

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos
dulces destinados para la alimentación de celíacos”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Lourdes Gabriela Alvarado Tay-Lee

GUAYAQUIL- ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A mi Dios por darme la vida,
a mis padres por su apoyo,
a mis maestros por sus
enseñanzas y ayuda. Y a
todas las personas que han
contribuido a mi crecimiento
profesional y personal. Mil
gracias y que Dios los
bendiga siempre a cada uno
de ustedes.

DEDICATORIA

A MI DIOS

A MIS PADRES

A MI HERMANO

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP

Msc. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Sandra Acosta D.
VOCAL

Msc. Priscilla Castillo S.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Lourdes Alvarado T.

RESUMEN

El pan, los fideos y los cereales, que pueden considerarse alimentos de consumo cotidiano para cualquier persona, pueden ser una amenaza contra su salud para otras. Y es que dichos productos comestibles a base de trigo, al igual que otros, comparten un mismo componente: el gluten, al cual los celíacos son intolerantes. En efecto, al ingerir cualquier alimento que contenga gluten, este grupo de personas presentan desórdenes intestinales, y con ello diarrea, gases estomacales, cólicos abdominales, pérdida de apetito y debilidad.

Siendo la yuca un cultivo tradicional en el Ecuador que no contiene gluten y ante la necesidad de la situación planteada, el presente trabajo de investigación propone obtener una mezcla base, que pueda sustituir a la harina de trigo. Esta premezcla se utilizará en la formulación de pan y galletas.

Con la obtención de estos productos, se persigue brindar una alternativa de alimentación de fácil y rápida preparación a los consumidores ecuatorianos que no pueden consumir alimentos que contengan gluten.

En la primera parte del trabajo, se darán a conocer de manera clara algunas generalidades de la enfermedad celíaca que padece el grupo de personas para el cual esta tesis es dirigida. Así mismo, se presentarán los aspectos generales de la materia prima, tales como zonas de cultivo, composición nutricional y beneficios de la yuca.

Posteriormente, se realizará un estudio del proceso de obtención de la harina de yuca mediante la realización de las debidas pruebas experimentales, el cual incluye la selección de materia prima, obtención de curvas de secado, caracterización de la harina de yuca, etc.

Después, se elaborará un polvo base y se establecerá su tiempo de vida útil. Adicionalmente, se determinarán las aplicaciones de esta harina para la formulación de productos tales como pan y galletas. La aceptación de los mismos será medida mediante evaluaciones sensoriales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. La Enfermedad Celíaca.....	4
1.1.1. Definición.....	4
1.1.2. Causas de la Enfermedad.....	6
1.1.3. Sintomatología y Consecuencias.....	7
1.2. Materia Prima.....	8
1.2.1. Cultivo y disponibilidad de la yuca.....	8

1.2.2. Composición y Valor Nutricional.....	10
1.2.3. Beneficios.....	10
1.3. Proceso de Secado.....	12
1.3.1. Velocidad de Secado.....	12
1.3.2. Actividad de Agua e Isotermas.....	14

CAPÍTULO 2

2. PROCESO DE OBTENCION DE LA HARINA DE YUCA.....	16
2.1. Selección de Materia Prima.....	17
2.1.1. Especificaciones Físicas.....	17
2.1.2. Especificaciones Químicas y Organolépticas.....	20
2.2. Proceso Experimental.....	22
2.2.1. Proceso de elaboración de harina.....	22
2.2.2. Etapas del secado.....	26
2.2.2.1. Parámetros del proceso.....	26
2.2.2.2. Curvas de Secado.....	28
2.3. Caracterización de la harina de yuca.....	35

CAPÍTULO 3

3. APLICACIONES DE LA HARINA DE YUCA.....	41
3.1. Elaboración de Mezcla Base.....	42
3.1.1. Ingredientes.....	42

3.1.2. Aditivos.....	44
3.1.3. Fórmula.....	46
3.2. Galletas.....	53
3.2.1. Diagrama de Proceso.....	53
3.2.2. Formulación.....	56
3.2.3. Prueba Sensorial.....	58
3.3. Muffins.....	63
3.3.1. Diagrama de Proceso.....	63
3.3.2. Formulación.....	65
3.3.3. Prueba Sensorial.....	68

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
g	Gramo
g/ml	Gramo por mililitro
h	Hora
Kg	Kilogramos
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
ml	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
s	Segundo
µm	micrómetros
%	Por ciento

SIMBOLOGIA

A	Área
a_w	Actividad de agua
b.h.	Base húmeda
\bar{D}_p	Diámetro promedio
$D_{p_{sup}}$	Diámetro superior
ERH	Humedad relativa en equilibrio
H_2O	Agua
HR	Humedad relativa
m	Masa inicial
m_e	Humedad de equilibrio del alimento con el ambiente
m_c	Humedad crítica para el empaque
m_o	Humedad inicial
pH	Potencial de Hidrógeno
R	Velocidad de Secado
s.s.	sólido seco
T	Temperatura
t	Tiempo
Δt	Diferencial de tiempo
Δx	Diferencial de Humedad libre
x	Humedad Libre
x_c	Humedad crítica
x_t	Humedad en base seca
x^*	Humedad en equilibrio
W	Peso de la muestra
W_s	Peso de sólidos secos

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1 Equipos y materiales utilizados para medir pH, Humedad y Actividad de Agua.....	22
Figura 2.2 Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración de Harina.....	25
Figura 2.3 Isoterma de desorción de la yuca.....	29
Figura 2.4 Humedad en base seca (xt) en función del tiempo (t) durante el secado de yuca.....	31
Figura 2.5 Velocidad de Secado en función de la humedad libre.....	32
Figura 2.6 Curva de Velocidad de Secado.....	33
Figura 2.7 Isoterma de adsorción de harina de yuca a 32°C.....	37
Figura 2.8 Equipo de Tamizado.....	38
Figura 3.1 Isoterma de adsorción de la mezcla base.....	48
Figura 3.2 Diagrama de Procesos para elaborar galletas.....	55
Figura 3.3 Diagrama de Procesos para elaborar muffins.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Causas Posibles de la celiacía.....	6
Tabla 2	Síntomas y Consecuencias de la celiacía.....	7
Tabla 3	Composición de la yuca.....	10
Tabla 4	Características Físicas de la Yuca.....	18
Tabla 5	Relación Cáscara-Pulpa de la Yuca (Rendimientos).....	19
Tabla 6	Características Químicas de la Yuca.....	21
Tabla 7	Características Organolépticas De La Yuca.....	22
Tabla 8	Parámetros de Secado.....	26
Tabla 9	Condiciones de operación durante el secado.....	27
Tabla 10	Datos para hallar curva de secado.....	30
Tabla 11	Lista de Sales utilizadas.....	36
Tabla 12	Análisis de granulometría de la harina de yuca.....	39
Tabla 13	Resultados de análisis físico-químicos de la harina de Yuca.....	40
Tabla 14	Composición porcentual de la mezcla base.....	46
Tabla 15	Composición porcentual de la mezcla base + aditivo.....	47
Tabla 16	Contenidos de humedad en base seca.....	49
Tabla 17	Datos para determinar vida útil de la mezcla base.....	52
Tabla 18	Fórmulas para selección de masa de galletas.....	56
Tabla 19	Formulación 1 para galletas.....	57
Tabla 20	Formulación 2 para galletas.....	58
Tabla 21	Resultados estadísticos de la escala hedónica para las galletas.....	62
Tabla 22	Fórmulas para selección de masa de muffins.....	66
Tabla 23	Formulación 1 para muffins.....	67
Tabla 24	Formulación 2 para muffins.....	68
Tabla 25	Resultados estadísticos de la escala hedónica para las muffins.....	69

INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo, la yuca ha sido considerada como un cultivo promisorio con una amplia variedad de aplicaciones especialmente en el campo alimentario. Al no ser la yuca una fuente de gluten, puede ser consumida sin problemas, por personas que tienen la enfermedad conocida como celiaquía o intolerancia al gluten.

El presente trabajo de investigación establece el proceso para obtener una harina de yuca destinada a formar parte de una premezcla de tres harinas sin gluten: yuca, maíz y arroz. La premezcla estará compuesta por harinas que sustituyen a la harina de trigo y se utilizan en la formulación de productos de fácil y rápida preparación como galletas y muffins.

La metodología que en esta tesis se emplea será la siguiente:

- Caracterización y análisis de especificaciones físicas, químicas y sensoriales de la materia prima.
- Determinación de las curvas de secado y caracterización de la harina de yuca obtenida.

- Elaboración de mezcla base a partir de tres harinas (yuca, arroz y maíz) y determinación de tiempo de vida útil.
- Aplicaciones de la harina de yuca en la elaboración de productos de consumo inmediato (galletas y muffins) a partir de premezcla de harinas sin gluten.
- Análisis sensorial para las diversas aplicaciones de la premezcla.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

La celiacía o intolerancia al gluten es uno de los trastornos intestinales más frecuentes y afecta, según estimaciones, al 1% de la población mundial. El gluten se encuentra en el trigo, avena, cebada y centeno o cualquier alimento que contenga estos cereales. Los individuos que padecen de esta enfermedad se denominan celíacos y como ya se mencionó, no pueden consumir ni la más pequeña cantidad de harina o de cualquier alimento que contenga gluten.

El problema para estas personas no radica en los alimentos cuyo contenido de gluten se conoce, sino en aquellos que ocultan el gluten y en los que ésta proteína no es fácilmente detectable. Por lo tanto, el único tratamiento para esta enfermedad es una dieta libre de gluten, usando otros granos como yuca, arroz, maíz, etc (3).

A pesar de que en el Ecuador no existen cifras de la población con ese problema, médicos y nutricionistas coinciden en que su incidencia es baja en los ecuatorianos; aunque también señalan que quienes padecen este trastorno tienen pocas opciones alimenticias.

Es por ello que se requieren soluciones tecnológicas creativas para hacer disponibles a los celíacos productos alimenticios con las propiedades deseables, pero sin riesgo para su salud.

Es de vital importancia para el enfermo celíaco ceñirse, de por vida, a los alimentos que puede ingerir, pues la ingestión de pocas cantidades de gluten puede producir lesión de las vellosidades intestinales (2).

1.1. La Enfermedad Celiaca

1.1.1. Definición

Se llama enfermedad celíaca a la dificultad que enfrentan algunas personas para digerir un compuesto que forma parte de ciertos cereales: el gluten. Esta enfermedad puede presentarse por primera vez en la infancia (lo más común) o en la edad adulta.

La enfermedad celíaca se caracteriza por la intolerancia al gluten pero, específicamente, la toxicidad está dada por la gliadina en el trigo y por otras proteínas afines dentro de los cereales como son: la secalina (centeno) y la hordeína (cebada), siendo éste el orden descendente de potenciación de la enfermedad (7).

La celiaquía consta de tres etapas. En la primera, una vez que la persona consume gluten, se produce una respuesta inmune de tipo alérgica; luego se genera un daño en el intestino o atrofia y finalmente se presentan los síntomas. Por eso, a veces es muy difícil diagnosticarla precozmente, ya que los síntomas se manifiestan recién en la última etapa.

Cabe señalar que este problema, también reconocido como *sprue*, en muchos casos puede pasar desapercibido por años, hasta que sus manifestaciones son considerables. Debido a esto, se desconoce la cifra exacta de niños y adultos con este mal, ya que muchas veces el diagnóstico es incorrecto o no presentan sintomatología.

1.1.2. Causas de la enfermedad

El gluten destruye las vellosidades que recubren el intestino. Al estar la vellosidad dañada, está totalmente afectada la capacidad del intestino para absorber los nutrientes. Por esto, la enfermedad altera al proceso digestivo de absorción, y así existen deficiencias nutricionales, con la posterior pérdida de peso.

TABLA 1

CAUSAS POSIBLES DE LA CELIAQUÍA

Mecanismos	Principio
1. Fenómenos inmunes	Deficiencia selectiva de inmunoglobulinas provoca una reacción inmunológica.
2. Deficiencia enzimática	La ausencia de enzimas digestivas provoca que el gluten no se digiera completamente, formando sustancias tóxicas que se acumulan y dañan la mucosa.
3. Factores genéticos	Alteración en el cromosoma 6 (se cree que los pacientes cercanos tienen entre un 5% y un 10% de posibilidades de desarrollar la enfermedad).

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Es decir que, finalmente, termina siendo un problema de malnutrición. No se conoce muy bien por qué la ingesta de gluten conduce a la destrucción del epitelio intestinal, aunque se han propuesto 3 posibles mecanismos, los mismos que se describen en la Tabla 1.

1.1.3. Sintomatología y Consecuencias

No existe una sintomatología típica; algunas personas presentan signos evidentes de la enfermedad y otros no manifiestan ninguno.

TABLA 2

SINTOMAS Y CONSECUENCIAS DE LA CELIAQUIA

Síntomas	Consecuencias
Diarrea crónica y vómitos	Problemas de tiroides
Estreñimiento, dolor e hinchazón abdominales	Infertilidad/ Abortos repetidos
Inapetencia seria	Anemia
Retraso del crecimiento	Osteoporosis
Pérdida de apetito y peso	Depresión y fatiga
Carácter irritable	Cáncer

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

En la Tabla 2 se muestran los síntomas más frecuentes y algunas de las consecuencias de este trastorno. La eliminación del gluten de la dieta detiene los síntomas, sana el daño intestinal y evita otras complicaciones (7).

1.2. Materia Prima

1.2.1. Cultivo y disponibilidad de la Yuca

La yuca o mandioca es un cultivo humilde pero muy generoso en nutrientes. Este tubérculo procedente de un arbusto, presenta una carne de color blanco, recubierto por una corteza de color pardo o marrón oscuro y de aspecto leñoso.

El arbusto, cuyo nombre científico es *Manihot esculenta*, mide unos 2 metros de alto y posee una gran tolerancia a los suelos pobres y a la sequía. La planta requiere de pocos fertilizantes, plaguicidas y agua, lo cual es una ventaja para los agricultores de bajos ingresos. Por otro lado, se caracteriza por su alta capacidad de recuperación a las plagas y enfermedades y por su adaptación a diversos ecosistemas.

La yuca es un cultivo autóctono que puede cosecharse en cualquier momento de los 8 a los 24 meses después de plantarla, por lo que puede quedarse en la tierra como defensa contra una escasez de alimentos inesperada.

Se la cultiva principalmente en las llanuras tropicales y en las estribaciones exteriores de la cordillera; sin embargo los cultivos están localizados en todas las provincias del país incluido Galápagos. Las provincias de mayor producción son Manabí, Cotopaxi, Pichincha, Los Ríos y Esmeraldas (Ver Apéndice A).

El cultivo de la yuca es tradicional en Manabí, siendo la provincia que ocupa la mayor superficie sembrada en el Ecuador, por cuanto constituye un producto básico para la alimentación campesina de escasos recursos (5).

Según el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias), las variedades Portoviejo 650, Tres meses y Escancela se cultivan de manera intensiva en la Costa. Mientras que, la variedad Valencia, se cultiva en la región Interandina y en la región Amazónica, por su alto

rendimiento, y valor comercial especialmente a nivel internacional (13).

1.2.2. Composición y Valor Nutricional

El contenido promedio de los principales constituyentes de la yuca son:

TABLA 3
COMPOSICIÓN DE LA YUCA

CONSTITUYENTES	YUCA (%)
Humedad	61,0
Carbohidratos	34,9
Proteína	1,2
Grasa	0,4
Ceniza	1,3
Fibra	1,2

Fuente: MONTALDO, A. Trabajos con Yuca en Venezuela, 1966. 31p.

1.2.3. Beneficios

La yuca es un alimento rico en hidratos de carbono complejos (almidón) y otras sustancias nutritivas, de gran importancia en

nuestra alimentación cotidiana. Puede convertirse en una harina de alta calidad para utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pan, pasta, mezclas, dulces, etc.

Beneficios nutricionales de la harina de yuca

- Es rica en hidratos de carbono complejos.
- No posee grandes cantidades de proteínas ni grasas
- Es fácil de digerir, por lo que es adecuada en situaciones de convalecencia y en personas que sufren de afecciones digestivas (acidez, gastritis, úlcera y colitis de todo tipo).
- Contiene vitaminas del grupo B, C y minerales como el magnesio, potasio, calcio y hierro.

Ventajas de su consumo

- Es un alimento idóneo para todas las etapas de la vida.
- Resulta un complemento ideal por su elevado aporte de energía.
- No contiene gluten (11).

1.3. Proceso de Secado

1.3.1. Velocidad de Secado

Se define como el parámetro que relaciona la cantidad de agua que se elimina durante un tiempo determinado en el área de secado definida.

Para calcular la Velocidad de secado, se determina primero el peso de sólidos secos por medio de la siguiente relación:

$$W_s = m (\%s.s.) \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

W_s = Peso de sólidos secos

m = masa inicial de la muestra

%ss= porcentaje de solidos secos en la muestra

Luego se realizan los cálculos para obtener la humedad en base seca, mediante la siguiente fórmula, considerando que W_s es constante:

$$x_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

X_t = Humedad en base seca de la muestra

W = Peso de la muestra

W_s = Peso de sólidos secos

Adicionalmente, para determinar la velocidad de secado, se debe calcular el parámetro de humedad libre, el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$X = X_t - X^* \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

X = Humedad Libre

X_t = Humedad en base seca de la muestra

X^* = Humedad de equilibrio de la muestra

La determinación de la x^* (humedad de equilibrio) que alcanzará el producto, está en función de la HR del ambiente de trabajo y se obtiene de la isoterma.

Posteriormente se calcula la Humedad media, promediando los valores de humedad libre previamente obtenidos. Finalmente la velocidad de secado se obtiene relacionando la cantidad de agua que se elimina durante un tiempo determinado en el área de secado definida.

Es decir, se calcula un diferencial de x media y del tiempo para calcular la velocidad de secado mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{W_s}{A} \times \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde:

W_s = Peso de sólidos secos

A = Área superficial de la muestra

Δx = Diferencial de humedad libre media

Δt = Diferencial de intervalos de tiempo

1.3.2. Actividad de Agua e Isotermas

La actividad de agua (a_w) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas (p.e. oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y desarrollo microbiano (14).

La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad del agua del mismo. 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 (4,14).

La obtención de las isothermas de adsorción de la harina de yuca y del polvo base es de suma importancia para la determinación de condiciones óptimas de secado y para la determinación de la vida útil del producto.

CAPITULO 2

2. PROCESO DE OBTENCION DE LA HARINA DE YUCA

En este capítulo, se detallan las operaciones que se llevarán a cabo para obtener la harina de yuca, que servirá para la formulación de un polvo base para elaborar productos para celíacos. Para lograr dicho objetivo, en primer lugar, se realizarán la caracterización de la materia prima considerando los análisis físicos, químicos y organolépticos.

Posteriormente, se describirá el procesamiento de la materia prima el cual consiste en lavado, pelado, corte, triturado, secado, pulverizado, tamizado y envasado, y se elaborará un diagrama de flujo para entender de manera clara la metodología empleada para obtener la harina de yuca. El producto final obtenido de este proceso se caracterizará y se le realizará, de manera experimental, la isoterma de adsorción.

2.1. Selección de Materia Prima

Para llevar a cabo la parte experimental de secado, es necesario considerar las características de la yuca que se va a secar, por lo que, inicialmente, se hizo una caracterización físico-química y organoléptica de las raíces utilizadas para el secado.

Se utilizaron yucas adquiridas en un mercado local en el norte de la ciudad de Guayaquil. La materia prima fue lavada con agua y luego pelada con un cuchillo. Inmediatamente se lavó con agua fría para retirar los restos de cáscara y se procedió a triturarla. Además, se realizó un control de las especificaciones físicas, químicas y organolépticas. Todos los análisis se hicieron por triplicado. Las especificaciones de los equipos utilizados para los análisis se muestran en el apéndice B.

2.1.1. Especificaciones Físicas

a. Peso:

Se utilizó una balanza electrónica, se pesaron las 3 unidades de muestra, y se promediaron.

b. Diámetro y altura:

La determinación del diámetro y la altura se realizó promediando 3 medidas con el calibrador Vernier, para luego, proceder a promediar las medidas.

Como se observa en la tabla 4, las características físicas como dimensiones y el peso de la yuca determinadas en el laboratorio, no son homogéneos, debido a que se encontró diferentes tamaños de yucas en la muestra y por lo tanto el coeficiente de variación es muy alto.

TABLA 4
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA YUCA

N° muestra	Dimensiones		Peso (g)
	Altura (mm)	Diámetro (mm)	
1	153,50	51,40	510
2	160,70	60,30	522
3	148,20	52,70	503
Promedio	154,13	54,80	511,67

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Los resultados promedios obtenidos para estos parámetros físicos fueron:

Peso promedio = 512 g

Altura promedio = 154.13 mm

Diámetro promedio = 54.8 mm.

c. Rendimiento:

Este parámetro se halló relacionando los pesos de la cáscara de cada muestra y de la pulpa. Los datos de relación cáscara-pulpa están consignados en la tabla 5.

TABLA 5
RELACIÓN CÁSCARA-PULPA DE LA YUCA
(RENDIMIENTOS)

No muestra	Peso unitario (g)	Peso cáscara (g)	Peso pulpa (g)	% cáscara	% pulpa
1	510	74	436	14,51	85,49
2	522	79	443	15,13	84,87
3	503	71	432	14,12	85,88
Promedio	511,67	74,67	437,00	14,59	85,41

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Según los valores obtenidos, se encontró en promedio las siguientes proporciones:

Cáscara = 14.59%

Pulpa = 85.41%

2.1.2. Especificaciones Químicas y Organolépticas

a. Variación de pH:

Se halló en forma directa mediante el método de la AOAC, utilizando un potenciómetro de electrodo, previamente calibrado, a temperatura ambiente. Para ello, se tomó una mezcla de 90 ml de agua destilada y 10 g de yuca fresca triturada.

b. Variación de sólidos solubles:

Los sólidos solubles se midieron en muestras previamente homogeneizadas, por medio de un refractómetro con una escala entre 0 y 30 grados Brix, por lectura directa. Los resultados fueron expresados como % de sólidos solubles.

c. Determinación de Humedad y Aw:

Para determinar la humedad inicial de la yuca, se empleó el Método AOAC, el cual utiliza una balanza de determinación de humedad equipada con una lámpara infrarroja, donde se lee directamente el contenido de humedad. Mientras que, para medir la actividad de agua, empleó el Aqualab Water Activity meter.

En la tabla 6, se observa el pequeño rango de variación en los parámetros químicos que se produce en la yuca.

TABLA 6:
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA YUCA

N° muestra	Ph	° Brix	Humedad (%)	AW
1	6,35	7	65,76	0,985
2	6,33	6,8	64,89	0,972
3	6,31	7	65,32	0,980
Promedio	6,33	6,93	65,32	0,979

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

En la figura 2.1, se muestran los equipos y materiales utilizados para la caracterización química de la yuca.



Fig. 2.1 Equipos utilizados para medir pH y humedad

d. Características de calidad:

Se determinaron mediante un análisis organoléptico, teniendo en cuenta las condiciones organolépticas de: consistencia, color y olor, como se describe en la Tabla 7.

TABLA 7

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LA YUCA

N° muestra	Consistencia	Color		Olor
		Cáscara	Pulpa	
1	Dura	Café	Crema	Normal
2	Dura	Café	Crema	Normal
3	Dura	Café	Crema claro	Normal

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

2.2. Proceso Experimental

2.2.1. Proceso de elaboración de harina

A continuación, se describe cada etapa del proceso empleado para obtener la harina de yuca. Las especificaciones de los equipos utilizados se muestran en el apéndice B.

Recepción: En esta etapa, se llevó a cabo una inspección visual de la materia prima, y se determinó el peso de la misma para establecer parámetros de rendimiento para el proceso mismo.

Lavado: la limpieza de las yucas se realizó con agua. Esta etapa es importante porque, si las raíces tienen tierra adherida, el producto final resultará con alto contenido de cenizas, especialmente de sílice, lo cual reduce su calidad.

Pelado: para elaborar harina, se elimina la cáscara manualmente con cuchillos.

Cortado: Se corta la yuca en trozos pequeños y uniformes.

Triturado: para que las raíces se sequen más rápidamente es necesario aumentar la superficie expuesta al aire caliente, por lo que se procedió a triturar la yuca para obtener una papilla.

Secado: El secado de las raíces se llevó a cabo mediante un secador horizontal experimental. La papilla obtenida en la etapa anterior se dispuso en bandejas de aluminio, de 9.5 cm de largo, 9 cm de ancho y 0.8 cm de profundidad, las cuales fueron llevadas al secador a temperatura de $50 \pm 2^{\circ}$ C con una velocidad del aire de 4.19 m/s. El tiempo requerido para que el producto llegara a peso constante fue de 4 horas. Después de esta operación se colocó el material tratado en recipientes para su posterior análisis fisicoquímico.

Pulverizado: La reducción de tamaño del material seco se realizó mediante un molino-tamiz.

Tamizado: Se hizo pasar el polvo fino por una serie de mallas para determinar su granulometría.

Envasado: La harina de yuca obtenida se envasó en dundas de polietileno.

En la Figura 2.2 se describen las etapas de la elaboración de harina de yuca mediante un diagrama de flujo.

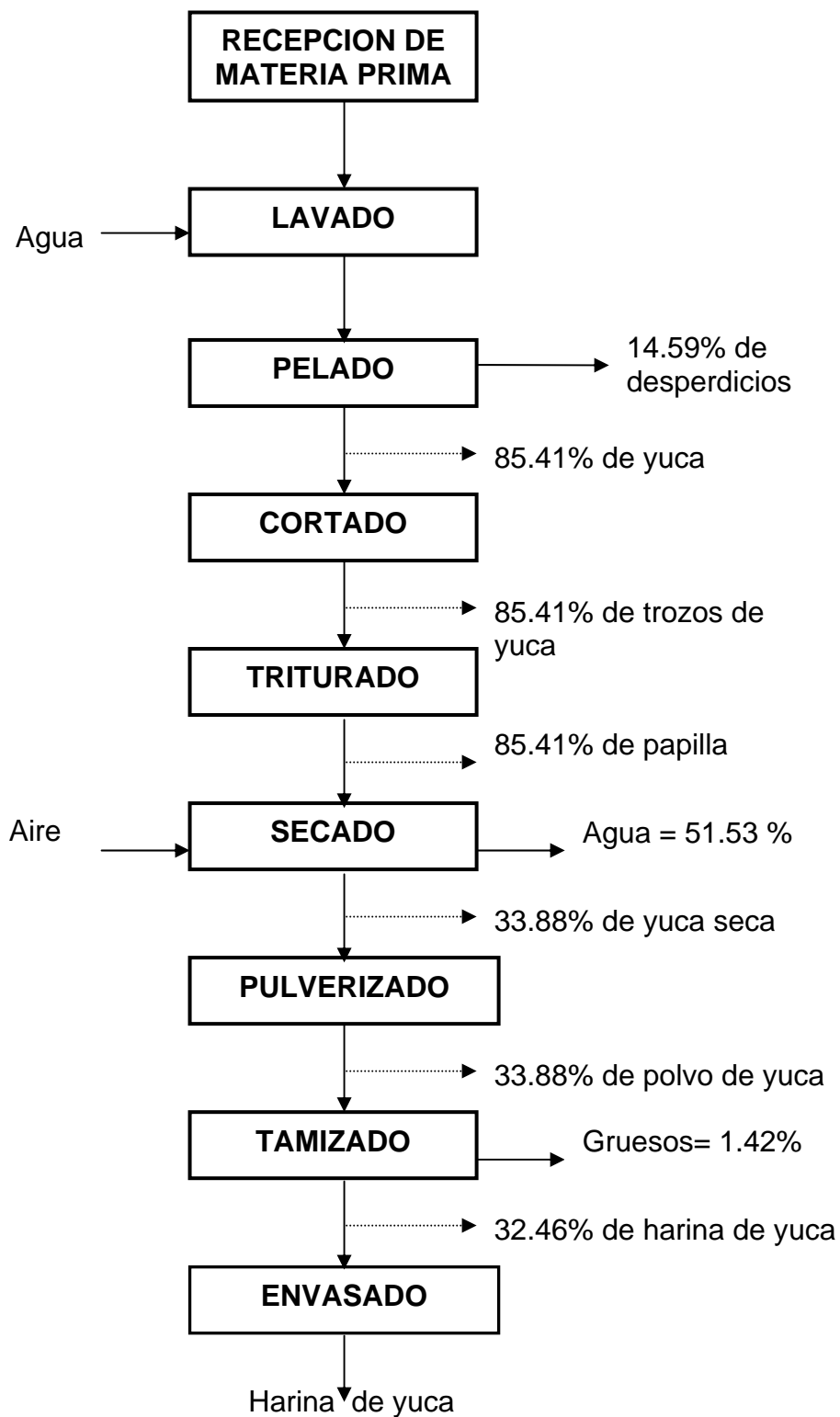


Fig. 2.2. Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración de harina

2.2.2. Etapas del secado

2.2.2.1. Parámetros del proceso

El objetivo primordial de un proceso de secado es la selección de parámetros de secado a partir de las experiencias prácticas.

El proceso de secado se llevó a cabo utilizando un secador horizontal experimental. La materia prima se secó en forma de papilla sobre bandejas de aluminio. Las dimensiones de la bandeja se determinaron para conocer el área de secado. De acuerdo a la tabla 8, estas fueron:

TABLA 8

PARÁMETROS DE SECADO

Largo (cm)	9,5
Ancho (cm)	9
Espesor de la muestra (cm)	0,8
Área de la muestra (cm²)	68,4

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

El tiempo requerido para que el producto llegara a peso constante fue de 4 horas.

La temperatura a la que se trabajó fue de $50 \pm 2^\circ \text{C}$, con una velocidad del aire de 4.19 m/s.

Adicionalmente, durante este proceso, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la medición de la temperatura de trabajo, y la temperatura y humedad relativa del aire de salida, los cuales se muestran en la Tabla 9.

TABLA 9
CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE EL
SECADO

°T de trabajo	$50 \pm 2^\circ \text{C}$
°T entrada del aire	44°C
Humedad relativa del aire de salida	35%
Velocidad del aire	4.19 m/s

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

La temperatura de trabajo fue medida con un termómetro de mercurio, mientras que, la temperatura y humedad relativa del aire de salida, fueron medidas con un termohigrómetro.

2.2.2.2. Curvas de Secado

Los datos del proceso de secado (humedad del sólido vs. tiempo) fueron obtenidos pesando periódicamente las muestras a intervalos de 5 minutos durante las tres primeras horas de secado y cada 10 y 15 minutos durante la última hora con una balanza.

La humedad inicial del material fresco antes del proceso experimental fue determinado de acuerdo al método de la lámpara infrarroja establecido por la AOAC. El secado se realizó hasta peso constante. Luego se determinó el contenido de humedad final de las muestras secas mediante un balance. Los datos obtenidos durante el proceso de secado de la yuca se consignan en el Apéndice C.

Para obtener los valores de humedad en base seca (x_t), se recalca que el peso de sólidos secos (W_s) permanece constante durante el secado. Para calcular las humedades libres (x) correspondientes a cada una de las humedades en base seca determinadas experimentalmente, se empleó la

ecuación 1.3. Para ello, en primer lugar, se halló la isoterma de desorción mediante el programa Water Analyser, y utilizando el modelo de BET, se determinó que el valor de la monocapa era de 0.1109 g de agua/ g s.s.

La isoterma de desorción de la yuca se muestra en la Figura 2.3.

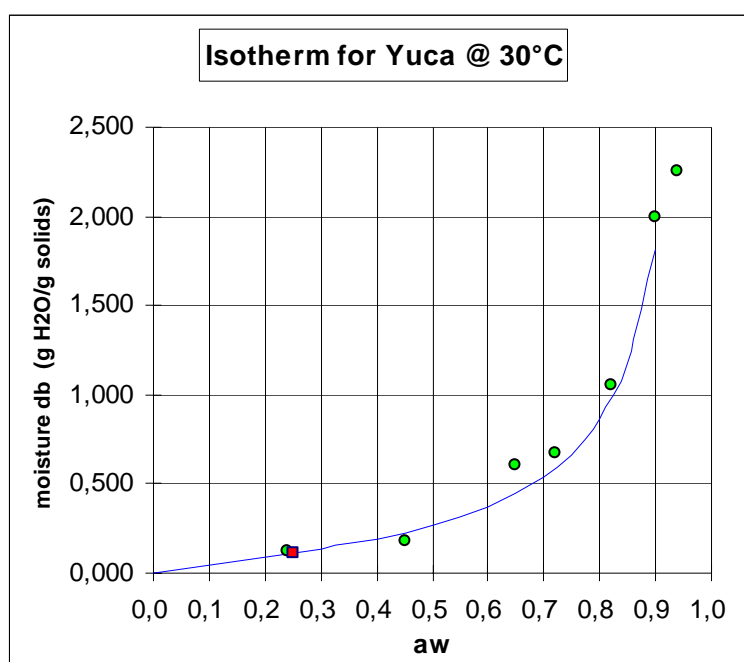


Fig. 2.3 Isotherma de desorción de la yuca

Por otro lado, en la tabla psicrométrica, con una temperatura y humedad relativa del aire del ambiente de 30°C y 85% respectivamente, y yendo de manera

horizontal hasta la temperatura de secado de 50°C, se encontró que la HR fue de 0.29 (Ver apéndice D).

Con este dato, se entró por la gráfica de la isoterma en el eje de las x (AW), y se determinó que la humedad de equilibrio para la yuca x^* fue de 0.1816 g de agua/ g s.s.

Los datos antes citados, se reportan en la tabla 10.

TABLA 10
DATOS PARA HALLAR CURVA DE SECADO

Peso de muestra inicial, W (g)	95.8
Sólidos iniciales en la muestra (%)	34.68
Peso de s.s. en la muestra, W_s (g)	33.22
Humedad de equilibrio (g de agua/ g s.s)	0.1816
Área de secado (m^2)	0.00684

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

La velocidad de secado se determinó relacionando la cantidad de agua que se elimina durante un tiempo

determinado en el área de secado definida. (Ver apéndice B).

En la figura 2.4, se presentan los valores de humedad del sólido en base seca (kg H₂O/kgSS) a lo largo del tiempo (h) en el proceso de secado en bandeja de la yuca a $50 \pm 2^\circ\text{C}$.

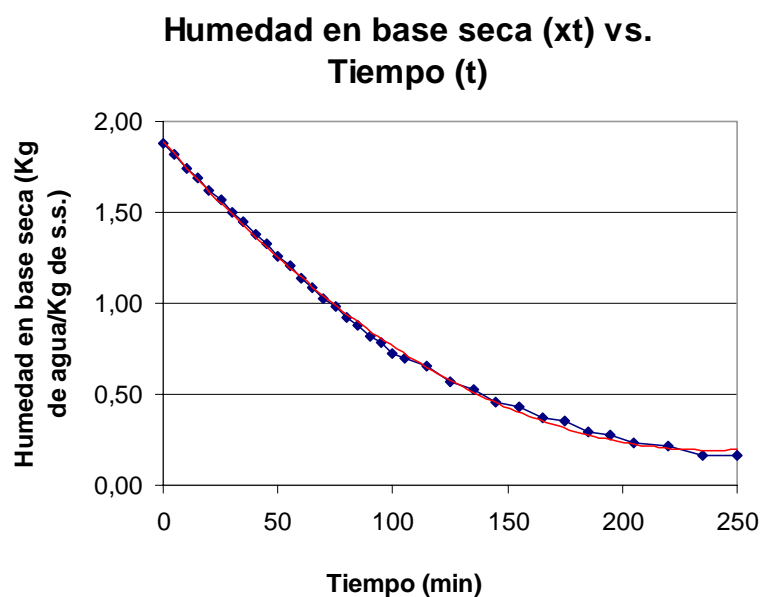


Fig. 2.4 Humedad en base seca (xt) en función del tiempo (t) durante el secado de yuca

Como se observa en la figura 4, durante las dos primeras horas del proceso, se presentó una disminución significativa de la humedad del sólido.

Esta disminución está incluso por debajo de la mitad del valor de humedad inicial del sólido. Por otra parte, la caída de humedad del sólido es mucho más moderada (menor pendiente) a partir de la segunda hora de secado.

En la Fig. 2.5 se muestra la gráfica de Humedad libre en función del tiempo (min).

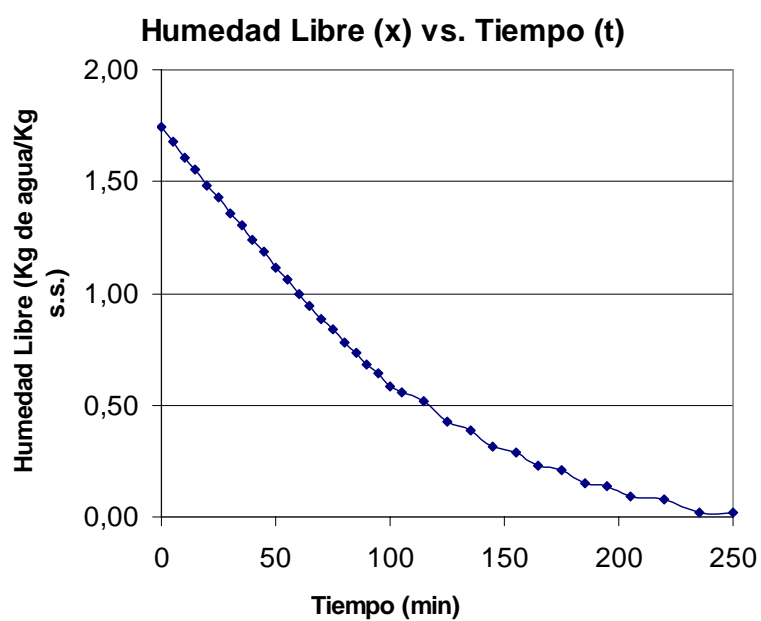


Fig. 2.5 Velocidad de Secado en función de la humedad libre

VELOCIDAD DE SECADO

En la figura 2.6, se observan los cambios que experimenta la velocidad de secado en función de la humedad libre del sólido, durante el proceso de secado de la yuca. La gráfica obtenida, es una curva característica de secado que refleja el paso del sólido por distintos períodos a medida que la humedad libre del sólido se reduce desde un valor inicial de 1.7419 g de agua / g s.s. hasta el valor final de 0.0202 g de agua/ g s.s.

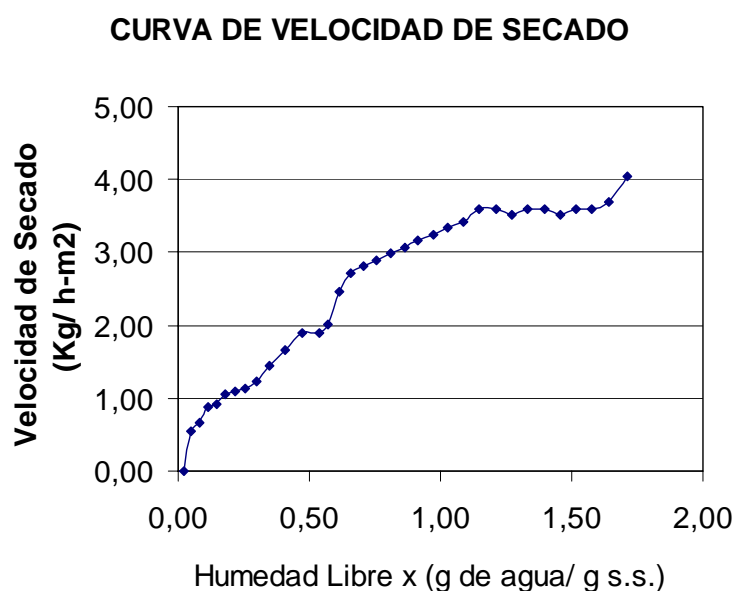


Fig. 2.6 Curva de Velocidad de Secado

Al analizar la curva de secado, se concluye que en el periodo AB la velocidad de secado disminuye rápidamente, desde un valor inicial de humedad libre de 1.7419 hasta 1.6787 g de agua/ g s.s. En este periodo, se ajusta la temperatura del material a las condiciones de secado y la velocidad de secado fue de 4.04 hasta 3.68 Kg/h-m².

El periodo BC representa el período de velocidad constante, el cual es independiente de la humedad del sólido lo cual originó que la humedad libre descendiera desde 1.6787 g de agua/ g s.s hasta 1.1851 g de agua/ g s.s. En promedio, este valor fue de de 3.60 Kg/h-m². Durante este período del sólido está tan húmedo que existe una película de agua continúa sobre toda la superficie de secado y el líquido se comporta como si el sólido no existiera.

Luego, la velocidad de secado comienza a decaer lentamente, dando comienzo al periodo de velocidad CD, que se inicia con la velocidad crítica de 3.60

Kg/h-m^2 correspondiente a una humedad crítica de 1.1851 g H_2O / g SS. Este valor puede variar con el espesor del material y con la velocidad de secado y por consiguiente, no es una propiedad del material.

El periodo que sigue se llama 2do. Decreciente, el cual finaliza cuando la humedad libre se anula, es decir la velocidad de secado es cero.

2.3. Caracterización de la harina de yuca

La harina de yuca es un producto blanco, fino, que se obtiene del secado y molienda de las raíces de yuca. Antes de determinar las características de la harina de yuca, se realizó la isoterma de adsorción de dicha harina para predecir su estabilidad, relacionando la actividad de agua con la humedad del producto a una temperatura constante.

Isoterma de Adsorción

Una forma de correlacionar la disponibilidad de agua en los alimentos es mediante el conocimiento de su isoterma de adsorción o desorción, y por consiguiente, su valor de monocapa molecular (4).

La isoterma de adsorción de humedad a 32°C, fue determinada mediante el método isopiéstico, empleando cinco soluciones saturadas de NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaNO₃ y KCl, las cuales cubren un rango de actividad de agua entre 0,07 y 0,83 y poseen humedades relativas de equilibrio conocidas, como se observa en la Tabla 11.

TABLA 11

Lista de Sales utilizadas

Nomenclatura	SAL	Aw= %ERH/100
NaOH	Hidróxido de Sodio	0,0745
MgCl ₂	Cloruro de Magnesio	0,3244
K ₂ CO ₃	Carbonato de Potasio	0,429
NaNO ₃	Nitrato de Sodio	0,7314
KCl	Cloruro de Potasio	0,8362

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Adicionalmente, el apéndice E, muestra los datos de humedad experimental obtenida en el equilibrio, en función de la actividad de agua para la temperatura de trabajo (32°C). Cada punto de la isoterma representa el valor medio de dos determinaciones.

En la figura 2.7, se puede observar que se obtuvo una isoterma de tipo II, de forma sigmoidea o tipo S. La humedad inicial de la harina fue de 0.147 g de agua/g s.s. El valor de la monocapa de BET fue 0.0562 g de agua/g s.s. con un R^2 de 0.9932646.

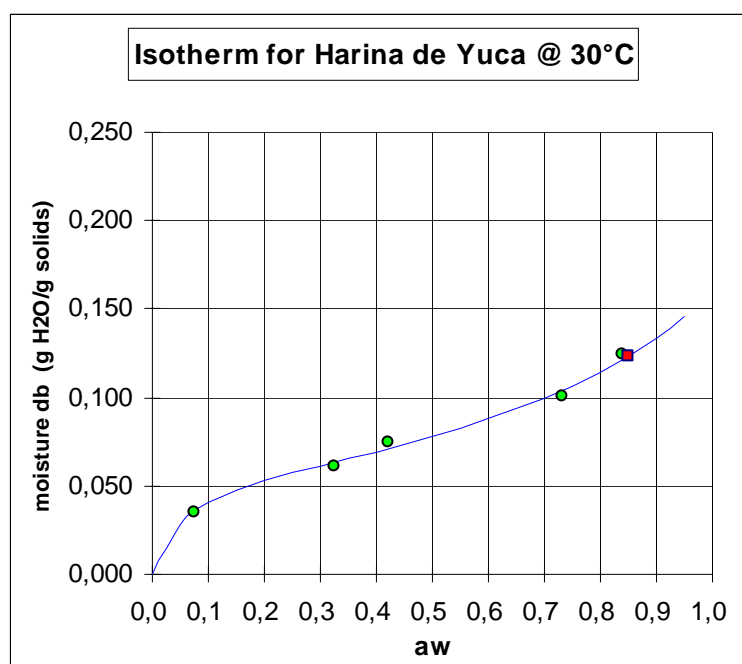


Fig. 2.7 Isotherma de adsorción de harina de yuca a 32°C

Para el cálculo de la humedad de equilibrio, se consideró que la temperatura y la humedad relativa de la ciudad de Guayaquil, es de 30°C y 85% respectivamente. Con dicho valor de humedad relativa, se entró en la isoterma y se encontró que la humedad de equilibrio fue de 0.124 g de agua/g s.s.

Granulometría

Se utilizó un molino-tamiz con una criba de $177\ \mu\text{m}$ (0.177mm), el cual permitió obtener una granulometría de acuerdo al parámetro que exige la norma INEN 517 (Ver apéndice G). Esta norma indica que el 95% de las partículas deben pasar el tamiz con apertura de $210\ \mu\text{m}$ ($0.210\ \text{mm}$), es decir la malla No. 70.

El tamizado se realizó por medio de un juego de tamices marca Tyler de varios micrajes, el cual se muestra en la Figura 2.8.



Fig. 2.8 Equipo de Tamizado

Se utilizó como malla superior el No.40 Y seguidamente los No. 70, 80, 100, 150 y 170. Las aperturas de dichas mallas se muestran en el apéndice F.

La operación de tamizado se realizó por 15 minutos, al final de la cual se pesó cada tamiz determinando así la cantidad de material retenido en cada uno. En la tabla 12, se registran los resultados del análisis granulométrico realizado a la harina obtenida.

TABLA 12
ANALISIS DE GRANULOMETRIA DE LA HARINA DE YUCA

Clase	Mallas	Masa retenida (g)	% de retenidos ΔX_i	X_i	$D_{p_{sup}}$ (mm)	\bar{D}_p (mm)
1	40	3,8	1,9	100,0	0,354	0,282
2	70	50,4	25,2	98,1	0,21	0,1935
3	100	110,1	55,05	72,9	0,177	0,163
4	200	34,9	17,45	17,9	0,149	0,127
5	325	0,8	0,4	0,4	0,105	0,0965
6	400	0	0	0,0	0,088	
		200,0	100,0			

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Como se observa en la tabla 12 el 98.1% de la harina, pasó la malla número 70. Por lo tanto, esta harina cumple con el requisito de tamaño de partícula de la norma INEN.

Características Físico-químicas

El pH, la humedad y las cenizas de la harina fueron determinados por métodos de la AOAC, al igual que la materia prima. La medición de pH y de humedad se realizó utilizando un potenciómetro y una balanza de lámpara infrarroja respectivamente; mientras que, la determinación de cenizas, se realizó por calcinación en mufla.

Los análisis físicos incluyeron el de densidad, midiendo el volumen al compactar en un beaker de 25 ml, 10,7 g de harina, y expresando el resultado como g/ml.

Estos análisis físico-químicos se realizaron por triplicado y los resultados promedios de la harina estudiada se resumen en la tabla 13.

TABLA 13
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS DE LA
HARINA DE YUCA

Humedad	12.8%
pH	6.1
Cenizas	2.51 %
Densidad	0.428 g/ml

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

CAPITULO 3

3. APLICACIONES DE LA HARINA DE YUCA

El pilar básico del tratamiento de la celiaquía es la exclusión rigurosa del gluten en la dieta. Mantener una dieta sin gluten durante toda la vida es un problema para un paciente celíaco. Consecuentemente, existen diversos alimentos que no son permitidos en la dieta de este grupo de personas.

Ante esta situación y con el fin de diversificar el uso de la harina de yuca, en este capítulo se evaluó la potencialidad de la harina de yuca en la elaboración de productos alimenticios de consumo inmediato para los enfermos de celiaquía, sustituyendo los ingredientes prohibidos por los permitidos mediante la mezcla de harinas sin gluten.

En lo que se refiere a repostería, por ejemplo, los productos dulces pueden ser consumidos, siempre y cuando las harinas de su composición

sean aptas para celíacos. Lo mismo pasa para los alimentos salados como las pizzas o pastas. Por ello, mediante el desarrollo de un polvo base libre de gluten, estas personas tendrán la posibilidad de degustar sus propios alimentos con los cereales permitidos.

3.1. Elaboración de Mezcla Base

Con la finalidad de ofrecer una alternativa de alimentación a las personas que padecen de la enfermedad celíaca para que puedan producir sus propios productos, se propuso evaluar la funcionalidad de un polvo base elaborado a partir de la mezcla de tres harinas libres de gluten y un aditivo mejorador de textura, la cual pueda sustituir a la harina de trigo.

Esta mezcla base constituye un producto con alto potencialidad de comercialización ante la situación descrita. En este capítulo, se utilizó la mezcla base obtenida en la formulación de productos horneados y su posterior evaluación sensorial.

3.1.1. Ingredientes

Para la elaboración de la mezcla base, lo primero que hay considerar es la mezcla de harinas. La mayoría de las harinas

libres de gluten se hornean mejor estando mezcladas que solas (8).

La mezcla base consta de tres harinas provenientes de alimentos que sí son permitidos para los celíacos, tales como yuca, arroz y maíz.

El maíz presenta un inconveniente y es que su harina no tiene la capacidad de ser panificable, motivo por el cual se mezcla con harina de arroz para poder obtener productos que puedan ser comestibles. Estos productos, al no contener gluten, presentan una consistencia más compacta que el resto (8). Estas dos harinas, además de la harina de yuca, son una opción predilecta para llevar una dieta libre de gluten y son las que se emplearán para la elaboración de productos aptos para personas con celiaquía.

Estudios ya realizados en beneficio de los enfermos con celiaquía, señalan que la proporción de mezclas de harinas para celíacos es: por cada kilogramo de harina de arroz, se añada 650 g. de harina de maíz y 500 g. de harina de yuca (7,9). El procedimiento para obtener la mezcla base es simple

y consiste en tamizar bien las tres harinas en las proporciones descritas.

3.1.2. Aditivos

El polvo base obtenido se utilizó para elaborar pan, galletas y muffins. Para obtener productos con la textura requerida, se recurrió a la utilización de aditivos mejoradores de este parámetro, pues al no trabajar con harina de trigo, la elasticidad y la viscosidad en las masas no es la misma.

Se realizaron pruebas experimentales utilizando dos aditivos: SSL (E-481) Y DATEM (E-472e), proporcionados por la empresa Granotec. Ambos aditivos son agentes emulsionantes reforzadores de masa que mejoran las características de textura, suavidad y volumen de los productos horneados y cuya funcionalidad se atribuye a la capacidad de estabilizar interfases (8).

El SSL o estearoil lactilato de sodio es un emulsionante que resulta de la combinación de un éster del ácido esteárico y un dímero del ácido láctico. Es uno de los emulsionantes más hidrófilos (Ver Apéndice H).

Los ésteres de monoglicéridos del ácido diacetil tartárico o DATEM, favorecen los enlaces entre los componentes de la masa. Además, proporciona excelentes propiedades reforzadoras de la misma y mejor volumen (Ver apéndice I).

El pan que se elaboró con la ayuda de los aditivos mencionados, no presentó las características de textura adecuadas, por lo que se incursionó en la elaboración de galletas y muffins, cuyas formulaciones y procedimiento de preparación se expondrán más adelante.

Ambos aditivos se utilizan en un 0.5% en base al peso total de la mezcla de harinas, de acuerdo a la dosificación descrita en las hojas técnicas de los mismos para la elaboración de productos horneados.

Luego, se compararon los resultados que ambos aditivos produjeron en cuanto a la textura de las galletas y de los muffins, para determinar cual es el aditivo que se debe usar para la formulación de ambos productos. Más adelante, se detallarán las pruebas realizadas en la elaboración de dichos productos.

3.1.3. Fórmula

La fórmula de la mezcla base de las harinas libres de gluten se expone en la siguiente tabla:

TABLA 14
COMPOSICION PORCENTUAL DE LA MEZCLA BASE

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de arroz	46.5
Harina de yuca	23.3
Harina de maíz	30.2
Total	100.0

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Como ya se mencionó, el aditivo seleccionado para elaborar cada producto se utilizó en un 0.5% en base al peso de la mezcla de harinas, como lo indican las hojas técnicas de los apéndices H e I, por lo que la fórmula final del polvo base es la siguiente:

**TABLA 15: COMPOSICION PORCENTUAL DE LA
MEZCLA BASE + ADITIVO**

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de arroz	46.3
Harina de yuca	23.2
Harina de maíz	30.0
Aditivo	0.5
Total	100.0

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Predicción de Vida Útil

Para realizar la predicción del tiempo de vida útil del polvo base, se estudió la ganancia de humedad del mismo a través de una película plástica y se construyó su isoterma. El material de empaque que se seleccionó para dicho producto fue el polietileno. El experimento se llevó a cabo en un sistema a una temperatura de 30°C.

La isoterma de adsorción se realizó mediante el programa Water Analyser y se muestra en la Figura 3.1.

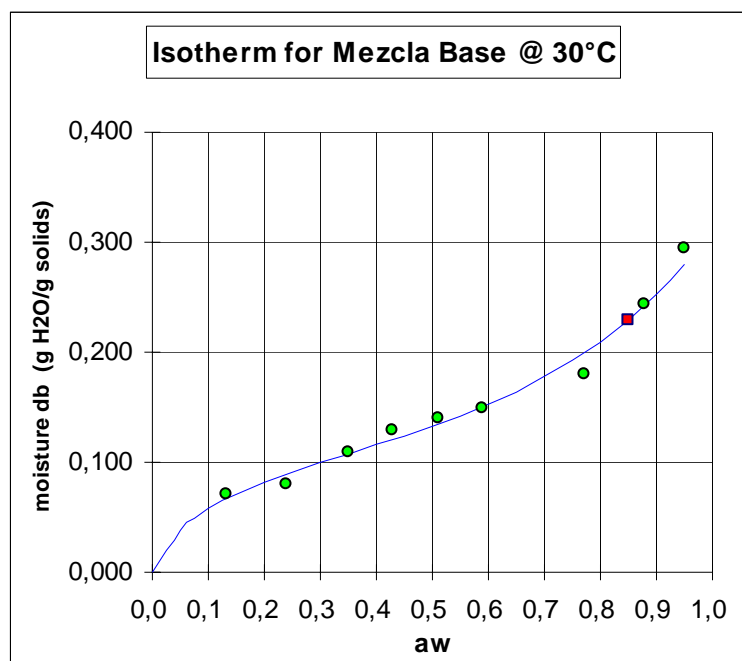


Fig. 3.1 Isotherma de adsorción de la mezcla base

En primer lugar, se determinaron los requerimientos del producto. La humedad inicial del polvo base fue de 9.98 g de agua/100 g de s.s. El valor de la Monocapa de BET fue de 10.04 g de agua/100 g s.s. con un R^2 de 0.974910, el cual se obtuvo con la ayuda del Water Analyser.

Para poder evaluar el tiempo de vida útil, fue necesario definir un indicador de calidad basado en la humedad crítica. En el caso del polvo base, mediante evaluación sensorial realizada por observación, la primera característica de calidad que se

perdió fue la textura, puesto que a una humedad de 0.148 g de agua/ g de s.s., la mezcla de harinas comenzó a apelmazarse. Este punto, en el que el producto ya no se consideró aceptable, fue definido como humedad crítica (m_c) (4).

Adicionalmente, se determinó el valor de la humedad equilibrio, considerando que la Humedad relativa del ambiente de la ciudad de Guayaquil es de 85%. Estos datos se muestran a continuación:

TABLA 16

CONTENIDOS DE HUMEDAD EN BASE SECA

(g agua /g de s.s.)

Humedad inicial (m_0)	0.0998
Humedad crítica (m_c)	0.148
Humedad de equilibrio (m_e)	0.229

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Se calculó que el área del empaque necesaria para 500 g de producto, es de 375 cm². Para determinar el tiempo de vida del producto se aplica la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\ln \tau}{\left(\frac{k}{x}\right) \times \left(\frac{A}{w_s}\right) \times \left(\frac{P_0}{b}\right)} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

θ = tiempo de vida útil en días

$\ln \tau$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque)

K/x = Permeabilidad máx del alimento en gH₂O/día m² mmHg

A = Área del empaque (m²)

W_s =Peso de sólidos secos (g)

P_0 =Presión de vapor de agua a la temperatura T=30°C (mmHg) (Ver apéndice J)

b = Pendiente de la isoterma (tangente entre la Humedad crítica e inicial).

El valor de gamma crítico ($\ln \tau$) se calcula mediante la ecuación 3.2, que predice un cambio de peso en alimentos secos empacados:

$$\ln \tau = \ln \left(\frac{m_e - m_0}{m_e - m_c} \right) \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

m_e = Humedad de equilibrio (base seca = g de agua/g s.s)

m_0 = humedad inicial del polvo base (base seca)

m_c = humedad crítica (base seca)

El valor de b (pendiente de la isoterma) se obtiene mediante la ecuación 3.3.

$$b = \frac{m_c - m_0}{aw_c - aw_0} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

El valor de $\ln \tau$ se calculó con los datos de las humedades ya obtenidos mediante la isoterma de adsorción, aplicando la ecuación 3.2.

$$\ln \tau = \ln \left(\frac{0.229 - 0.0998}{0.229 - 0.148} \right)$$

Reemplazando en la fórmula, se obtiene que el valor de $\ln \tau$ es de 0.466912. Luego, se calculó el valor b con los puntos de la humedad crítica y la inicial mediante la ecuación 3.3, como se muestra a continuación.

$$b = \frac{0.148 - 0.0998}{0.577 - 0.302} = 0.175273$$

Finalmente, con los datos tabulados en la tabla 16, se determinó el tiempo de vida útil en días, mediante la ecuación 3.1.

TABLA 17
DATOS PARA DETERMINAR VIDA UTIL DE LA MEZCLA
BASE

$\text{Ln } \tau_c$	0.466912
$K/x \left[\frac{\text{g de agua}}{\text{m}^2 - \text{día} - \text{mmHg}} \right]$	0.154456 (15)
A (m ²)	0.0375
W _s (g)	450.1
P ₀ (mm de Hg)	31.82
b	0.175273

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Por lo tanto, aplicando la ecuación ya mencionada, se obtuvo que utilizando un empaque de polietileno, la vida útil del polvo base es de 200 días, equivalente a 7 meses aproximadamente.

3.2. Galletas

Las galletas se han posicionado como uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial. Son consumidas por personas de todas las edades; sin embargo, los consumidores más jóvenes son los que más se fijan en estos productos.

Este producto alimenticio fue seleccionado porque su consumo encaja en cualquier momento del día y, por sus características, posee un gran valor energético para los celíacos.

Considerando que, las galletas son generalmente bien aceptadas por los niños, estas pueden representar una excelente fuente calórica para este sector de la población, constituyendo una alternativa de aplicación del polvo base por parte de los consumidores.

3.2.1. Diagrama de Procesos

A continuación se presenta el proceso detallado para la elaboración de galletas aptas para los consumidores celíacos.

Estas galletas están compuestas por la mezcla base,

mantequilla, azúcar, huevos, esencia de vainilla y un aditivo mejorador de textura que se seleccionará según el resultado de las pruebas sensoriales.

Para elaborar estas galletas, básicamente se debe mezclar el polvo base con los demás ingredientes. Previamente se precalienta el horno a 180°C. Para elaborar la masa, primero, se toma una parte del polvo base, se hace un círculo en el centro y se añaden los huevos batidos, el azúcar, la mantequilla y la esencia de vainilla. Después, a esta masa se le agrega el resto de la harina.

Luego, se procede a mezclar bien, amasando y estirando la masa. Una vez que quede muy bien integrado todo, se debe dejar reposar la masa para que no se encoja al estirarse. Posteriormente, se recorta la masa en círculos, cuadrados, o usar moldes para galletas, según la forma que se desee dar a las galletas.

Para el proceso de horneado, se engrasa un molde con un poco de mantequilla y se lo espolvorea con un poco de harina. Se coloca la masa recortada en este molde. Se unta huevo por

encima de cada galleta para darle brillo. Luego, se debe hornear a 180° C por 15 minutos. Cuando doren las galletas, se las retira del horno, y se dejan enfriar alrededor de 5 minutos antes de servirse.

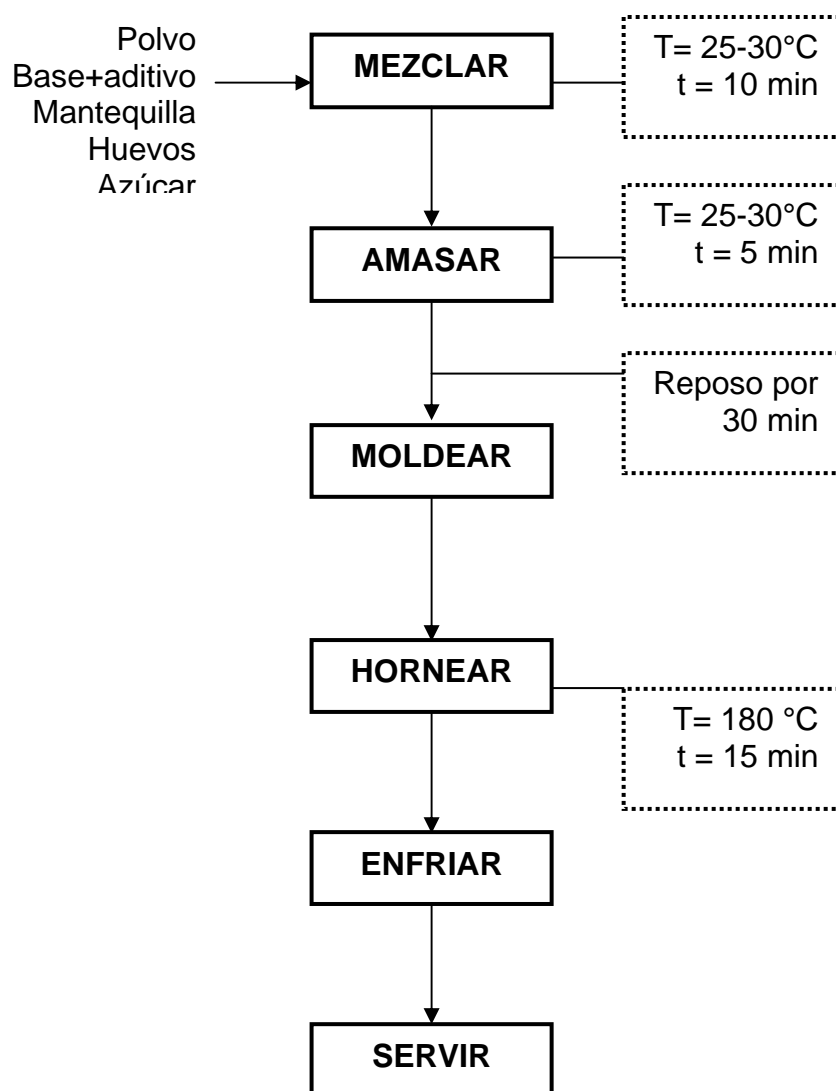


Fig. 3.2 Diagrama de Procesos para elaborar galletas

3.2.2. Formulación

Las formulaciones fueron desarrolladas mediante la realización de ensayos a nivel experimental. Para determinar las características de la masa óptima para formar una galleta, se utilizó como base para la receta de galletas, dos fórmulas convencionales con diferentes proporciones de los ingredientes, como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 18
FÓRMULAS PARA SELECCIÓN DE MASA DE GALLETAS

Ingredientes	Fórmula A	Fórmula B
Polvo base	51.5%	37.7%
Mantequilla	25.8%	37.7%
Huevos	4.6 %	5.7%
Azúcar	15.5%	18.9%
Esencia de Vainilla	2.6%	--
Total	100.0%	100.0%

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Mediante análisis sensorial, se evaluaron las 2 masas en cuanto a su expansibilidad y a su capacidad de longitud de estirado sin romperse, para poder formar las galletas. Se determinó que la fórmula A era la óptima puesto que, la fórmula de la masa B era muy floja para estirarse debido al elevado porcentaje de grasa.

Una vez seleccionado el tipo de masa con el que se va a trabajar, se seleccionó el aditivo que proporcione la textura adecuada para las galletas y se realizaron 2 formulaciones utilizando 2 aditivos como se muestra en las siguientes tablas.

TABLA 19: FORMULACION 1 PARA GALLETAS

Ingredientes	Porcentaje (%)
Polvo base	51.2
Mantequilla	25.7
Huevos	4.6
Azúcar	15.4
Esencia de Vainilla	2.6
SSL	0.5

<i>Total</i>	100.0
--------------	-------

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

TABLA 20
FORMULACION 2 PARA GALLETAS

Ingredientes	Porcentaje (%)
Polvo base	51.2
Mantequilla	25.7
Huevos	4.6
Azúcar	15.4
Esencia de Vainilla	2.6
DATEM	0.5
<i>Total</i>	100.0

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Con cada una de las formulaciones, se obtuvieron 30 galletas cuyo diámetro fue de 3.5 cm y el peso promedio de cada galleta fue de 4 gramos.

3.2.3. Prueba Sensorial

Se realizaron dos formulaciones, de las cuales, a través de la evaluación sensorial, se determinará si existe o no diferencia significativa entre ambas.

En este caso, se trabaja con dos formulaciones que contienen dos aditivos diferentes y que son igualmente convenientes, y esto hace difícil definir por cuál decidirse. Por lo tanto, por medio de una prueba sensorial de escala hedónica, se puede obtener la solución al problema y conocer la preferencia que existe por una determinada formulación.

En las pruebas de escala hedónica, el consumidor expresa el grado de gusto o disgusto del alimento en cuestión por medio de una escala verbal-numérica que va en la ficha (1). El formato de la escala hedónica utilizada para la evaluación sensorial se muestra en el Apéndice K.

Para analizar los datos obtenidos mediante esta prueba, se realizó una conversión de la escala verbal en numérica, es decir que, se le asignaron valores consecutivos a cada descripción. Se evaluó el nivel de aceptación de las galletas utilizando una escala hedónica de 5 puntos, donde “me gusta mucho” posee una calificación de 5 y “me disgusta mucho” tiene una calificación de 1. Las calificaciones otorgadas para las galletas por los panelistas se consignan en el apéndice L.

Los resultados obtenidos son analizados utilizando la prueba T, la cual se expone en el apéndice N.

Las evaluaciones sensoriales en las galletas fueron realizadas usando 30 jueces no entrenados seleccionados al azar. La prueba aplicada consistió en la presentación simultánea de 2 muestras, debidamente codificadas; se calculó la diferencia entre las calificaciones otorgadas por cada uno de los jueces para cada una de las formulaciones. Posteriormente, se realiza la suma total de todas las calificaciones para cada una de las formulaciones. A ambas sumas también se les halló la diferencia.

Después, se obtiene el promedio de totales mediante la Ecuación 3.3, el cual resulta de la división de la suma total de resultados para el número total de jueces. Una vez que se realiza el cálculo de promedio de totales, se obtiene la diferencia de dichos promedios, sin considerar el signo.

$$d^- = \frac{m_1}{n} - \frac{m_2}{n} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Luego, se determinó la suma de las diferencias al cuadrado y la suma de los cuadrados de la diferencia expresados en las ecuaciones 3.4 y 3.5 respectivamente. Estos datos se utilizan en la fórmula de análisis de varianza que se muestra en la ecuación 3.6.

$$\sum (D_i^2) = ()^2 + ()^2 + ()^2 + \dots + ()^2 \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$\sum (D)^2 = ()^2 \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$S = \frac{\sqrt{(\sum D_i^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}}{n-1} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

El valor que se obtuvo de la Tabla T con el 5% de significancia se compara como se muestra en la ecuación 3.7. Si esta relación se cumple, quiere decir que existe diferencia significativa entre las formulaciones del producto y se escoge la formulación con mayor calificación total (1).

$$\frac{d}{\left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)} > T \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Donde:

$\sum(D^2_i)$ = suma de las diferencias al cuadrado

$\sum(D)^2$ = suma de los cuadrados de la diferencia

$d\bar{}$ = diferencia de los promedios de totales

S = análisis de varianza

n = número de jueces

T = valor T obtenido de la tabla T test para n-1

Todos estos valores obtenidos se muestran a continuación en la tabla 21.

TABLA 21
RESULTADOS ESTADISTICOS DE LA ESCALA
HEDONICA PARA LAS GALLETAS

$\sum(D^2_i)$	17
$\sum(D)^2$	9
$d\bar{}$	0.10
S	0.14
n	30
T	1.699

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Los resultados de las pruebas sensoriales indican que sí existe diferencia significativa en las formulaciones de los 2 aditivos empleados para la elaboración de galletas. Por lo tanto, la fórmula 2 que emplea el aditivo DATEM como componente de la formulación, fue la que tuvo la mayor aceptación por los jueces y es el seleccionado para la formulación de las galletas.

3.3. Muffins

Los muffins son un tipo de bizcocho horneado en moldecitos pequeños que se caracterizan por ser esponjosos y húmedos por dentro. Estos pastelitos dulces y redondos son muy apetecidos por los consumidores por ser blandos y suaves al paladar.

3.3.1. Diagrama de Procesos

Al igual que en el apartado anterior, en las siguientes líneas se describe el proceso para preparar muffins a partir del polvo base. Esta masa dulce esponjosa está constituida por el polvo base obtenido, huevos, azúcar, levadura y ralladura de limón.

Para elaborar los muffins, en primer lugar, se debe precalentar el horno a 180°C. Luego, se procede a batir las yemas con el azúcar y la mantequilla hasta que estén bien espumosas y de color amarillo claro. Posteriormente, se agrega el polvo base, la levadura y la ralladura de limón (o esencia de vainilla) y se agregan suavemente las claras batidas a punto de nieve, mezclando con movimientos envolventes.

Finalmente, se procede a verter la masa en un molde previamente enmantequillado y enharinado de 22 cm. de diámetro. Se cocina en el horno a 180°C durante 35 a 45 minutos (o hasta que al pinchar el bizcocho con un palillo, éste salga totalmente seco). Se desmolda y se deja enfriar.

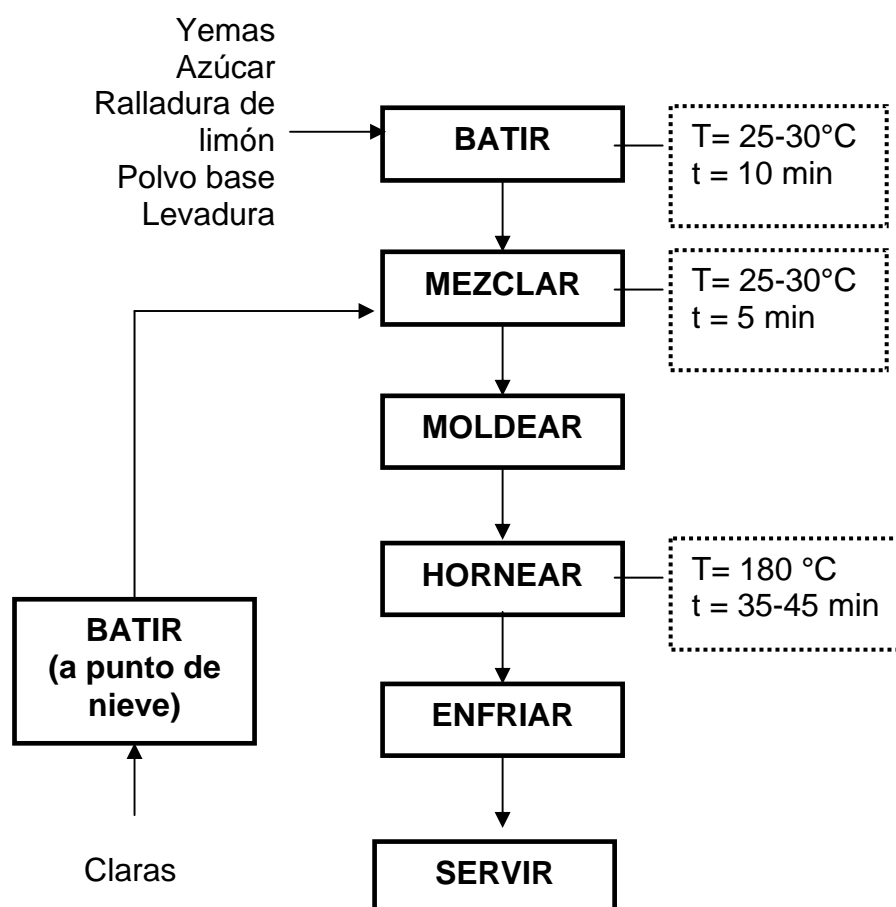


Fig. 3.3 Diagrama de Procesos para elaborar muffins

3.3.2. Formulación

Al igual que las galletas, las características de la masa óptima para formar un muffin, se determinaron a partir de dos fórmulas convencionales con diferentes proporciones de los ingredientes, como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 22
FORMULAS PARA SELECCIÓN DE MASA DE MUFFINS

Ingredientes	Fórmula A	Fórmula B
Polvo base	27.7%	43.7%
Huevos	41.6%	--
Azúcar	23.1%	29.8%
Mantequilla	5.6%	23.9%
Levadura	1.7%	2.2%
Ralladura de limón	0.3%	0.4%
Total	100.0%	100.0%

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Ambas masas se procedieron a hornear. La masa de la fórmula A fue la óptima, puesto que, con ella, se obtuvo una masa suave y esponjosa; mientras que, con la fórmula B, la masa no creció debido a que tenía mucha mantequilla y mucho azúcar.

Una vez seleccionado el tipo de masa con el que se va a trabajar, se procedió a escoger el aditivo que proporcione la textura adecuada para los muffins. Al igual que las galletas, se realizaron 2 formulaciones utilizando 2 aditivos mejoradores de textura, las cuales se muestran en las tablas 23 y 24.

TABLA 23**FORMULACION 1 PARA MUFFINS**

Ingredientes	Porcentaje (%)
Polvo base	27.6
Huevos	41.4
Azúcar	22.9
Mantequilla	5.6
Levadura	1.7
Ralladura de limón	0.3
SSL	0.5
Total	100.0

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

TABLA 24
FORMULACION 2 PARA MUFFINS

Ingredientes	Porcentaje (%)
Polvo base	27.6
Huevos	41.4
Azúcar	22.9
Mantequilla	5.6
Levadura	1.7
Ralladura de limón	0.3
DATEM	0.5
Total	100.0

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

Con cada una de las formulaciones, se obtuvieron 5 muffins cuyo diámetro fue de 4 cm, altura de 4.3 cm y el peso promedio de cada muffin fue de 25 gramos.

3.3.3. Prueba Sensorial

El análisis sensorial empleado es el mismo descrito en las galletas. El formato de la escala hedónica se muestra en el

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de esta investigación, se concluye que para la obtención de harina de yuca, se debe seleccionar yuca fresca y limpia, que cumpla con los parámetros de calidad de materia prima. Los resultados de esta tesis demostraron que, la yuca analizada tuvo una humedad de 65.32% en base húmeda, un ph de 6.93, una actividad de agua de 0.979 y 6.93 °Brix. El valor de la monocapa de BET fue de 0.1109 kg de agua/kg s.s., su humedad de equilibrio es de 0.1816 kg de agua/kg s.s., en base a la isoterma de desorción; su contenido crítico de humedad libre es de 1.1851 kg de agua/ kg s.s correspondiente a una velocidad de secado de 3.60 Kg/h-m² de acuerdo a las curvas del proceso de secado que se llevó a cabo a 50+/-2 °C. En base a estos resultados, se puede resaltar que el estudio del secado tiene gran importancia práctica, y se ve influenciado por un conjunto de parámetros interdependientes como la temperatura y humedad relativa del ambiente,

la humedad inicial de la materia prima, la temperatura y velocidad del aire, etc. El manejo adecuado de dichos parámetros permite determinar las condiciones específicas y apropiadas de secado.

Luego de la etapa de molienda y tamizado, se determinó que, con un 1 Kg (1000 g) de yuca fresca, se puede obtener 325 g de harina, por lo que, el rendimiento de harina a partir de yuca fresca es de 33% aproximadamente; adicionalmente, este polvo fino de color blanco presentó un contenido de humedad de 12.8 %, un pH de 6.1, un contenido de cenizas de 2.51% y un tamaño de partícula de 0.21 mm. Según la isoterma de adsorción de la harina de yuca, el valor de humedad de equilibrio para este producto fue de 0.124 Kg de agua/Kg s.s. El valor de la monocapa para la harina de yuca fue de 0.0562 Kg de agua/ Kg s.s., el cual es el mínimo contenido de humedad en el que este producto logra su máxima estabilidad.

Es importante resaltar que, debido a que la yuca presenta un bajo porcentaje de proteínas, las propiedades viscoelásticas funcionales de la harina de yuca obtenida son limitadas, las cuales son características de la proteína del trigo que permite la formación del gluten. Desde el punto de vista de valor nutricional, esta deficiencia de proteínas, permite considerar

la necesidad de enriquecer la harina en este nutriente o incluirla en formulaciones acompañada de alimentos ricos en proteínas.

El polvo base obtenido de la mezcla de las harinas de yuca, arroz y maíz, constituye una interesante propuesta comercial para la elaboración de productos horneados para los celíacos. En el caso de la elaboración de galletas y muffins, se determinó que sí existieron diferencias significativas en las formulaciones con DATEM y SSL de ambos productos, por lo que se seleccionaron las formulaciones que incluían al aditivo DATEM respectivamente, por lo cual se puede concluir que, para convertir el polvo base en una mezcla de harinas comercial destinada a la elaboración de productos horneados, podría incluirse el aditivo DATEM en la formulación de dicha mezcla, el mismo que fue seleccionado porque de acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial, mejora la textura y suavidad de las galletas y de los muffins elaborados. Esto se debe al elevado potencial de dicho aditivo como agente de control de la textura de los alimentos.

El tiempo de vida útil para la presentación de 500 g de producto, utilizando polietileno como material de empaque, sería de 200 días, equivalente a 7 meses aproximadamente. Para alargar el tiempo de vida útil, se sugiere realizar estudios con otros tipos de empaque que posean una baja permeabilidad al vapor de agua.

El alto nivel de aceptación expresado a través de los resultados de las pruebas sensoriales, demuestran que la harina de yuca es una materia prima potencial para la industria de productos alimenticios, y es una posible fuente agroalimentaria para el consumo, no solamente de las personas que padecen de celiaquía, sino también para el público en general. Es por ello que, se sugiere evaluar su potencialidad en el desarrollo de otros productos de panificación y pastelería como por ejemplo empanadas, frituras, productos extruidos, etc, los cuales puedan brindar una alternativa de alimentación, especialmente para las personas que padecen de la enfermedad celíaca.

apéndice I. Las calificaciones otorgadas por los jueces se encuentran en el apéndice M. Los resultados se muestran en la tabla 25 y se compararon con el valor obtenido de la prueba T con el 5% de nivel de significancia.

TABLA 25
RESULTADOS ESTADISTICOS DE LA ESCALA
HEDONICA PARA LOS MUFFINS

$\sum(D^2_i)$	24
$\sum(D)^2$	4
d'	0.0667
S	0.1685
n	30
T	1.699

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

A través de las pruebas sensoriales, se demostró que sí existe diferencia significativa entre las formulaciones utilizadas para elaborar muffins. Es decir que, la fórmula 2 que emplea el aditivo DATEM como componente de la formulación, fue la que tuvo la mayor aceptación por los jueces. Por lo tanto, el aditivo DATEM es el aditivo seleccionado para la formulación de los muffins.

APENDICE A

ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE COSECHADA (Ha) Y DE LA PRODUCCION DE YUCA (Tm) EN EL ECUADOR

(AÑO 2006)

Región/Provincia	ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE COSECHADA (Ha)	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (Tm)
Costa, Amazonía y Galápagos		
MANABI	6.076	27.691
LOS RIOS	2.365	14.380
ESMERALDAS	2.725	11.425
MORONA SANTIAGO	1.840	9.870
SUCUMBIOS	1.980	9.360
ORELLANA	1.800	9.200
GUAYAS	702	5.616
NAPO	1.180	5.340

ZAMORA CHINCHIPE	917	3.845
EL ORO	430	2.235
PASTAZA	75	410
GALAPAGOS	17	54
Sierra		
COTOPAXI	3.500	24.460
PICHINCHA	3.200	22.920
LOJA	1.343	6.956
BOLIVAR	887	4.729
IMBABURA	201	866
AZUAY	160	860
CHIMBORAZO	117	521
CAÑAR	93	374
TUNGURAHUA	--	--
CARCHI	--	--

Fuente: Direcciones Provinciales MAGAP - Agencias de Servicio

Agropecuario

Elaborado por: SIGAGRO-SIA

APENDICE B

ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS EMPLEADOS EN LABORATORIO PARA OBTENER HARINA DE YUCA

SECADOR HORIZONTAL (Tipo cabina) FIMCP-Laboratorio de Termofluidos

Modelo No.: Prototipo
Hertz: 60 Velocidad del aire: T= 4.19 m/s
Voltios: 220 Watts: 5600 Amperios: 25.5
Fase: Simple

WATER ACTIVITY METER: AQUALAB FIMCP- Laboratorio de Bromatología

Modelo No.: Series 3
Compañía: Decagon, USA.
Precisión +/-0.003 aw Resolución: ±0.001aw
Dimensiones: 24.1 x 22.9 x 8.9 cm (9.5 x 9.0 x 3.5 in)
Ambiente de operación: 5 to 50°C (41 to 122°F) - 20 to 85% Humidity
Rango: 0.030 a 1.000aw
Capacidad de muestra en el platillo: 7ml recomendado (15ml full)
Poder universal: 110V to 220V AC, 50/60Hz

TAMIZADOR PROTAL-Laboratorio de Control

Modelo: RX 812
Tensión de red: 230 voltios, 50 hercios o 110 voltios, 60 hercios
Reloj programador: 0 - 99 minutos - digital
Revoluciones/min: 280 ± 10 Peso: aprox. 28 kg
Emisión de ruido: =70 dBA
Dimensiones: 590 x 380 x 330 mm (An x P x Al)
Material a tamizar: máx. 3 kg

BALANZA SECADORA PARA HUMEDAD FIMCP- Laboratorio de Bromatología

MARCA: KERN MODELO: MLB 50-3.
Lectura: 0.001 g - 0.01%
Máxima carga de pesaje: 50 g
Cantidad mínima para el secado: 0.02 g
Rango de temperatura: 50-160°C

PH METRO FIMCP – Laboratorio de Agropecuaria

Model: EC-PH510
Rango: 0.00 to 14.00 pH
Resolución & Precisión: 0.01 & ±0.01 pH
mV Rango: ±199.9 mV; ±1999 mV
Rango de Temperatura: 0.0 to 100.0 °C

APENDICE C

VALORES EXPERIMENTALES DEL SECADO DE YUCA

Tiempo (min)	Peso (g) w	Humedad (base seca) (g H₂O/g s.s.) Xt=W-Ws/Ws	Humedad libre X=Xt-X*	X media	ΔX	Δt (horas)	Velocidad de secado Rc (Kg/h-m²)
0	95,8	1,884	1,7419	1,7103	0,07	0,08	4,04
5	93,7	1,820	1,6787	1,6411	0,06	0,08	3,68
10	91,2	1,745	1,6034	1,5779	0,06	0,08	3,60
15	89,5	1,694	1,5523	1,5162	0,06	0,08	3,60
20	87,1	1,622	1,4800	1,4545	0,06	0,08	3,51
25	85,4	1,570	1,4289	1,3943	0,06	0,08	3,60
30	83,1	1,501	1,3596	1,3326	0,06	0,08	3,60

35	81,3	1,447	1,3055	1,2709	0,06	0,08	3,51
40	79	1,378	1,2362	1,2107	0,06	0,08	3,60
45	77,3	1,327	1,1851	1,1490	0,06	0,08	3,60
50	74,9	1,254	1,1128	1,0872	0,06	0,08	3,42
55	73,2	1,203	1,0617	1,0286	0,06	0,08	3,33
60	71	1,137	0,9954	0,9714	0,06	0,08	3,25
65	69,4	1,089	0,9473	0,9157	0,05	0,08	3,16
70	67,3	1,026	0,8841	0,8615	0,05	0,08	3,07
75	65,8	0,981	0,8389	0,8088	0,05	0,08	2,98
80	63,8	0,920	0,7787	0,7577	0,05	0,08	2,89
85	62,4	0,878	0,7366	0,7080	0,05	0,08	2,81
90	60,5	0,821	0,6794	0,6598	0,05	0,08	2,72
95	59,2	0,782	0,6403	0,6132	0,04	0,08	2,46
100	57,4	0,728	0,5861	0,5710	0,03	0,08	2,02

105	56,4	0,698	0,5560	0,5364	0,06	0,17	1,89
115	55,1	0,658	0,5169	0,4717	0,06	0,17	1,89
125	52,1	0,568	0,4266	0,4070	0,06	0,17	1,67
135	50,8	0,529	0,3874	0,3498	0,05	0,17	1,45
145	48,3	0,454	0,3122	0,3002	0,04	0,17	1,23
155	47,5	0,430	0,2881	0,2580	0,04	0,17	1,14
165	45,5	0,370	0,2279	0,2189	0,04	0,17	1,10
175	44,9	0,351	0,2099	0,1813	0,04	0,17	1,05
185	43	0,294	0,1527	0,1451	0,03	0,17	0,92
195	42,5	0,279	0,1376	0,1135	0,03	0,17	0,88
205	40,9	0,231	0,0895	0,0834	0,04	0,25	0,82
220	40,5	0,219	0,0774	0,0413	0,04	0,25	0,70
235	38,1	0,147	0,0052	0,0052		0,25	0,00
250	38,1	0,147	0,0052				

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

APENDICE D

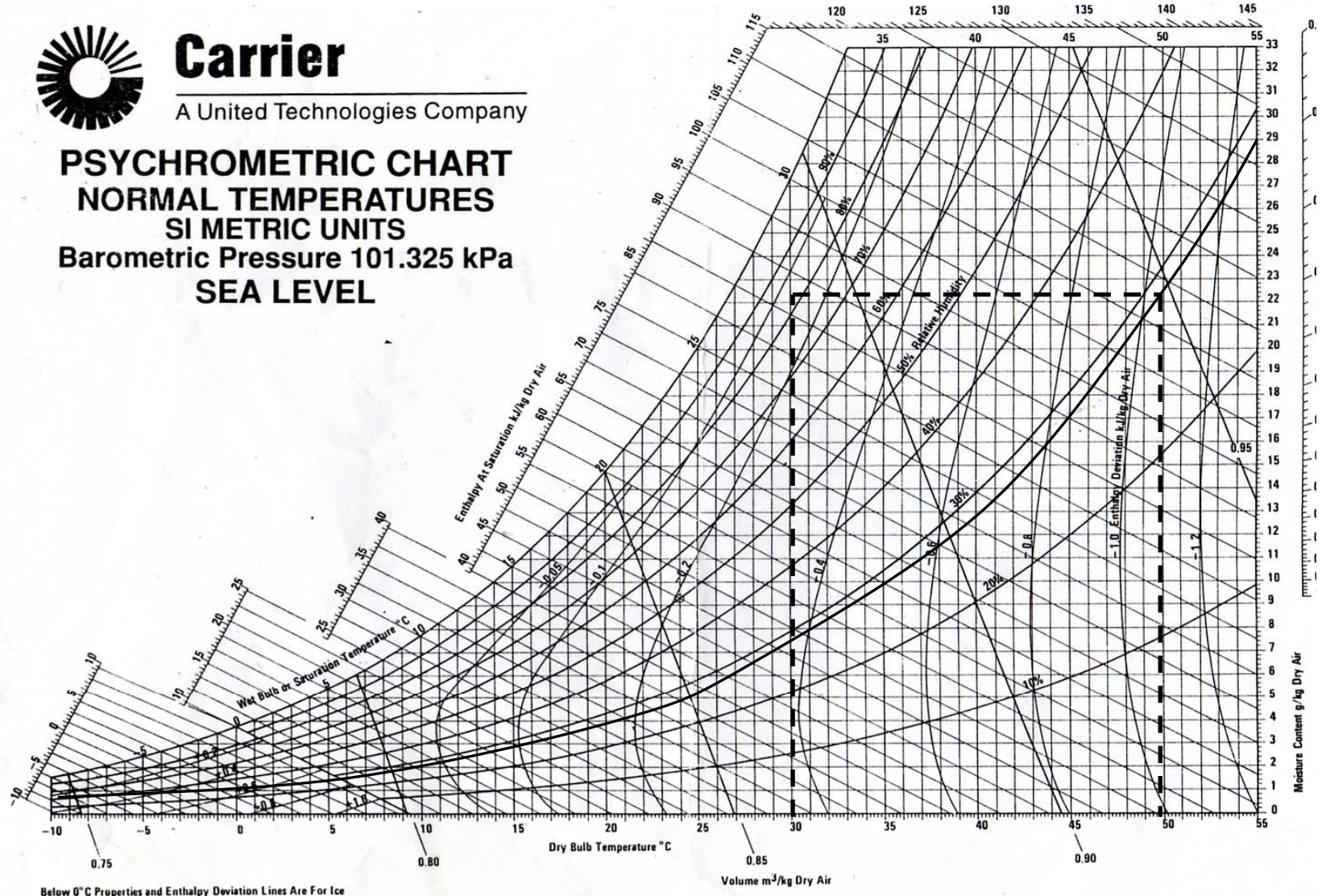
TABLA PSICROMÉTRICA ($T_{ambiente} = 30^{\circ}\text{C}$, $HR = 85\%$ y $T_{sec} = 50^{\circ}\text{C}$)



Carrier

A United Technologies Company

PSYCHROMETRIC CHART
NORMAL TEMPERATURES
SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL



Below 0°C Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice

Fig. A.5.2 Psychrometric chart for low temperature range.

APENDICE E

DATOS DE LA ISOTERMA DE ADSORCION DE HARINA DE YUCA A 32°C

Pruebas	Reactivos	Peso Sistema	Peso Inicial	Wi Sistema+ Muestra	Wfinal sistema + muestra	Wf muestra	Aw= %ERH/100	H bh	H bs	H bs (promedio)
1	Hidroxido de Sodio	1,1856	2,0056	3,1912	3,0723	1,8867	0,0745	0,07305	0,07880	0,048049
2		1,0474	2,0590	3,1064	2,8739	1,8265		0,01700	0,01729	
1	Cloruro de Magnesio	1,3056	2,1224	3,428	3,2699	1,9643	0,3244	0,05782	0,06136	0,097688
2		1,1113	2,0645	3,1758	3,1528	2,0415		0,11818	0,13401	
1	Carbonato de Potasio	1,2735	2,0556	3,3291	3,2525	1,979	0,429	0,09425	0,10405	0,101197
2		1,4601	2,0285	3,4886	3,4029	1,9428		0,08953	0,09834	
1	Nitrate de Sodio	0,973	2,1123	3,0853	3,2073	2,2343	0,7314	0,17561	0,21302	0,157296
2		1,3204	2,1099	3,4303	3,3471	2,0267		0,09220	0,10157	
1	Cloruro de Potasio	1,0081	2,0950	3,1031	3,2473	2,2392	0,8362	0,18416	0,22572	0,191391
2		1,179	2,1103	3,2893	3,3082	2,1292		0,13574	0,15706	

Elaborado por: Gabriela Alvarado, 2009

APENDICE F

TABLA DE ABERTURA DE MALLA Y EL NÚMERO MESH DE LOS SISTEMAS ASTM, TYLER Y BRITISH STANDARD

Sieve opening (mm)	USA standard ASTM E 11-61	Mesh number Tyler (mesh/in.)	British standard (mesh/in.)
0.037	400	400	—
0.044	325	325	—
0.045	—	—	350
0.053	270	270	300
0.063	230	250	240
0.074	200	200	—
0.075	—	—	200
0.088	170	170	—
0.090	—	—	170
0.105	140	150	150
0.125	120	115	120
0.149	100	100	—
0.150	—	—	100
0.177	80	80	—
0.180	—	—	85
0.210	70	65	72
0.250	60	60	60
0.297	50	48	—
0.300	—	—	52
0.354	45	42	—
0.355	—	—	44
0.420	40	35	35
0.500	35	32	30
0.595	30	28	—
0.600	—	—	25
0.707	25	24	—
0.710	—	—	22
0.841	20	20	—
1.00	18	16	16
1.19	16	14	—
1.20	—	—	14
1.41	14	12	—
1.68	12	10	10
2.00	10	9	8

APENDICE G
NORMA INEN 517

CDU 664.2:543

INEN

AL 02.02-301

Norma
Ecuatoriana

**HARINAS DE ORIGEN VEGETAL
DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS**

**INEN 517
1980-12**

OBIGATORIA

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar el tamaño de las partículas en las harinas de origen vegetal.

2. RESUMEN

2.1 Pasar una muestra previamente pesada a través de diferentes tamices; pesar los residuos de cada uno de ellos y expresar en porcentaje.

3. INSTRUMENTAL

3.1 *Máquina vibradora de tamices.*

3.2 *Tamices*, con aberturas equivalentes a 710 μm , 500 μm , 355 μm y otras (ver Norma INEN 154).

3.3 *Tapa y plato recolector*, adecuados para los tamices que puedan ser insertados fácilmente en ellos.

3.4 *Pincel*, de pelo suave.

3.5 *Balanza analítica*, sensible al 0,1 mg.

4. PREPARACION DE LA MUESTRA

4.1 Las muestras para el ensayo deben estar acondicionadas en recipientes herméticos, limpios, secos (vidrio, plástico u otro material inoxidable) y completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire.

4.2 La cantidad de muestra de la harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativa; no debe exponerse al aire mucho tiempo y debe estar como sale de la molienda.

4.3 Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que la contiene.

5. PROCEDIMIENTO

5.1 La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

5.2 Escoger los tamices que se indican en la norma específica para la harina correspondiente y colocar uno encima de otro, cuidando que queden en orden decreciente de arriba hacia abajo, con referencia al tamaño de la abertura de la malla de cada tamiz, de modo que el tamiz de mayor abertura sea colocado en la parte superior y el de menor abertura quede en el fondo, y debajo de éste colocar el plato recolector.

(Continúa)

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, Casilla 3999 - Baquerizo Moreno 454 - Quito-Ecuador—Prohibida la reproducción

5.3 Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 100 g de harina de cuyas partículas debe determinarse el tamaño.

5.4 Transferir la muestra al tamiz superior de la columna de tamices, poner la tapa, fijar la columna en el aparato de vibración y poner en funcionamiento durante cinco minutos, y después de este tiempo, suspender el movimiento de la máquina.

5.5 Desintegrar los aglomerados pasando suavemente el pincel contra la malla, empezando la operación por el tamiz superior, luego al inmediato inferior y así sucesivamente hasta llegar al tamiz del fondo.

5.6 Pasar cuantitativamente a una hoja de papel, previamente pesada, la fracción de la muestra retenida por cada uno de los tamices y pesar con aproximación al 0,1 g.

6. CALCULOS

6.1 El contenido de harina de origen vegetal retenido por cada uno de los tamices se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$MR = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100$$

Siendo:

MR = masa retenida de harina, en porcentaje de masa.

m = masa de la muestra de harina, en g.

m₁ = masa del papel sin harina, en g.

m₂ = masa del papel con la fracción de harina, en g.

7. ERRORES DE METODO

7.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,40/o; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

8. INFORME DE RESULTADOS

8.1 Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación.

8.2 En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

8.3 Deben incluirse todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

APENDICE Z

Z.1 NORMAS A CONSULTAR

INEN 154 *Tamices de ensayo. Tamaños nominales de las aberturas.*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Centroamericana ICAITI 34 086 h 9. *Harinas de origen vegetal. Determinación del tamaño de las partículas.* Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala, 1974.

Norma Hindú IS: 4706. *Method of Test for Edible Starches.* Indian Standards Institution. Nueva Delhi, 1968.

APENDICE H
HOJA TECNICA DEL ADITIVO SSL

	HOJA TECNICA	Código: M-T-GT 127
	GRANOEMUL SSL	Cláusula: 7.3.3.2
	(Estearoil Lactilato de Sodio) GRADO ALIMENTICIO	Fecha: 10-09-2008

GRANOEMUL

Producto	Nombre Comercial: Granoemul SSL Nombre Generico : Estearoil lactilato de sodio	
Descripción	<p>El Granoemul SSL(Estearoil lactilato de sodio) es un polvo de color crema ligeramente higroscópico con numerosas aplicaciones en la industria alimenticia. En productos panificables es reconocido como el reforzador / relajador de masa líder en el mercado. En otras aplicaciones es un emulsificador lipofílico que puede ser utilizado tanto en sistemas acuosos como oleosos. Se dispersa fácilmente en aceite caliente, grasa o agua.</p> <p>El Granoemul SSL(Estearoil lactilato de sodio) mediante una reacción ácido esteárico y láctico neutralizado a una sal de sodio.</p>	
Composición	Estearoil lactilato de sodio	
Especificaciones	Tamaño de partícula	100% pasa la malla de 20 Mesh
	Punto de Fusión	117-124 F
	Valor acido	60-80
	Sodio	3.5 - 5.0%
	Acido Láctico	31.0-34.0%
	Numero de Ester	150 -190
	Humedad	Máx. 5%
Aplicación	<p>El Granoemul SSL (Estearoil lactilato de sodio) es utilizado como emulsificante y acondicionador en la elaboración de diversos productos alimenticios. <i>0,5% base harine</i></p>	
Dosificación Recomendada	Tortas y Mezclas de Tortas	0.1 a 0.2% (máx.) basado en el peso del producto final.
	Productos Dulces con Levadura	0.5% máx.. Basado en el peso de la harina.
	Galletas Dulces y Saladas	0.1-0.5% máx.. Basado en el peso de la harina.
	Masas para Pies	0.1-0.5% máx.. Basado en el peso de la harina.
	Masas Congeladas	0.25-0.5% máx.. Basado en el peso de la harina.
	Pudines	0.15 a 0.2% (máx.) basado en el peso del producto final.
	Alcorzas y Rellenos	0.1 a 0.2% (máx.) basado en el peso del producto final.
	Bocaditos Extruídos	0.1a0.2% (máx.) basado en el peso del producto final.


	HOJA TECNICA	Código: M-T-GT 127
	GRANOEMUL SSL	Cláusula: 7.3.3.2
	(Estearoil Lactilato de Sodio) GRADO ALIMENTICIO	Fecha: 10-09-2008

Productos Horneados con Soya Fortificada 0.28-0.5% máx.. Basado en el peso de la harina.

Productos Extruidos 0.1 a 0.2% (máx.) basado en el peso del producto final.

- Beneficios**
- Mejora el volumen, textura y suavidad; otorga tolerancia a la variación de ingredientes y proceso.
 - Mejora la maquinabilidad, corte, volumen, textura y suavidad. Otorga tolerancia a la variación de ingredientes y proceso
- Condiciones de almacenamiento** Almacenar en un lugar fresco y seco. Mantener el container cerrado cuando no está en uso.
- Presentación** Cartón con recubrimiento de polietileno de 25 kg.
- Seguridad** Usar equipo de protección sobre el aparato respiratorio.
- Duración Mínima** 12 meses

APENDICE I
HOJA TECNICA DEL ADITIVO DATEM

	HOJA TECNICA	Código: M-T-GT 152
	GRANOEMUL DATEM	Cláusula: 7.3.3.2
	GRADO ALIMENTICIO	Fecha: 15-09-2007

GRANOEMUL

Producto	Emulsificante, son esteres de mono y digliceridos del diacetil tartárico.	
Descripción	Polvo granular de color blanco, tiene un ligero olor acido. Solubles en los disolventes comunes para grasas: metanol, en acetona y acetato de etilo. Insoluble en otros alcoholes: acido acético y en agua.	
Composición	Es el producto de una reacción parcial de glicéridos de aceites comestibles, grasas que forman ácidos grasos libres con diacetil tartarico anhidro.	
Especificaciones	Propiedades Químicas	
	Valor de acidez mg/KOH/g	85 - 105
	Valor de saponificación	380-425
	Indice de Yodo	Máximo 2 g. /100g.
	Punto de fusión	Aprox. 44 °C
Aplicación	Utilizado como agente emulsionante en panificación, en todo tipo de masa con levadura o leudante químico y en galletería. Se usa también en la elaboración de fideos que no provienen de trigos durum.	
Dosificación Recomendada	100-250 g por 50 Kg de harina. <i>0,5% base harina</i>	
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Este actúa como un acondicionador de masa, uniendo y lubricando las cadenas de gluten durante el mezclado mejorando el manejo mecánico de las masas. ▪ Produce un efecto que evita la retrogradación del almidón ▪ Evita también la pérdida de humedad del producto terminado ▪ Durante la cocción, evita pérdida de almidón de las pastas, otorgándole al producto una textura ideal. 	
Condiciones de almacenamiento	Se recomienda mantener el producto en un ambiente fresco y ventilado. Mantener los envases cerrados cuando no estén en uso y alejarlos de posibles fuentes de incendio	
Presentación	Bolsa de polietileno de 25 Kg.	
Seguridad	Utilizar medidas protectoras sobre el aparato respiratorio.	
Duración Mínima	24 meses	

APÉNDICE J

TABLA DE PRESIONES DE VAPOR DE AGUA

Temperatura (°C)	Presión de vapor (atm)	Presión de vapor (kPa)
0	0,00626	0,612
5	0,00856	0,871
10	0,0121	1,226
15	0,0168	1,70
20	0,0230	2,33
25	0,0313	3,17
30	0,0418	4,24
37	0,0621	6,29
40	0,0728	7,38
60	0,196	19,94
80	0,466	47,35
100	1,00	101,3
120	1,96	198,5
130	2,67	270,1

APENDICE K

FICHA PARA LA EVALUACION SENSORIAL: ESCALA HEDONICA DE NUEVE PUNTOS

PRODUCTO:

FECHA:

Por favor, pruebe las muestras e indique su nivel agrado marcando en la escala con una X.

Toma en cuenta que tú eres el único juez que puedo decir lo que te gusta.

VALOR	DESCRIPCION	AX1	GJ1
5	Me gusta mucho		
4	Me gusta		
3	Ni me gusta ni me disgusta		
2	Me disgusta		
1	Me disgusta mucho		

Comentarios:

¡MUCHAS GRACIAS!

APENDICE L

CALIFICACIONES OTORGADAS POR LO JUECES PARA LAS GALLETAS

No Jueces	Códigos		D	D ²
	AX1	GJ1		
1	4	5	-1	1
2	4	4	0	0
3	4	4	0	0
4	4	4	0	0
5	4	3	1	1
6	3	3	0	0
7	4	4	0	0
8	3	4	-1	1
9	4	4	0	0
10	4	5	-1	1
11	5	4	1	1
12	4	4	0	0
13	4	3	1	1
14	4	5	-1	1
15	3	4	-1	1
16	4	4	0	0
17	4	3	1	1
18	4	4	0	0
19	4	5	-1	1
20	5	4	1	1
21	4	4	0	0
22	4	4	0	0
23	3	4	-1	1
24	3	4	-1	1
25	4	4	0	0
26	3	4	-1	1
27	4	5	-1	1
28	5	4	1	1
29	4	3	1	1
30	4	4	0	0
	117	120	-3	17

APENDICE M

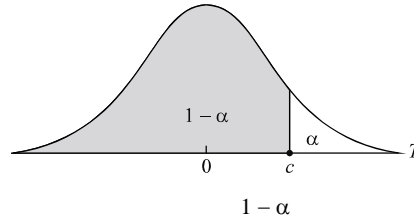
CALIFICACIONES OTORGADAS POR LO JUECES PARA LOS MUFFINS

No Jueces	Código		D	D ²
	GM6	JQ3		
1	4	2	-2	4
2	3	3	0	0
3	3	3	0	0
4	4	4	0	0
5	4	3	-1	1
6	4	4	0	0
7	4	3	-1	1
8	3	2	-1	1
9	3	3	0	0
10	4	5	1	1
11	5	4	-1	1
12	3	4	1	1
13	3	3	0	0
14	3	3	0	0
15	5	4	-1	1
16	4	4	0	0
17	3	4	1	1
18	4	3	-1	1
19	3	5	2	4
20	4	4	0	0
21	4	5	1	1
22	3	4	1	1
23	4	4	0	0
24	3	4	1	1
25	4	3	-1	1
26	2	3	1	1
27	3	3	0	0
28	4	4	0	0
29	4	5	1	1
30	3	4	1	1
	107	109	2	24

APENDICE N

PRUEBA T DE STUDENT

TABLA DE LA DISTRIBUCION t-Student



<i>r</i>	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

BIBLIOGRAFIA

1. ANZALDÚA Morales, Antonio; La Evaluación Sensorial de los Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1994, Págs. 67 – 75.
2. APARICIO Meix, Juan Manuel; HERNANDEZ Rodríguez, Manuel. Pediatría. 2da edición. Publicado por Ediciones Díaz de Santos, 1994. 1463 páginas. Pág. 617-622.
3. ASTIASARÁN Anchia, Iciar. Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria. Publicado por Ediciones Díaz de Santos, 2003. 505 páginas. Página 110-111.
4. BARBOZA G; VEGA H, Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000, Págs. 27- 35, 130 – 135.

5. CEVALLOS Viteri, Jaime. El desarrollo agropecuario de Manabí. Publicado por la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, 2005. 179 páginas. Página 111.

6. FLOCH, Martin H.; FLOCH, Neil R.; NETTER, Frank H.; CRAIG, John A., PIQUÉ Badia, Josep Maria. Netter: Gastroenterología. Publicado por Elsevier España, 2006. 904 páginas. Capítulo 109. Página 355-358

7. HERRERA Ballester, Agustín; HERRERA de Pablo, Esther; MÁRMOL González, Rafael. La enfermedad celíaca y su gastronomía. Publicado por Carena Editors, S.I., 2006. 299 páginas. Páginas 28-266.

8. LÓPEZ Alegret, Pedro; BOATELLA Riera, Joseph. Química y Bioquímica de los Alimentos II. Ediciones Universitat Barcelona, 2004. Pag 93-94.

9. MANUAL DEL CELIACO. Disponible en:
<http://www.alimenta.com.uy/data/contenido.php?idCont=291&PHPSESSID=25cfdb589b17bbe2cce6c7c3c55f6bc9>

10. MONTALDO, Alvaro; GUNZ, Tomás; MONTILLA, J.J. La yuca o mandioca: Cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura,. Publicado en 1985. 386 páginas. Pagina 14-156.
11. REINA, Carlos Emilio; BARRERO, César Augusto; LÓPEZ, Diego Mauricio. Manejo Postcosecha y evaluación de la calidad para la yuca (Manihot esculenta) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería., 1996, 120 páginas. Página 26-111.
12. SANCHO Valls, Joseph; BOTA Prieto, Enric; DE CASTRO Martín, Juan José; PUIG Vayreda, E. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Publicado por Ediciones Universitat Barcelona, 2001. 336 páginas. Página 143-148.
13. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DEL ECUADOR (SICA). *Agronegocios: La Yuca, un producto para invertir*. Disponible en: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/raices/yuca/yuca_mag.pdf

14. VEGA Gálvez, Antonio; LARA Aravena, Elena; LEMUS Mondaca, Roberto. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). Universidad de La Serena, Chile. Revista de Ciência y Tecnología Alimentaria, Volumen 26 No. 4 Campinas. Recibido 8/12/2005. Aceptado 20/10/2006.

15. TOLEDO, Romeo. Fundamentals of Food Process Engineering. Segunda Edición. Ontario, Canadá. 1991. Página 523.