Apéndice E: Hoja de panelista utilizada para análisis sensorial

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Prueba de Ordenamiento Simple
Atributo: Preferencia

Número de Panelista _____ **Fecha_____**

Producto: Pan elaborado a partir de harina de trigo-yuca
Ingredientes: Harina de trigo, harina de yuca, azúcar, sal, levadura, gluten, margarina y agua.

Instrucciones: Se le han dado 5 muestras de pan codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Escriba el número de cada muestra en los espacios provistos. Evalué las muestras de **izquierda** a **derecha** y determine su preferencia para las muestras. Asigne 1 a la muestra de mayor preferencia y 5 a la de menos preferencia. No puede haber empates. Si no sabe distinguir las muestras adivine. Tome un poco de agua entre cada muestra para limpiar el paladar.

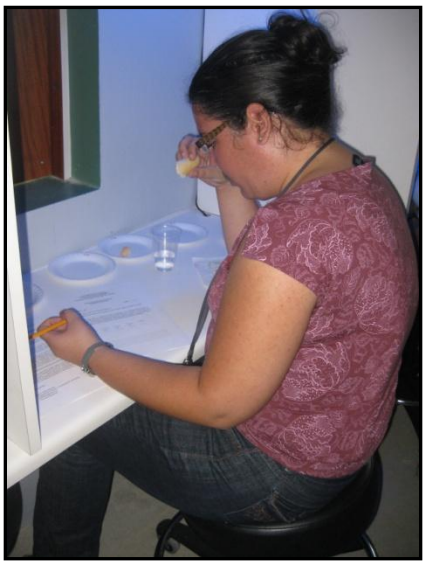
Muestras	_____	_____	_____	_____	_____
Preferencia	_____	_____	_____	_____	_____

Comentarios:
_____
_____
_____
_____
_____

Apéndice F: Fotografías del panel sensorial

F1 - Muestras utilizadas

F2 – Preparación del panel



F3 - Panelistas en la evaluación sensorial de las muestras de panes