

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIA, TECNOLOGIA E INGENIERIA DE
LOS ALIMENTOS**



**“ELABORACION DE UN PRODUCTO EXPANDIDO POR
EXPLOSION SUSTITUYENDO PARCIALMENTE HARINA DE
TRIGO POR HARINA DE YUCA (Manihot esculenta C)”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CÉSAR AUGUSTO LOVATÓN AGUÍ

Tingo María – Perú

1999





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TINGO MARÍA - PERÚ
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el sábado 19 de junio de 1999, a horas 5:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bachiller en Ciencias Industrias Alimentarias: CESAR AUGUSTO LOVATON AGUI, con el título:

"ELABORACION DE UN PRODUCTO EXPANDIDO POR EXPLOSION SUSTITUYENDO PARCIALMENTE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE YUCA (Manihot esculenta C)".

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, se declara aprobado con el Calificativo de BUENO, en consecuencia el Bachiller CESAR AUGUSTO LOVATON AGUI, queda apto para recibir el Título de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22 de la Ley Orgánica de la Universidad Peruana 23733; con los artículos 43° y 45° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; con los artículos 95° y 96° del Reglamento General de la UNAS.

Tingo María, 22 de junio de 1999.

ING. PEDRO FEJAEZ SANCHEZ
PRESIDENTE



ING. ALFREDO A. CARRIONA RUIZ
VOCAL

ING. JORGE CASTRO GRACEY
VOCAL

ING. ALIPIO ORTEGA RODRIGUEZ
PATROCINADOR

DEDICADO:

Al Supremo Creador:

**Por permitirme vivir e iluminar mi camino
en cada instante**

A mis Padres:

**Severa y Emiberto por su comprensión y
sacrificio para alcanzar mi mejor anhelo**

**A mi tío Santiago, por orientarme
adecuadamente en el camino de la vida**

A mis hermanos:

**Elmer y Melissa, como ejemplo para su
superación.**

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Alipio Ortega Rodríguez, como asesor del presente trabajo de investigación

Al Técnico Carlos Salazar Salazar, por haber contribuido en la realización de los diferentes análisis de laboratorio y por brindarme su sincera amistad

A mis primos Carmen, Kenny y Kenji, por su colaboración en el desarrollo de la parte experimental del presente estudio

A mis compañeros de estudios Kenneth, Gabriel, Gastón, Levis, Orlando, Davy, Gustavo, Lorena, por su amistad y comprensión con quienes compartí gratos momentos en las aulas universitarias.

INDICE

	pág.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
A. Generalidades de la yuca (<u>Manihot esculenta</u> C)	4
1. Clasificación taxonómica	5
2. Epoca de siembra	5
3. Composición química de la yuca	6
B. Generalidades de la harina de yuca	7
C. Generalidades de la harina de trigo	7
D. El proceso de expansión por explosión	8
1. Fundamentos del proceso	8
2. Parámetros más importantes del proceso	9
3. Verduras y frutas expandidas	11
4. Cereales Inflados o expandidos	13
5. Grado de expansión	14
6. Efecto térmico	14
7. Descripción del equipo de expansión por explosión	18
E. Alimentos extruidos	24
III. MATERIALES Y METODOS	25
A. Lugar y fecha de ejecución	25
B. Materia prima e insumos	25
1. Materia prima	25

2. Insumos	26
C. Equipos, materiales y reactivos	26
1. Equipos de procesamiento	26
2. Equipos de laboratorio	26
3. Materiales de laboratorio y proceso	27
4. Reactivos y soluciones	28
D. Métodos de análisis	28
1. En las materias primas	28
2. En los productos expandidos experimentales	29
3. En el producto terminado	30
E. Metodología del estudio	32
1. En las materias primas	32
2. En los productos expandidos experimentales	32
3. En el producto terminado	38
4. Prueba complementaria	38
F. Diseño experimental	39
1. Del nivel de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y la presión interna del cañón esponjador	39
2. Del almacenamiento	41
3. De la prueba de preferencia	42
G. Análisis estadístico	43
1. Del nivel de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y la presión interna del cañón esponjador	43
2. Del almacenamiento	44
3. De la prueba de preferencia	44

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
A. Caracterización de las materias primas	46
1. Análisis químico de la harina de trigo	46
2. Análisis químico de la harina de yuca blanca	47
3. Análisis de granulometría de las harinas de trigo y yuca	48
B. Evaluación de los productos expandidos experimentales	51
C. Elaboración y caracterización del producto terminado	60
1. Análisis químico de la harina mixta (M ₂)	60
2. Análisis de granulometría de la harina mixta	61
3. Análisis de farinografía de la harina mixta	63
4. Flujograma de operaciones para elaborar el producto expandido por explosión	64
5. Características químicas y físicas del producto expandido	68
6. Balance de materia y rendimiento	70
7. Isotermas de adsorción	72
8. Predicción de la vida útil del producto expandido	77
9. Prueba de preferencia	80
10. Almacenamiento del producto expandido	83
11. Análisis microbiológico del producto expandido	89
12. Prueba complementaria	90
V. CONCLUSIONES	94
VI. RECOMENDACIONES	95
VII. BIBLIOGRAFIA	96
ANEXOS	103

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Tostadora "Los Angeles" ubicada en la ciudad de Huánuco y en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, teniéndose como principales objetivos:

- Elaborar un producto expandido por explosión de óptima calidad, sustituyendo parcialmente la harina de trigo por harina de yuca (Manihot esculenta C).
- Caracterización química, sensorial y microbiológica del producto expandido.

El procesamiento para la obtención del producto expandido, se realizó de la siguiente manera: sustitución y mezclado de la materia prima, hidratación de las harinas, amasado, moldeado, secado (obtención de gritz), precalentamiento del equipo, pesado y alimentación, calentamiento de los gritz, expansión por explosión, recepción, tamizado y selección, recubrimiento, enfriado, empaçado, almacenamiento y/o comercialización.

Se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Es posible elaborar un producto expandido por explosión, sustituyendo la harina de trigo por harina de yuca hasta un 20% sin diferencia estadísticas, trabajando a 130 lb/pulg² de presión y cuya vida útil proyectada es de 354 días.
2. La composición químico proximal del producto expandido con cobertura de chocolate fue: humedad 6.35%, proteína 10.30%, grasa 7.32%, fibra 1.9%, ceniza 0.82% y carbohidratos 73.3%.

3. El producto expandido elaborado tuvo una buena aceptación organoléptica, teniendo una pronunciada preferencia al ser comparado con otros productos expandidos elaborados bajo este mismo sistema.

4. El producto expandido elaborado tuvo una adecuada calidad sanitaria.

I. INTRODUCCION

La yuca (Manihot esculenta C.), es una planta tropical, originaria de América del Sur y su cultivo tiene importancia especialmente en la región de la Selva del Perú, ya que las raíces se utilizan en la alimentación diaria de los habitantes de esta zona por ser una fuente principal de carbohidratos para la alimentación humana y por ende de ingresos económicos. Sin embargo la yuca fresca, es altamente perecedera; haciendo difícil su comercialización, debido a que su vida útil en una despensa es de sólo dos a tres días; en tal sentido existe la necesidad de elaborar diversos productos teniendo como materia prima a la yuca con la finalidad de prolongar la vida útil e incrementar su comercialización.

Teniendo en cuenta que la harina de trigo como la harina de yuca, presentan un alto contenido de almidón y baja humedad, por lo que son adecuados para el procesamiento de productos expandidos por explosión; mediante lo cual se obtiene como producto final un alimento agradable y de muy baja humedad, favoreciendo asimismo su conservación.

El presente trabajo de investigación presenta los siguientes objetivos:

- Elaborar un producto expandido por explosión de óptima calidad sustituyendo parcialmente la harina de trigo por harina de yuca (Manihot esculenta C).
- Caracterización química, sensorial y microbiológica del producto obtenido.

II. REVISION DE LITERATURA

A. Generalidades de la yuca (Manihot esculenta C)

Montaldo (1979), menciona que la yuca es una planta oriunda del centro de América, que es cultivada generalmente a partir de trozos de tallos durante un período de 8 a 24 meses.

Curriel (1977), dice que la yuca es un arbusto que crece hasta una altura comprendida entre 1 a 5 metros. Su tallo se ramifica a diferentes alturas, según las variedades y las condiciones ecológicas, donde generalmente produce tres ramificaciones secundarias y a veces terciarias. Las hojas son lobuladas de color verde hasta rojizo que se acentúa en el peciolo.

Según **Montaldo (1979)**, las raíces tuberosas se agrupan en número variable y tienen, por lo general una dirección de crecimiento oblicua. El largo de estas raíces está entre 20 a 40 cm. de longitud y a 5 a 8 cm. de diámetro.

Valeriano (1978), indica que la disposición de las raíces alrededor del tronco es una característica varietal, la forma de la raíz es una característica clonal cuya variación es muy amplia según las condiciones del terreno. El color de la corteza externa varía entre marrón, marrón claro, amarillo y rosado.

Montaldo (1979), menciona que la raíz consta de las siguientes partes:

- La película suberosa, se desprende fácilmente y representa del 1 - 2% de la raíz total.
- La cáscara o corteza, forma del 12 - 20% de la raíz.

- El cilindro central (pulpa o región vascular), consta de 2 clases de elementos: los vasos leñosos y las células parenquimatosas llenas de almidón; forma del 78 - 85% de la raíz; el color de la pulpa varía entre blanco y amarillo.

1. Clasificación taxonómica

Según **Montaldo (1979)**, la clasificación taxonómica de la yuca es la siguiente:

Reino	:	Vegetal
División	:	Phanerograma
Sub-división	:	Angiospermas
Clase	:	Dicotiledonias
Sub-clase	:	Choripétalos
Orden	:	Geraniales
Sub-orden	:	Tricoccae
Familia	:	Euphorbiaceas
Sub-familia	:	Crotonidae
Tribu	:	Manihoteae
Género	:	Manihot
Especie	:	<u>Manihot esculenta</u> Crantz
Sinonimias	:	<u>Manihot utilissima</u> ; <u>Manihot aipi</u> ; <u>Manihot dulcis</u> .

2. Epoca de siembra

En el Perú la siembra de yuca puede realizarse durante todos los meses del año por ser un país tropical. El cultivo de la yuca en la costa es bajo riego y cuenta con mercado asegurado mientras que en la selva es por lluvias y de auto consumo sembrándose en asociación con frijol, maíz y plátano en un 70% y en monocultivo en un 30% (CIAT, 1982).

3. Composición química de la yuca

En el Cuadro 1, se muestra la composición media de yucas dulces de América Central, según Montaldo (1979), donde se observa un alto porcentaje de carbohidratos totales, un bajo porcentaje de grasa y proteínas; en relación al contenido de minerales y vitaminas además de ser muy variables, son pobres, en el contenido de estos componentes.

Cuadro 1: Composición química media de yucas dulces de América Central (100 gr. de muestra, base húmeda).

Componentes	Unidad de Medida	Valores
Humedad	%	65.20
Carbohidratos totales	%	32.80
Proteína	%	1.00
Fibra	%	1.00
Grasa	%	0.40
Ceniza	%	0.60
Calcio	mg.	40.00
Fósforo	mg.	34.00
Fierro	mg.	1.40
Vitamina A	tz.	tz
Tiamina	mg.	0.05
Riboflavina	mg.	0.04
Niacina	mg.	0.60
Vitamina C	mg.	19.00
Valor energético	Cal.	132.00
Porción no comestible	%	32.00

Fuente: Montaldo (1979)

Un informe del **CIAT (1982)**, indica que del 40% al 60% del nitrógeno que existe en las raíces de yuca está como proteína verdadera, 1% como nitratos, nitritos y ácido hidrocianico y del 25% al 30% como compuestos nitrogenados aún no identificados.

B. Generalidades de la harina de yuca

Según **Montaldo (1979)**, para preparar harina de yuca, primero se sumergen las raíces descortezadas en agua, por dos a tres días. Luego se reduce a pequeños fragmentos que se secan al sol sobre esteras, luego, los fragmentos son molidos y tamizados.

Peláez (1988), afirma que las etapas preliminares en la elaboración de harina de yuca, son similares a las de elaboración de chips de yuca. Las raíces frescas son peladas, lavadas y cortadas a lo largo o longitudinalmente en tajadas. Las tajadas son expuestas a los rayos solares para su secado, estas pueden después almacenarse. Cuando se necesite la harina, las tajadas secas son molidas para producir una harina blanca grisácea.

C. Generalidades de la harina de trigo

Cheftel y Cheftel (1980), indican que generalmente se busca obtener una harina que contenga tan solo el endospermo del grano. En realidad por tener el grano de trigo un repliegue, llamado surco, es imposible eliminar las capas externas por simple abrasión. Por esto se opera con sucesivos triturados (llamados molturación), tamizados y cernidos (separación por densidad). En estas condiciones se separaran diversas fracciones correspondientes a los tegumentos y capas de aleurona (fracciones llamadas salvado) o bien el germen o endospermo.

Según Reynoso, citado por Alfaro (1993), la harina es obtenida del trigo a través de un proceso relativamente complicado conocido como molienda del trigo.

El - Dash, Livelra y Mancilla, citados por Alfaro (1993), muestran en el Cuadro 2 que la calidad de la harina de trigo es influenciada por el grado de extracción, a medida que este aumenta, los contenidos de proteínas, lípidos y fibras también aumentan.

Cuadro 2: Relación entre el grado de extracción de la harina de trigo y sus componentes en 100 g de harina.

Grado de Extracción	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Fibra (%)
40	10.3	0.8	74.5	--
72	11.3	1.1	72.0	0.10
80	11.7	1.4	70.2	0.21
85	12.1	1.6	69.8	0.40
100	12.2	2.4	64.1	2.00

Fuente: Alfaro (1993).

D. El proceso de expansión por explosión

1. Fundamentos del proceso

El fundamento de este proceso es la vaporización explosiva del agua en el interior del material alimenticio, combinando convenientemente los efectos de la presión, temperatura y humedad de dicho alimento (Potter, 1973; Matz, 1969; Schweigart et al., 1969).

La expansión por explosión es el proceso por el cual, añadiendo calor a alta presión a la humedad residual que contiene el producto, esta se calienta por encima de su punto de ebullición atmosférico, convirtiéndose en agua sobrecalentada (Heiland et al., 1977). Durante este mismo instante, comienza a ocurrir una "plastización" de dicho producto (Clark, 1986). En estas condiciones cuando repentinamente se produce una caída brusca de la presión, por descarga del producto a la atmósfera, dicha agua residual se transforma inmediatamente en vapor, el cual sale con fuerza, aumentando varias veces el tamaño del producto y confiriéndole a la vez una estructura porosa al mismo (Sullivan et al., 1965).

2. Parámetros más importantes del proceso

Para poder efectuar un buen control del proceso se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

a. Humedad inicial del producto

Es importante por que, determina la cantidad de agua que se va a vaporizar para así inflar el producto. Sullivan et al. (1963), en un estudio con camotes determinó que productos que entraban al cañón con un 30% de humedad, después del proceso salían con un 24% de humedad. Diversos estudios han demostrado que existe un nivel óptimo de humedad, dependiendo de la presión con que se trabaje, así como también de la naturaleza del producto. Por ejemplo, Eisenhardt et al. (1962), en un estudio realizado con trozos de papas de 0.95 x 1.27 x 1.27 cm. encontró que a niveles de presión entre 60 y 30 lb/pulg.² los niveles de humedad están alrededor de 24 a 53% en base húmeda. Por encima del 53% ocurría una desintegración del producto y por debajo del 24% este se carbonizaba.

b. Presión dentro de la cámara

Es la que va a permitir que por efecto del calentamiento, la humedad residual del producto, alcance una temperatura por encima de su punto de ebullición atmosférico. Lo cual, es indispensable, para que se lleve a cabo el proceso de expansión por explosión.

La presión en combinación con la humedad posee incidencia directa sobre la estructura final del producto. Así, **Sullivan et al. (1977)** midió este efecto en trozos de papas; utilizando el coeficiente de rehidratación, el cual mide la capacidad de un producto deshidratado para volver a su estado de humedad original. Este estudio mostró que a 60 lb/pulg.² se obtenía un coeficiente de rehidratación mayor que los que se obtuvieron con niveles mas altos y mas bajos de presión.

c. Temperatura

Es la que va a permitir, en última instancia, el manejo del producto dentro de la cámara, evitándose así que este se queme o se carbonice.

Para un proceso en "batch" como el nuestro la temperatura guarda una relación directa con la presión (proceso a volumen constante). Por ello, controlando la presión del proceso tendremos controlada la temperatura, así se puede hacer uso de las ecuaciones de estado de Beattie Bridgeman para gases imperfectos, **Faires (1980)** con el propósito de estimar su magnitud.

$$P = \frac{RT(1-E)}{V^2}(V+B) - \frac{A}{V^2}$$

Cuyos coeficientes son:

$$E = \frac{c}{VT^3}, \quad A = A_0 \left(1 - \frac{a}{V}\right), \quad B = B_0 \left(1 - \frac{b}{V}\right)$$

donde:

P = Presión

R = Constante universal de los gases (0.082 atm·m³/kmol·K)

T = Temperatura

V = Volumen

A, B, E = Coeficientes viriales

A₀, a, B₀, b, c = Constantes de Beattie-Bridgeman

y para el aire tenemos:

$$A_0 = 0.5904 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^6}{\text{Kmol}} \quad B_0 = 0.04607 \frac{\text{m}^3}{\text{Kmol}}$$

$$a = 0.01929 \frac{\text{m}^3}{\text{Kmol}} \quad b = -0.01099 \frac{\text{m}^3}{\text{Kmol}}$$

$$c = 4.33 \times 10^{-4} \frac{(\text{m} - \text{K})^3}{\text{Kmol}}$$

3. Verduras y frutas expandidas

Cording (1963), reporta que existe un rango óptimo de contenido de humedad y presión para cada verdura y fruta, cuyo rango puede variar ligeramente dependiendo del tamaño de los trozos y del peso de la carga con respecto al volumen del cañón.

El porcentaje de humedad y la presión en el expandido es crítico. Vegetales

expandidos a contenidos de humedad altos se desintegran y ocurre el chamuscado a contenido de humedad baja. El expandido a presiones bajas resultan productos de baja porosidad y a presiones altas causa un secado (Cordling, 1963; Wilson, 1965).

Noguchi (1981), reporta que el costo de la deshidratación por aire caliente es limitado para cada pieza por que el tiempo de secado generalmente crece en proporción al cuadrado del espesor de la pieza. El proceso de explosión a sople supera en parte ese problema porque la porosidad de los alimentos por la explosión a sople facilita el secado final, de igual forma el proceso resulta mas efectivo por el incremento del tamaño de la pieza (Sullivan, 1981).

a. Etapas del proceso de expansión

Cordling (1963) describe un método para moras deshidratadas por explosión-expansión, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1) **Preparación de la materia prima**, consiste en eliminar desperdicios y selección de tamaños. La selección por tamaño fue para asegurar un secado inicial uniforme.

- 2) **Secado preliminar hasta una humedad adecuada para el expandido**, consiste en determinar las condiciones óptimas de humedad basadas en la apariencia final de las moras y del tamaño de la carga. Hay límites prácticos para cargas máximas y mínimas. Un factor limitante del tamaño de la carga, es que haya un libre contacto de todos los trozos con la superficie interna durante la rotación. El límite inferior de la carga está determinada por el agua

determinada por el agua eliminada de los trozos al establecerse la presión de vapor deseada en el cañón, si la carga es muy pequeña, mientras se alcanza la presión determinada hará que el trozo llegue al final con un nivel de humedad demasiado baja, lo cual provoca un chamuscado, o una expansión inadecuada.

- 3) **Expansión por explosión**, según **Wilson (1965)**, los trozos son calentados en una cámara cerrada herméticamente con una tapa de apertura rápida hasta que se alcanza una presión predeterminada por evaporación de una pequeña cantidad de agua. Luego las piezas son instantáneamente descargadas despidiendo los vapores del interior de las piezas y de esa manera crear una estructura porosa.
- 4) **Secado final**, como solo se elimina una pequeña cantidad de agua durante la expansión, el producto debe secarse hasta alcanzar una humedad apropiada para el almacenamiento.

4. Cereales inflados o expandidos

La industria del cereal desde 1904, ha empleado la técnica del expandido por su alto contenido de almidón y baja humedad; considerando el porcentaje de humedad en el rango de 10 - 15% y 200 a 300 lb. de presión (**Wilson, 1965**)

Por otro lado **Potter (1973)** afirma que la mayoría de los cereales para desayuno se hacen a base del endospermo de trigo, maíz, arroz o avena. Según **Del Valle e Hidalgo** mencionado por **Capcha (1977)** y **Matz (1969)** reporta que el maíz se expande mejor cuando el porcentaje de humedad del grano es de 11 a 12%, si la

humedad baja del 11% o supera a 14% la expansión no es satisfactoria. Consideran la presión en el punto final de 100 - 200 lb/pulg.² y una temperatura de 500-600 ° F, demorando el proceso de 5 a 7 minutos. **Schewelgart (1969)** por su parte, encontró que la presión para la expansión del maíz blanco entero fue de 174 Psia con 25% de contenido de humedad.

Clausi (1965) reporta que el contenido de humedad del cereal, inmediatamente después del expandido, es de casi 3 a 7%.

5. Grado de expansión

El grado de expansión del grano es expresado como índice de expansión, el cual es la proporción de la densidad del grano no hinchado a aquel del material hinchado. **Schewelgart (1969)**, encontró una expansión máxima (índice de hinchado de 9.5) para maíz blanco entero con 25% de humedad y una presión de 175 Psia.

Según **Matz (1969)** el cañón de expansión puede causar un efecto físico en un aumento aparente del volumen de 8 a 16 veces en relación al trigo, unas 6 a 8 veces en relación al arroz.

6. Efecto térmico

a. Efecto térmico en la expansión de frutas

Cuando los azúcares son calentados en presencia de ácidos, particularmente ácidos orgánicos, estos producen compuestos del furano. Las hexosas, por ejemplo, producen 5-hidroxi - metil - furfural (5 - HMF); como el principal

derivado del furano. Estos productos se condensan y/o polimerizan con los compuestos nitrogenados para dar lugar a la formación de compuestos resinosos de color marrón que son los principales causantes del oscurecimiento del fruto.

Con relación a las vitaminas, estas son sensibles a los tratamientos térmicos prolongados (Braverman, 1980). Y es pues de esperar que ocurran cambios en los contenidos de ácido ascórbico, riboflavina y niacina (Collazos, 1986).

b. Efecto térmico en expansión de cereales

Schewelgart (1969) y Gonzáles (1977) reportan que los procesos de hinchado y la extrusión son llevados a elevadas temperaturas pero en un corto tiempo, lo cual minimiza la desnaturalización de las proteínas y de algunos nutrientes termolábiles.

Morgan y King mencionados por Harris (1971) afirman lo contrario, que la fabricación de cereales expandidos es muy perjudicial para la calidad de la proteína del cereal.

Por otro lado, se examinaron las fibras de los cereales listos para ser comidos en el desayuno, encontrándose una distribución promedio de los valores, lo cual indica que el 75.3% de las marcas contenían menos del 5% de fibra (Baker; Holden, 1981).

Kent (1987) reporta que durante la elaboración de los productos expandidos se produce una hidrólisis parcial del ácido fítico, aumentando su destrucción a

elevadas presiones, destruyéndose aproximadamente el 70% durante el soplado.

Aproximadamente el 50% de la vitamina B₁, se destruye durante la preparación de trigo desmenuzado y casi el 100% durante el soplado. Este proceso ejerce sin embargo muy poco efecto sobre la riboflavina y la niacina. Siendo favorable para la niacina según **Braverman (1980)** que en los cereales se encuentran un alcaloide de trigonelina que por acción del calor durante el tostado se convierte en ácido nicotínico por ser el precursor de la niacina.

Kent (1987) y **Harris (1971)** reportan que los cereales son deficientes en lisina, pero esto es más notorio en productos expandidos, debido a las transformaciones que tienen lugar en las proteínas a una temperatura elevada del tratamiento. Demostrando **Peters et al.**, mencionado por **Harris (1971)** que el tratamiento del calor mas severo tal como tostado y explosión de cañón causó una destrucción apreciable de lisina en avenas expandidas y conduce a un serio deterioro en la calidad nutritiva de la proteína.

Cuando el cereal es severamente calentado se produce la reacción entre la proteína con los azúcares reductores, no solo la proteína se torna mas refractaria a la digestión enzimática, sino también las pérdidas significativas en lisina son notadas.

En la reacción de Maillard se ve la formación de polímeros nitrogenados conocidos como melanoidinos. Si la cocción se realiza con una mínima cantidad de agua e incluso en ausencia de ello pero a una temperatura mas elevada lo

que podríamos llamar una tostación puede producirse una dextrinización parcial del almidón (Kent, 1987).

Una vez que se identificó la disminución de vitaminas y minerales y de otros nutrientes que sufrían los granos durante el tostado caliente y se hubo comprendido su importancia nutritiva se adoptó una práctica de restitución de ciertos nutrientes, incorporando ya sea en la etapa de cocción, después del procesamiento o también en el recubrimiento del azúcar, de esa manera alcanzar los niveles existentes en el grano entero (Desrosier, 1983).

El tratamiento del calor aplicado a los cereales para desayuno tienen al menos dos principales procesos unificantes, uno de estos es la creación de una textura frágil secando el producto cocido con su contenido de almidón gelatinizado hasta una humedad baja y el otro es el cambio del aroma el cual resulta de la dextrinización, gelatinización y caramelización de los almidones de los cereales y sus productos de degradación (Matz, 1969).

Desrosier (1966), reporta que el secado es un método de control sobre los microorganismos mediante la restricción de la humedad para el crecimiento. La cantidad de humedad en el alimento establece cuáles microorganismos tendrán oportunidad de crecer. Los mohos pueden crecer en los substratos alimenticios con una humedad tan baja como 12%, las bacterias y las levaduras requieren de niveles de humedad mas altos, generalmente sobre el 30%.

7. Descripción del equipo de expansión por explosión

Schewelgart (1969), reporta que el aparato fue diseñado para soportar presiones internas de varios cientos de lb/pulg². Atendiendo a su forma de operación se le puede clasificar en dos tipos:

a. Equipo de expansión en "batch"

Es el mas difundido en nuestro medio, dada su sencillez de operación y economía. Requiere una alta inversión de mano de obra, puesto que se trabaja por cargas.

Este equipo consta, de una cámara hermética en forma esférica (Figura 1), o cilíndrica (Figura 2); usa como medio de calentamiento exterior un quemador de Kerosene o quemadores de gas y hasta un sistema de vapor sobrecalentado, como en la Figura 3.

Para comenzar a trabajar, es necesario calentar la coraza hasta 171.12 - 176.68 °C ó (340° a 350°F) (Sullivan, 1965), luego se introduce el producto, a razón de 0.16 gramos de carga por centímetro cúbico de volumen dentro de la cámara (10 lb/pie³). Se cierra la tapa, y se sigue calentando de 5 a 8 minutos, hasta alcanzar la presión requerida, momento en el cual, se suelta el seguro de la tapa, para que el producto salga expelido (Sullivan, 1977).

La desventaja de este equipo, radica en su baja capacidad productiva, y por otro lado, las condiciones internas van variando con el tiempo y son bastante difíciles de reproducir de batch a batch (Clark, 1986).

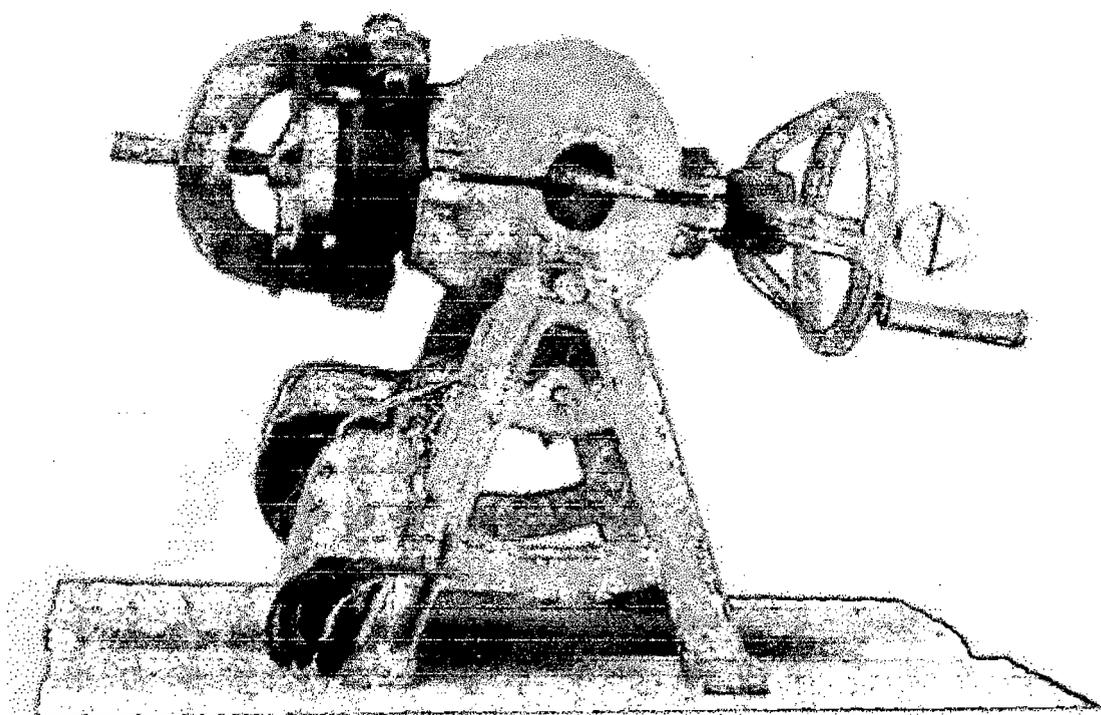


Figura 1. Cañón Esponjador Tipo Batch de forma esférica

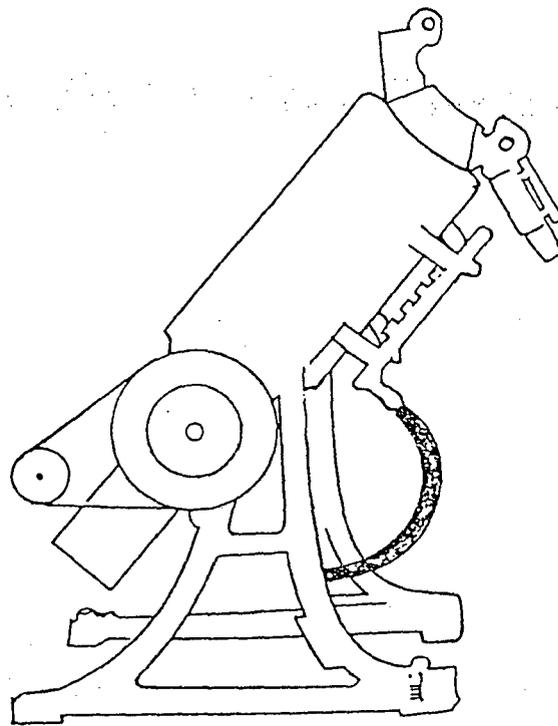


Figura 2. Esquema de un cañón esponjador tipo batch de forma cilíndrica (Fuente: Seminario, 1990).

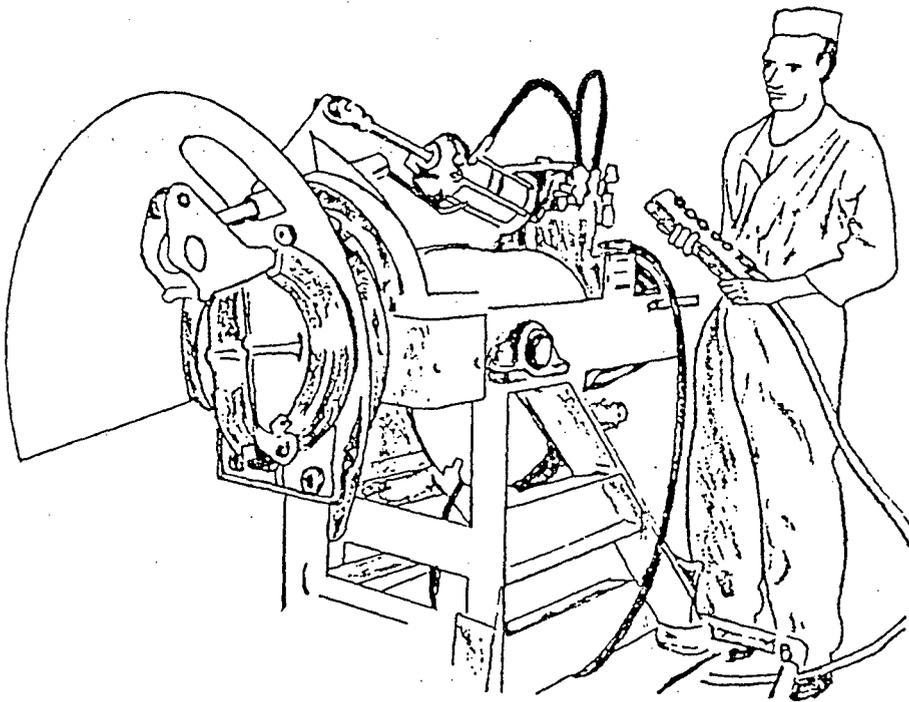


Figura 3. Esquema de un cañón esponjador tipo batch, mejorado con sistemas de vapor sobrecalentado (Fuente: Seminario, 1990).

b. Sistema continuo de expansión por explosión

En este equipo, se ha conseguido separar el calentamiento y la expansión, como dos funciones independientes, lo cual, es prácticamente imposible en los equipos en "batch".

Este sistema, está provisto de conexiones de calentamiento, con vapor sobrecalentado suministrado por un caldero; controles de presurización, para regular la presión en el interior de la cámara, independientemente de la temperatura; y equipos neumáticos, para carga, descarga y movimiento de los mecanismos internos, tales como válvulas, faja transportadora, etc. (Figura 4).

Posee tres subcompartimientos, que a grandes rasgos, realizan las funciones básicas de alimentación entre las válvulas 1 y 2; calentamiento - presurización, entre las válvulas 2 y 3; y la cámara de descarga entre la válvula 3 el pistón de descarga.

La capacidad alcanzada en este equipo, es de hasta 454.6 kg/h (1000 lb/h); para productos que ingresan con una humedad del 25% (Helland et al, 1977).

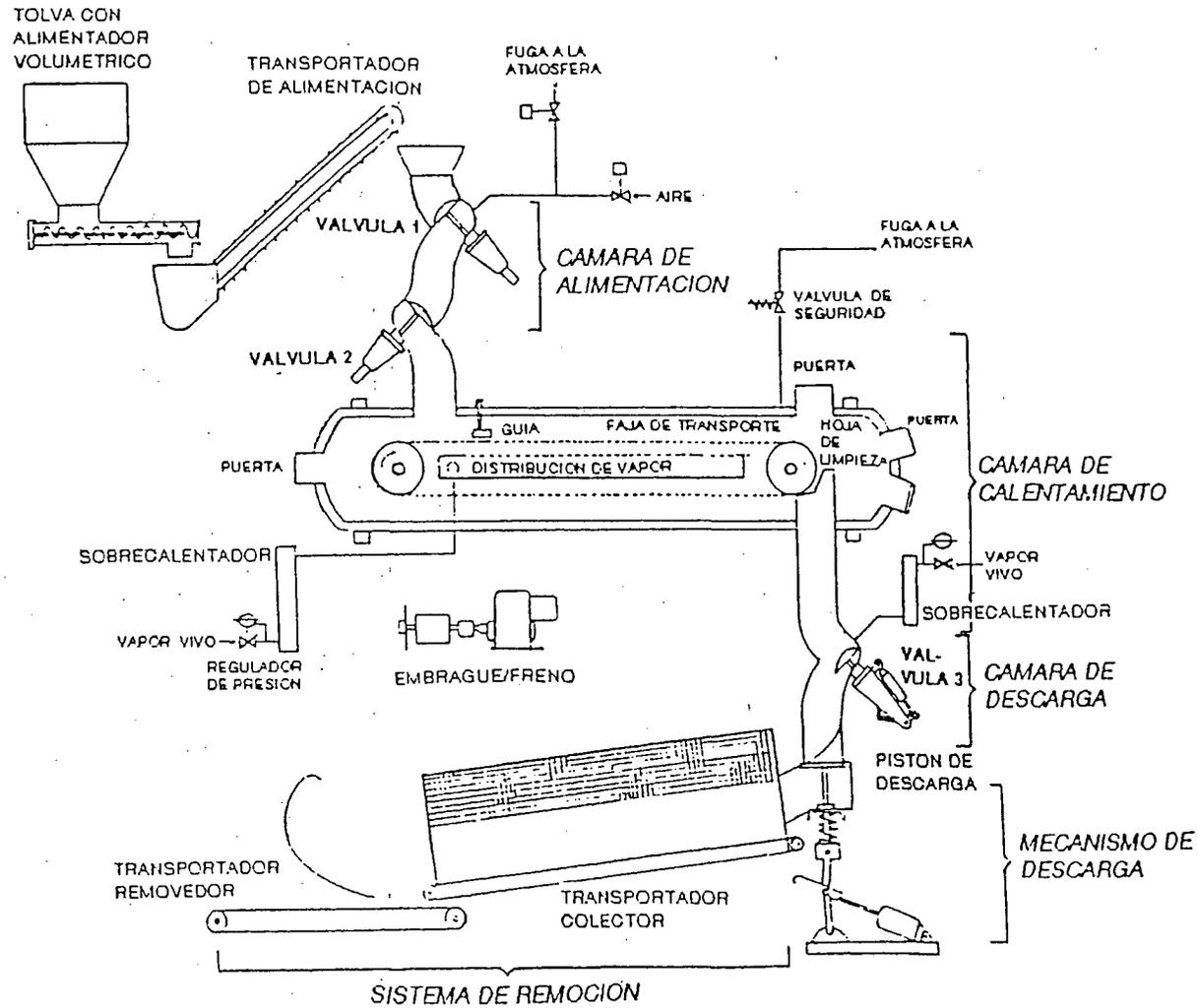


Figura 4. Esquema del equipo continuo de expansión por explosión (Fuente: Seminario,

1990).

E. Alimentos extruidos

El sistema de expansión por explosión, fue utilizado hace muchos años atrás para expandir alimentos; al transcurrir los años, fue mejorado para dar lugar en la actualidad a la extrusión de alimentos.

Fellows (1994), menciona que la extrusión es un proceso que combina diversas operaciones unitarias, como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeo. Un extruidor está constituido, en esencia, por una bomba de tornillo, en la que el alimento es comprimido y trabajado hasta la obtención de una masa semisólida que es impulsada a través de un pequeño orificio. Si durante la operación el alimento es sometido a tratamiento térmico, al proceso se le denomina extrusión por cocción (o extrusión en caliente).

El objetivo principal de la extrusión, consiste en ampliar las variedades de alimentos expandidos que componen la dieta, elaborando a partir e ingredientes básicos, alimentos de distinta forma, textura, color y bouquet. La extrusión con cocción es un tratamiento térmico a elevada temperatura durante corto tiempo, que reduce la contaminación microbiana e inactiva las enzimas. Sin embargo, los alimentos extruidos en caliente como en frío, se conservan principalmente por su baja actividad de agua.

III. MATERIALES Y METODOS

A. Lugar y fecha de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la tostadora "Los Angeles", ubicado en la localidad de Cayhuaina, en el Km. 2.0 de la carretera central Huánuco - Lima y en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, teniendo como apoyo los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Química
- Laboratorio de Análisis Sensorial
- Laboratorio de Microbiología
- Laboratorio de Análisis de Alimentos

Los reconocimientos previos al estudio y el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó durante los meses de Agosto de 1998 a Febrero de 1999.

B. Materia prima e insumos

1. Materia prima

Para los experimentos preliminares y la elaboración del producto expandido, se utilizó como materia prima, harina de trigo especial marca "Cogorno" y harina de yuca blanca (Manihot esculenta C); los cuales fueron acopiados en los mercados de abastos de Huánuco y Tingo María respectivamente.

2. Insumos

- Agua potable
- Azúcar
- Recubrimiento de chocolate tipo Bitter Especial marca Negusa (Perú)

C. Equipos, materiales y reactivos

1. Equipos de procesamiento

- Cañón esponjador, marca Elefante.
- Soplete a kerosene.
- Tamiz de 0.5 cm. de abertura de malla.
- Balanza comercial marca Ohaus.
- Selladora de plásticos.
- Rodillos de madera.
- Moldes de acero inoxidable.

2. Equipos de laboratorio

- Estufa bacteriológica con termostato para temperatura regulable de 0 a 300° C, marca Lab - Line. Instruments Inc. Melrose Park 111.
- Balanza electrónica, marca Sartorius, sensibilidad 0.0001 g EE.UU.
- Balanza electrónica, marca Sartorius, sensibilidad 0.1 g EE.UU.
- Equipo extractor Soxhlet.
- Equipo de reflujo para determinación de fibra.
- Equipos de filtración al vacío.
- Plato de calentamiento con agitador.
- Potenciómetro, rango de pH 0 - 14, marca Schott, modelo CG 840.

- Mufia Esztergom con termostato para temperatura regulable de 0 a 1200° C.
- Cocina digestora semi micro Kjeldahl.
- Equipo de destilación & recolección semi micro Kjeldahl.
- Microcomputador PCS.
- Impresora Epson LQ - 570 +
- Farinógrafo EZSTERGON, Modelo QA-203, Hungría.

3. Materiales de laboratorio y proceso

- Balones de vidrio, cap. 100, 500 y 1000 ml.
- Buretas, fioles, pipetas, goteros, placas Petri, luna de reloj.
- Vasos de precipitados, Cap. 50, 100, 250, 500 y 1000 ml.
- Campanas de desecación.
- Pesafiltros.
- Probetas, cap. 50, 100 y 500 ml.
- Juegos de tamices.
- Papel filtro wattman N° 42 y papel de filtración rápida.
- Cápsula magnética.
- Crisoles de porcelana.
- Balones de digestión de proteína.
- Pinzas metálicas.
- Pizetas.
- Empaques flexibles de polipropileno, cuyos datos técnicos son los siguientes:
Densidad (g/cm^3) = 0.9
Permeabilidad al vapor de agua ($\text{g/m}^2\text{-24 h a } 25^\circ\text{C y } 95\% \text{ HR}$) = 1.798
Espesor del film = 51.56 μ
- Combustible (kerosene)

4. Reactivos y soluciones

- Acido bórico al 4%
- Indicador: rojo de metilo + Azul de metileno
- Indicador de fenolftaleína al 1%
- Hidróxido de sodio al 1.25%, 0.1 N y 0.02 N
- Acido clorhídrico 0.02 N
- Hexano
- Acido sulfúrico al 98% y 1.25%
- Alcohol etílico al 96 GL
- Solución ácido acético - cloroformo (3 + 2 v/v)
- Solución saturada de yoduro potásico
- Tiosulfato de Sodio 0.1 N y 0.01 N
- Solución indicadora de almidón al 1%

D. Métodos de análisis

1. En las materias primas

Los siguientes análisis se realizaron tanto para la harina de yuca como para la harina de trigo en forma independiente.

a. Análisis químico proximal

El contenido de humedad, cenizas totales y grasa bruta se determinaron siguiendo los métodos citados por la **A.O.A.C. (1997)**; humedad, método 930.04; cenizas totales, método 930.05; grasa, método 930.09. El análisis de proteína bruta se realizó según la **A.O.A.C. (1975)**: método 930.07; el análisis de fibra bruta se determinó según **LEES (1982)**, método F-3; y el contenido de carbohidratos totales por diferencia descrito por **PEARSON (1986)**.

b. pH

Se determinó siguiendo el método potenciométrico 2-9 y 4-9, citados por **Hart y Fisher (1991)**.

c. Acidez total

Se determinó empleando el método volumétrico 11 - 19 citados por **Hart y Fisher (1991)**.

d. Análisis de granulometría

Se realizó utilizando el método Buhler, indicado por **Alfaro (1993)**.

2. En los productos expandidos experimentales**a. Volumen expansión**

Se determinó por el método de deslizamiento de semillas de quínoa en una probeta de escala graduada de 1000 cm³, según lo indicado por **Reynoso**, citado por **Alfaro (1993)**.

b. Índice de expansión

Se siguió la metodología de **Del Valle e Hidalgo** mencionado por **Capcha Caballero (1977)**, Donde se midieron la relación de los volúmenes que ocupan los "gritz" sin esponjar y el volumen que ocupan los mismos, luego del esponjado.

3. En el producto terminado

a. Caracterización de la harina mixta con la que se elaboró el producto expandido

1) Análisis químico proximal. Se realizó según lo citado para la materia prima.

2) pH. Se realizó según lo indicado para la materia prima.

3) Acidez Total. Se realizó según lo indicado para la materia prima.

4) Análisis de farinografía. Se realizó según el método F1 citado por Lees (1982)

5) Análisis de granulometría. Se realizó según lo indicado para la materia prima.

b. Caracterización del producto expandido

1) Análisis químico proximal. Se realizó según lo citado para la materia prima.

2) Determinación del volumen aparente. Se determinó por el método de deslizamiento de semillas de quínoa en una probeta de escala graduada de 500 cm³, según lo indicado por Reynoso, citado por Alfaro (1993).

- 3) **Determinación de la densidad aparente.** Se determinó por el método indicado por Reynoso, citado por Alfaro (1993).
- 4) **Determinación de la Isoterma de adsorción.** Se realizó según el método indicado por Labuza (1985), descrito en el Anexo N.
- 5) **Determinación de peróxidos.** Se determinó para evaluar la variación del peróxido en la cobertura del chocolate, durante el almacenamiento del producto expandido, según el método descrito por Mehlenbacher (1970).
- 6) **Índice de expansión.** Se realizó según lo indicado para los productos expandidos experimentales.
- 7) **Prueba de preferencia.** La prueba de preferencia se realizó mediante un análisis organoléptico, utilizando 18 panelistas semientrenados para determinar la aceptación del producto expandido elaborado ante el consumidor, frente a otros productos expandidos por explosión que se expenden en nuestro medio; según lo descrito por Mackey (1984) y Mori (1985)
- 8) **Determinación de la permeabilidad del empaque utilizado (polipropileno).** Se realizó siguiendo el Método ASTM (Guía de Práctica, 1992).
- 9) **Predicción de la vida útil.** Se realizó mediante un software de predicción de la vida útil, siguiendo la metodología descrita por Espinoza (1995); cuyas características se describe en el Anexo O

E. Metodología del estudio

1. En las materias primas

Se procedió a caracterizar las harinas de trigo y de yuca, las cuales fueron utilizadas como materia prima, según lo indicado en el ítem D de Métodos de análisis.

2. En los productos expandidos experimentales

En la Figura 5, se muestra el flujograma de operaciones del procesamiento de las materias primas para la obtención de los productos expandidos experimentales; para luego evaluar el volumen de expansión e índice de expansión, siguiendo la metodología descrita en el ítem D de Métodos de análisis.

a. Materia prima

Como materia prima se utilizó harina de trigo y harina de yuca, que fueron adquiridos en los mercados de abastos de las ciudades de Huánuco y Tingo María respectivamente.

b. Mezclado

En esta operación se procedió a mezclar homogéneamente las harina de trigo y yuca a diferentes niveles, como se muestra a continuación:

100% de harina de trigo (testigo).

10% de harina de yuca con 90 % de harina de trigo.

20% de harina de yuca con 80 % de harina de trigo.

30% de harina de yuca con 70 % de harina de trigo.

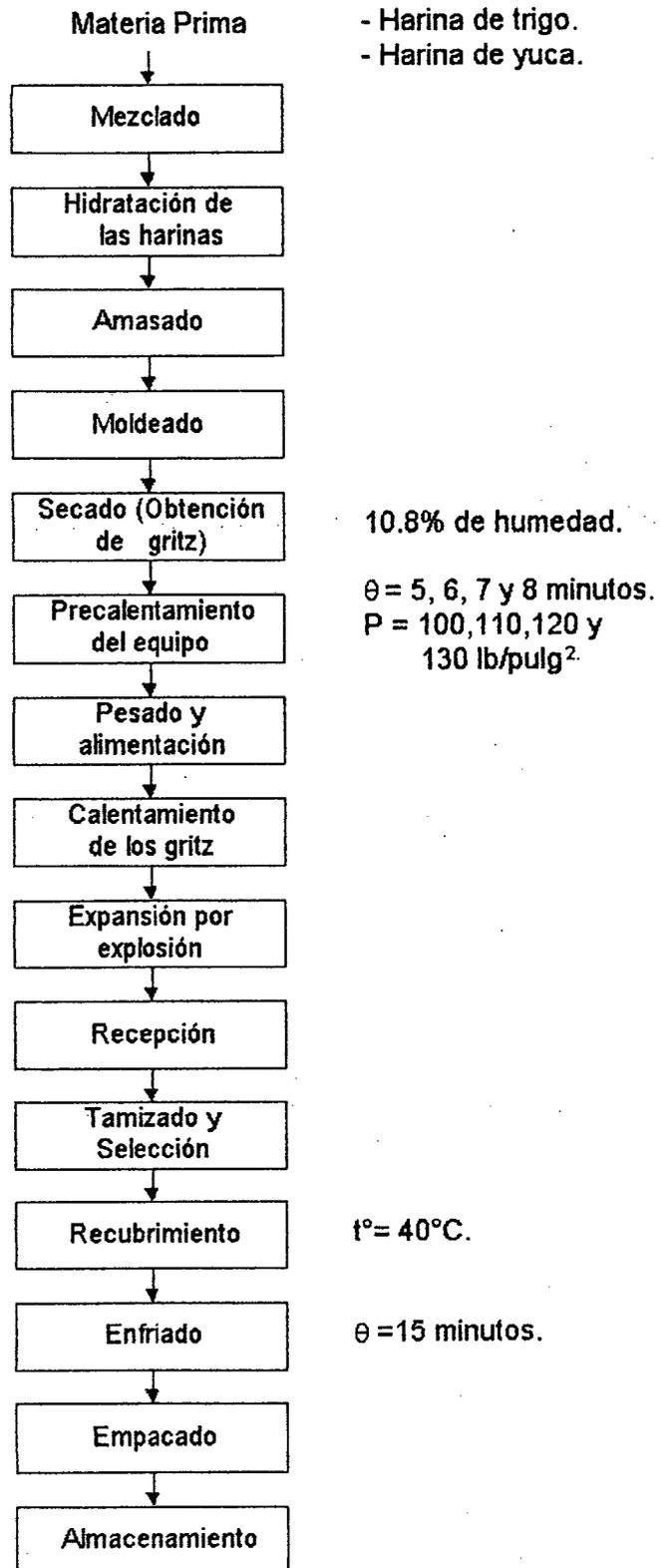


Figura 5. Diagrama experimental para la elaboración de un producto expandido

c. Hidratación de las harinas

En esta operación se añadió la cantidad de agua conteniendo azúcar disuelto, que sea necesario para hidratar las harinas mezcladas.

d. Amasado

Mezclados e hidratados los componentes se procedió a realizar un amasado manual hasta obtener una masa compacta y homogénea.

e. Moldeado

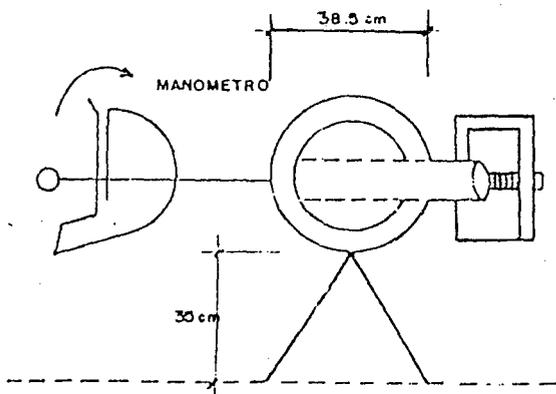
La masa fue moldeada y acondicionada manualmente con ayuda de un molde de acero inoxidable en forma de cubitos de aproximadamente 1 cm. de lado y 0.5 cm. de espesor.

f. Secado

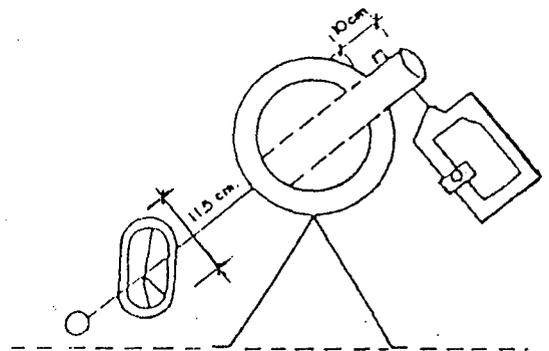
Los cubitos de masa obtenidos (gritz) fueron sometidos a un secado a temperatura del medio ambiente por un espacio de 72 horas, hasta que alcancen una humedad de 10.8%.

g. Pre calentamiento del equipo

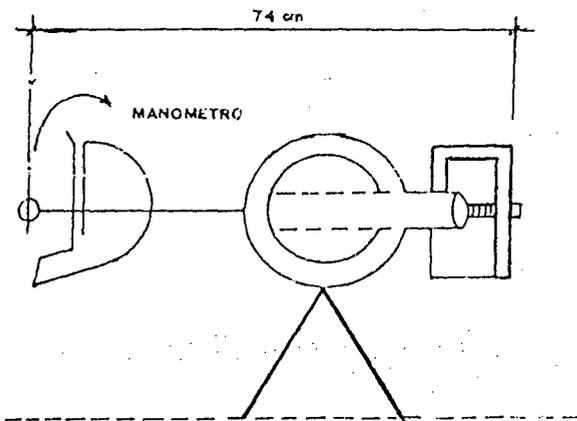
El equipo fue calentado previamente a la alimentación, mediante un soplete a kerosene durante 20 minutos. El bosquejo de la Figura 6, representa el diseño del cañón esponjador fabricado con fierro fundido y como único dispositivo tiene una conexión a una rueda de giro que al ser manipulado permite el calentamiento homogéneo de la máquina. La máquina tiene un orificio que permite la entrada directa del fuego a la cámara del cañón, en cuyo interior son colocados los gritz elaborados.



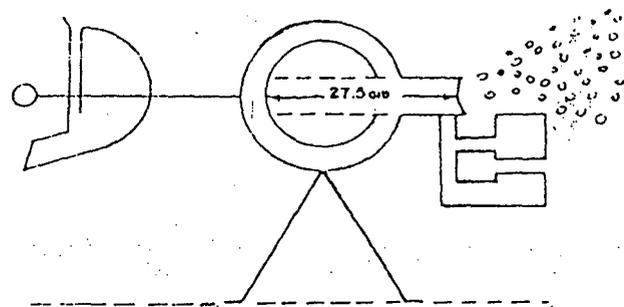
A... Calentamiento



B... Alimentacion



C... Trabajo



D... Descarga

Figura 6. Esquema del trabajo del cañón esponjador (Fuente: Seminario, 1990).

Las etapas de trabajo son:

- 1) **Calentamiento.** La máquina tiene que estar cerrada previamente, luego se procederá al calentamiento, durante 20 minutos según las especificaciones técnicas del equipo.
- 2) **Alimentación.** Ayudado mediante un embudo metálico se procede a depositar los gritz por la boca del cañón, para luego cerrar herméticamente.
- 3) **Trabajo.** Una vez que ha sido alimentada la máquina, los gritz se calientan, este calentamiento hace que la humedad de los gritz se convierta en vapor y se escape con fuerza suficiente para hacerlos explotar.
- 4) **Descarga.** Cuando las condiciones de trabajo son las adecuadas, tales como calentamiento de los gritz y la presión alcance el nivel necesario, repentinamente se abre el cañón lográndose con el cambio brusco de presión que los gritz se esponjen.

h. Pesado y alimentación

Por la capacidad de la máquina y por la cantidad adecuada de trabajo, se adicionó 500 g de materia prima (gritz) por cada batch de trabajo; alimentando con un embudo metálico para luego cerrar herméticamente el cañón esponjador.

i. Calentamiento de los gritz

Se calientan mediante el soplete a kerosene una vez colocados los gritz en el cañón esponjador, continuándose con el giro de la cámara del cañón hasta que

se alcancen la presión manométrica de 100, 110, 120 y 130 lb/pulg² con un tiempo de tránsito de 5, 6, 7 y 8 minutos respectivamente.

J. Expansión por explosión

El fenómeno de expansión es un proceso de caída de presión, el cual involucra una repentina transferencia de masa de vapor sobrecalentado dentro de un espacio a baja presión.

k. Recepción

La recepción se realizó mediante una malla con la finalidad de amortiguar su caída, evitando su deterioro y contaminación.

l. Tamizado y selección

Se realizó con la ayuda del tamiz de 0.5 cm. de abertura de malla con la finalidad de eliminar las partículas pequeñas que se producen por desmoronamiento de algunos griz.

m. Recubrimiento

Después de obtener el producto expandido, se recubrió con chocolate a una temperatura de 40 °C, con la finalidad de mejorar el sabor y olor.

n. Enfriado

El producto expandido cubierto con chocolate, fue sometido a un leve enfriado por un espacio de 15 minutos a la temperatura del medio ambiente.

o. Empacado

El producto final fue envasado en empaques flexibles de polipropileno.

p. Almacenamiento

El producto después de haber sido envasado, fue almacenado en la ciudad de Tingo María a temperatura ambiente, durante 45 días.

3. En el producto terminado

Después de realizar las pruebas experimentales y determinar los parámetros adecuados para elaborar un producto expandido, sustituyendo la harina de trigo por harina de yuca, se procedió a realizar lo siguiente:

- a. Caracterizar la harina mixta con la que se elaboró el producto terminado
- b. caracterizar el producto terminado.

En ambos casos se procedió como lo indicado en el ítem D de Métodos de análisis.

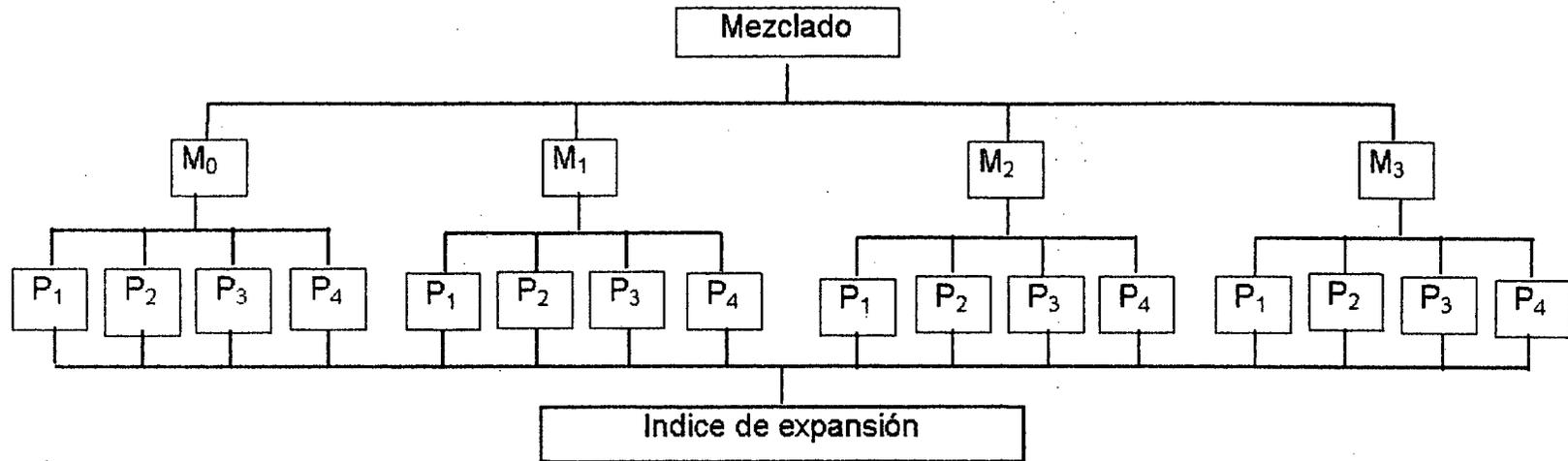
4. Prueba complementaria

Debido a que la harina de trigo utilizada como materia prima en la elaboración de los productos expandidos experimentales, según los análisis realizados, era una harina con mucho tiempo de almacenamiento; se procedió a realizar la presente prueba complementaria donde se evaluaron los índices de expansión del testigo M_0 (100% harina de trigo) y de las sustituciones M_1 , M_2 y M_3 (sustituciones de harina de trigo por 10, 20 y 30% de harina de yuca, respectivamente), utilizando una presión de 130 lb/pulg² (P_4), por producir esta presión un mayor índice de expansión (Presión de trabajo óptima). Para este fin se utilizó específicamente una harina de trigo en buen estado (fresca).

F. Diseño experimental

1. Del nivel de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y la presión interna del cañón esponjador

El diseño experimental del nivel de sustitución de la harina de trigo por la de yuca, y de la presión interna que debe tener el cañón esponjador, para producir la expansión adecuada del producto se realizó en forma simultánea, debido a que están estrechamente ligados, como se muestra en la Figura 7. Se llevaron a cabo ensayos con 4 valores de las 2 variables en estudio.



Donde:

M_0 = 100% de harina de trigo (testigo).

M_1 = 10% de harina de yuca y 90% de harina de trigo.

M_2 = 20% de harina de yuca y 80% de harina de trigo.

M_3 = 30% de harina de yuca y 70% de harina de trigo.

P_1 = 100 lb/pulg².

P_2 = 110 lb/pulg².

P_3 = 120 lb/pulg².

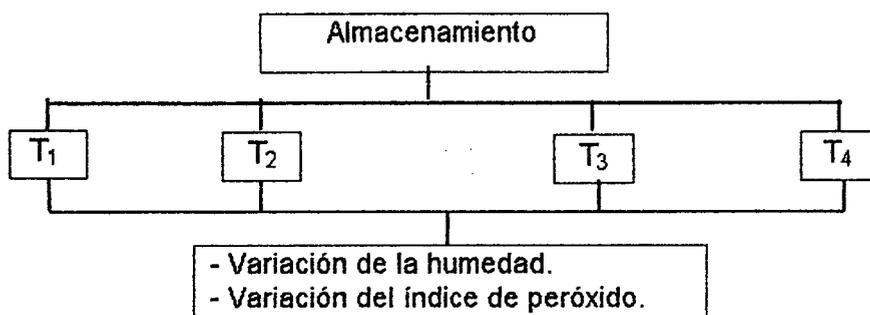
P_4 = 130 lb/pulg².

Figura 7. Diseño experimental para el estudio del nivel de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y la presión interna del cañón esponjador.

2. Del almacenamiento

El producto expandido elaborado, fue envasado en empaques flexibles de polipropileno; para luego realizar un estudio de almacenamiento a temperatura de medio ambiente, considerándose dos humedades relativas distintas, es decir un bloque se almacenó a temperatura ambiente y bajo una humedad relativa ambiental y el otro bloque se almacenó a temperatura ambiente y una humedad relativa elevada (saturado con vapor de agua). Las evaluaciones se realizaron cada 15 días, por un espacio de 45 días; donde se evaluó las variaciones de humedad en el producto expandido y la variación de peróxido en la cubierta de chocolate.

El diseño experimental usado para el almacenamiento del producto elaborado, tanto para el bloque almacenado bajo la humedad relativa ambiental y la humedad relativa elevada (saturado con vapor de agua), se muestra en la Figura 8.



Donde:

T_1 = Tiempo de almacenamiento 1 = 0 días.

T_2 = Tiempo de almacenamiento 2 = 15 días.

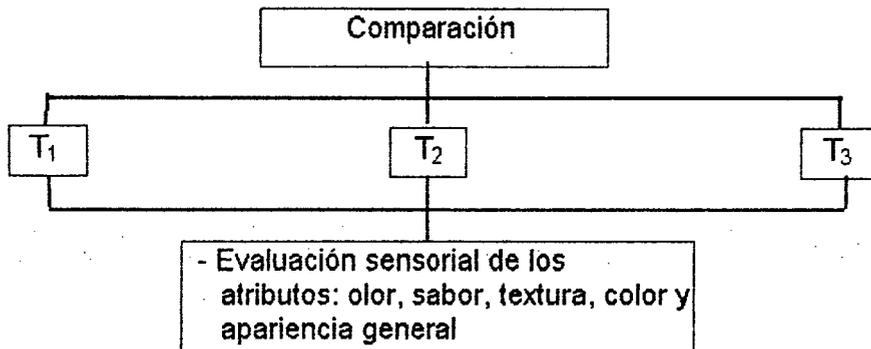
T_3 = Tiempo de almacenamiento 3 = 30 días.

T_4 = Tiempo de almacenamiento 4 = 45 días.

Figura 8. Diseño experimental para el estudio del almacenamiento del producto expandido

3. De la prueba de preferencia

El producto expandido elaborado, fue comparado organolépticamente con otros dos productos expandidos, elaborados bajo este mismo sistema, como se muestra en la Figura 9.



Donde:

T₁ = Maíz expandido

T₂ = Fideos expandidos

T₃ = Producto expandido elaborado

Figura 9. Diseño experimental para determinar la preferencia del producto expandido

G. Análisis estadístico

1. Del nivel de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y la presión interna del cañón esponjador

Se realizará utilizando el diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4a x 4b (Steel, 1988) donde se evaluará el volumen aparente de expansión de los productos elaborados, considerando dos repeticiones por tratamiento, cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + A_i + B_j + (A \times B)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Resultado de la evaluación.

U = Promedio general de la evaluaciones.

$A_i = M_i$ = Efecto del i-ésimo nivel de sustitución.

$B_j = P_j$ = Efecto de la j-ésima presión interna.

$(A \times B)_{ij} = (M \times P)_{ij}$ = Efecto de la interacción AxB.

E_{ij} = Error experimental.

Los niveles son:

i = 1,2,3,4.

j = 1,2,3,4.

2. Del almacenamiento

En el diseño estadístico del almacenamiento se utilizará el diseño completamente al azar (Steel, 1988), utilizando como apoyo las variaciones de los análisis de humedad, índice de peróxido y microbiológico considerando tres repeticiones por tratamiento, cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_i = U + A_i + E_i$$

Donde:

Y_i = Resultado de la evaluación

U = Promedio general de la evaluaciones

$A_i = H_i$ = Efecto del i -ésimo tiempo de almacenamiento

E_i = Error experimental

Los niveles son:

$i = 1,2,3,4.$ (tiempos de almacenamiento)

3. De la prueba de preferencia

En el análisis estadístico de la prueba de preferencia se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (Steel, 1988), utilizando como apoyo una prueba organoléptica con 18 panelistas semientrenados, donde se analizaron los atributos de olor, sabor, color, textura y apariencia general; cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + A_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Resultado de la evaluación.

U = Promedio general de la evaluaciones.

A_i = Efecto del i -ésimo producto expandido.

B_j = Efecto del j -ésimo panelista.

E_{ij} = Error experimental.

Los niveles son:

$i = 1,2,3$ (Producto expandido)

$j = 1,2,3,\dots,18$ (Panelistas)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Caracterización de las materias primas

1. Análisis químico de la harina de trigo

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis químico realizada en la harina de trigo utilizada.

Cuadro 3. Análisis químico de la harina de trigo.

Componentes	Cantidad
Humedad (%)	10.54
Proteína (%)	10.67
Grasa (%)	1.70
Fibra (%)	1.80
Ceniza (%)	0.55
Carbohidratos (%)	72.74
pH	5.90
Acidez titulable	0.18

Los resultados del Cuadro 3, se aproximan a los obtenidos por **Collazos (1986)**, en lo referente al porcentaje de humedad, proteína, grasa, fibra y carbohidratos; asimismo cabe señalar que el contenido de humedad y proteína se encuentra por debajo del promedio mencionado por otros autores; en lo referente al contenido de cenizas se encuentra dentro del rango mencionado por el **ICABB (1993)**.

Asimismo en el Cuadro 3 se puede apreciar que la acidez titulable de la harina de trigo es de 0.18%, lo cual está por encima del límite establecido por **ITINTEC (1976)** para harinas frescas (0.15%), lo cual nos indica que la harina de trigo analizada es una harina guardada.

Leandro (1981), mencionado por **Peláez (1988)**, refiriéndose a las harinas frescas indica que el pH de estas oscila entre 6.0 y 6.2; al envejecer las harinas, el pH baja. De acuerdo a los resultados del Cuadro 3 la harina de trigo, presenta un pH de 5.9 por lo que según lo mencionado anteriormente, es otro indicador de que la harina de trigo utilizada tiene mucho tiempo de almacenamiento.

2. Análisis químico de la harina de yuca blanca

En el Cuadro 4 se presentan los resultados del análisis químico realizada en la harina de yuca blanca utilizada.

Los resultados del Cuadro 4, se aproximan a los obtenidos por el **Collazos (1986)**, en lo referente al porcentaje de grasa, fibra, cenizas y carbohidratos, en cambio el porcentaje de humedad es bajo comparado con el obtenido por el instituto antes mencionado y por otros autores, por otro lado el porcentaje de proteínas es superior a lo citado por la bibliografía consultada (1.77%), esto es debido a la baja humedad que presenta la harina de yuca utilizada. En cuanto al análisis de pH y acidez titulable se encuentran dentro del rango establecido; lo cual nos indica que la harina de yuca utilizada es una harina fresca.

Cuadro 4. Análisis químico de la harina de yuca

Componentes	Cantidad
Humedad (%)	11.79
Proteína (%)	2.56
Grasa (%)	0.66
Fibra (%)	2.00
Ceniza (%)	2.65
Carbohidratos (%)	80.79
pH	6.12
Acidez titulable	0.14

3. Análisis de granulometría de las harinas de trigo y yuca

La determinación del módulo de finura e índice de uniformidad para las harinas de Trigo y Yuca, se presenta en el Cuadro 5.

El módulo de finura es importante porque indica el grado de molienda practicado. Zecevích (1984), indica que el ITINTEC establece la calificación de las harinas bajo tres categorías:

- 0 a 2 (fino).
- 2 a 4 (media).
- mas de 4 (grueso).

De acuerdo a lo enunciado y a los resultados del Cuadro 5, ambas harinas utilizadas en lo referente al grado de molienda, se encuentran dentro de la

categoría media, siendo la harina de yuca ligeramente mas fina que la harina de trigo, por tener un menor módulo de finura.

El índice de uniformidad indica la distribución de los gránulos de la harina de acuerdo al tamaño; Farral, mencionado por Zeceovich (1984), indica que la harina retenida en los dos tamices superiores, es considerada gruesa; la retenida en los dos tamices intermedios, es denominada media; la retenida en los dos últimos tamices y en el recipiente, es considerada fina.

De acuerdo a lo enunciado, los resultados del Cuadro 5, indica que la harina de yuca presenta un mayor porcentaje de gránulos finos comparados con la harina de trigo.

Cuadro 5. Módulo de finura e índice de uniformidad de las harinas de trigo y yuca.

Tamiz N°	Abertura de Malla (mm)	Material Retenido (%)		Factor	Valor de Finura	
		H. de Trigo	H. de Yuca		H. de Trigo	H. de Yuca
32	0.487	0.00	0.00	6	0.00	0.00
45	0.421	0.00	3.50	5	0.00	17.50
60	0.302	0.04	4.10	4	0.16	16.40
6xx	0.240	42.35	15.24	3	127.05	45.72
10xx	0.178	53.25	73.00	2	106.50	146.00
15xx	0.100	3.20	3.10	1	3.20	3.10
Plato	0.075	1.16	1.06	0	0.00	0.00
Total:		100.00	100.00		236.91	228.72
Módulo de Finura:					2.37	2.29

Módulo de finura : total del valor de finura/100.

Índice de uniformidad : - harina de trigo 0:4:6.

- harina de yuca 0:2:8.

B. Evaluación de los productos expandidos experimentales

El objetivo de esta prueba fue determinar el efecto de la variación de la presión y la sustitución de harinas sobre el producto expandido.

En el Cuadro 6, se muestran los resultados sobre el volumen aparente de expansión en 600 cc. De materia prima (en forma de griz), con sus respectivos promedios, cuya representación gráfica se puede apreciar en la Figura 9; en dicha figura se observa que el producto expandido elaborado con los griz de la harina de trigo, identificado como M_0 (testigo), al ser sometido a la presión de 100 lb/pulg², se obtiene un volumen aparente de 1125 cm³ de dicho producto, lo cual se incrementa gradualmente hasta 1562.5 cm³, conforme se incrementa la presión interna del cañón esponjador a 130 lb/pulg².

Asimismo, los productos expandidos elaborados con los griz de la sustitución M_1 (90% harina de trigo y 10% harina de yuca), alcanzaron valores de 1225.5, 1300, 1382.5 y 1557.5 cm³ a las presiones de 100, 110, 120 y 130 lb/pulg² respectivamente. De la misma manera sucede con los productos expandidos elaborados con los griz de la sustitución de harinas M_2 (80% harina de trigo y 20% harina de yuca), correspondiéndoles valores de 1217.5, 1300, 1372.5 y 1562.5 cm³ a las cuales se les aplicó presiones de 100, 110, 120 y 130 lb/pulg², respectivamente.

En cambio las muestras elaboradas con la sustitución de harinas M_3 (70% harina de trigo, 30% harina de yuca), al ser sometido a la presión de 100 lb/pulg², se obtiene un volumen aparente de 992.5 cm³, la cual se incrementa a 1005 cm³ al aumentar la presión a 110 lb/pulg², para luego el volumen de expansión comenzar a decrecer a 977.5, 970 cm³ al incrementarse la presión a 120 y 130 lb/pulg² respectivamente;

Cuadro 6. Influencia de la presión y el nivel de sustitución de las harinas de trigo por la de yuca en el volumen aparente del producto expandido (cm³), tomando como base 500 cc. de materia prima (gritz).

Nivel de Sustitución	Presión (lb/pulg ²)											
	100			110			120			130		
	I	II	X	I	II	X	I	II	X	I	II	X
M ₀	1125	1125	1125.0	1300	1300	1300	1385	1390	1387.5	1560	1565	1562.5
M ₁	1220	1225	1222.5	1305	1295	1300	1380	1385	1382.5	1560	1555	1557.5
M ₂	1220	1215	1217.5	1300	1300	1300	1380	1375	1377.5	1565	1560	1562.5
M ₃	990	995	992.5	1000	1010	1005	980	975	977.5	970	970	970.0

Donde: M₀ = 100% de harina de trigo (testigo).

M₁ = 90% de harina de trigo con 10% de harina de yuca.

M₂ = 80% de harina de trigo con 20% de harina de yuca.

M₃ = 70% de harina de trigo con 30% de harina de yuca.

I, II = Corresponden a la primera y segunda evaluación.

X = Promedio.

esto sucede debido a que el producto expandido en mención al aplicarle las presiones de 100 y 110 lb/pulg², presentan un aspecto duro y compacto, para luego comenzar a desintegrarse al incrementar la presión a 120 y 130 lb/pulg².

Del Cuadro 6 y de la Figura 10, se deduce que el volumen del producto expandido elaborados con los griz de las sustituciones de las harinas M₀, M₁ y M₂ ascienden conforme se incrementan la presión de 100 a 130 lb/pulg², este fenómeno de expansión se produce debido a la repentina evaporación del agua debido a la caída brusca de la presión, al descargar el producto a la atmósfera, la cual al salir con fuerza, aumenta varias veces el tamaño del producto, confiriéndole a la vez una estructura porosa; en cambio los productos expandidos elaborados con la sustitución de harinas M₃, no presenta el mismo comportamiento que los anteriores, debido a que los griz preparados previamente presentan un aspecto demasiado duro y quebradizo, lo cual impide que se forme adecuadamente la estructura porosa del producto al momento del cambio brusco de presión, lo cual provoca que dicho producto se desintegre.

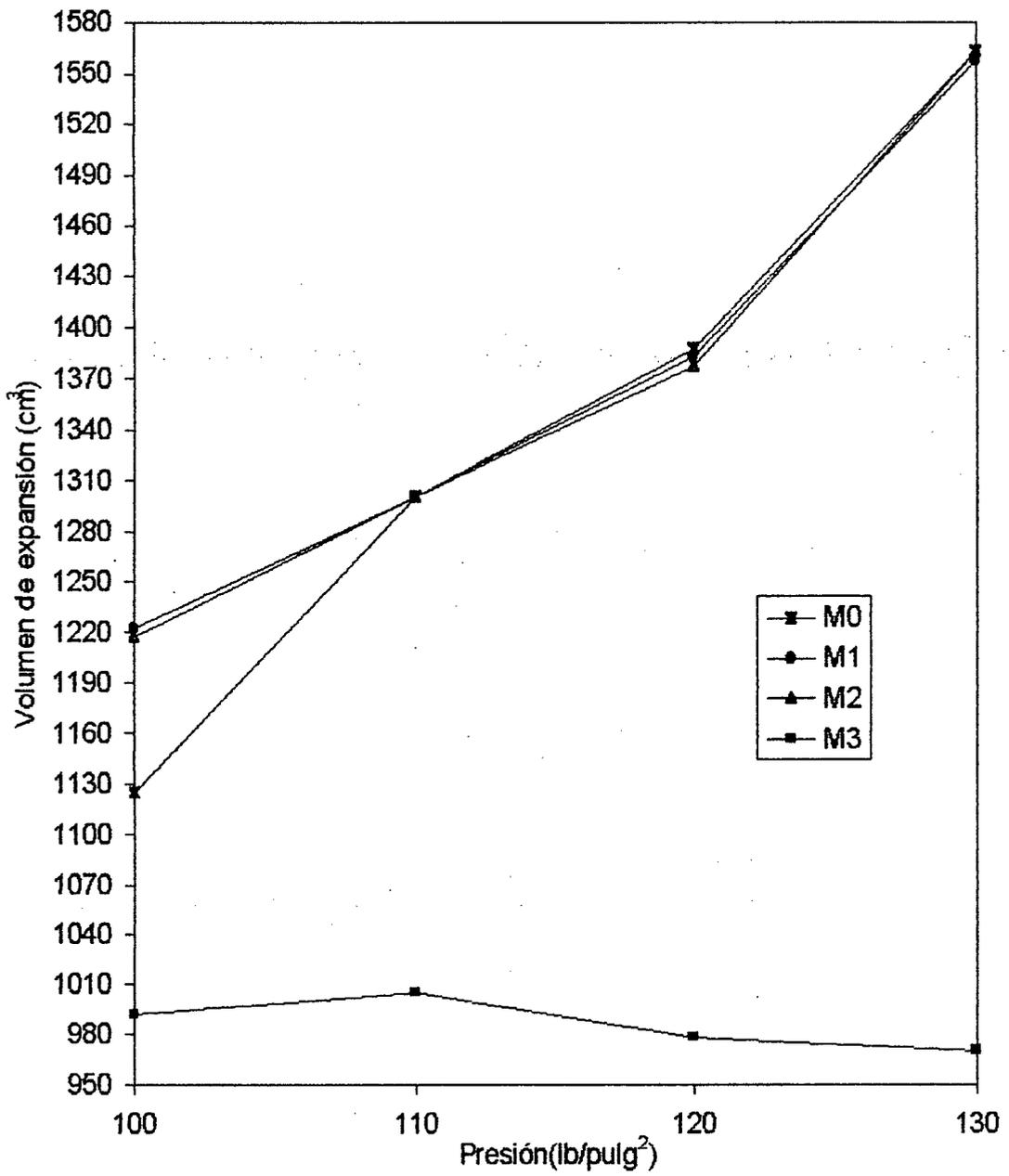


Figura 10. Variación del volumen aparente del producto expandido

En el Cuadro 7 se aprecia el grado de expansión, expresado como índice de expansión donde se observa que estos productos elaborados mediante el método de expansión por explosión son agrandados hasta 3.125 veces de su volumen original, para los niveles de sustitución de las harinas M_0 y M_2 a 130 bl/pulg² de presión. Siendo ligeramente mayor a lo encontrado por **Castro (1987)**, quien al trabajar con granos de kiwicha, obtuvo un incremento de 3.0 veces de su volumen original; utilizando una presión de 180 bl/pulg²; asimismo el índice de expansión conseguido en el presente trabajo de investigación es superior a lo obtenido por **Seminario (1990)**, quien al trabajar con manzanas, obtuvo un índice de expansión de 1.22 a 30 bl/pulg² de presión.

Asimismo el índice de expansión encontrado es inferior a lo reportado por **Schwegart (1969)** y **Espinoza (1986)**, quienes mencionan un índice de expansión de 9.5 y 13.53 respectivamente al haber trabajado con granos de maíz, este último acondicionó el grano de maíz a 12% de humedad y utilizó una presión en el cañón esponjador de 180 bl/pulg².

Cuadro 7. Influencia de la presión y el nivel de sustitución de las harinas de trigo por la de yuca en el índice de expansión del producto (cm³), tomando como base 500 cc. de materia prima (gritz).

Nivel de Sustitución	Presión (lb/pulg ²)											
	100			110			120			130		
	I	II	X	I	II	X	I	II	X	I	II	X
M ₀	2.45	2.45	2.45	2.60	2.60	2.60	2.77	2.78	2.775	3.12	3.13	3.125
M ₁	2.44	2.45	2.445	2.61	2.59	2.60	2.76	2.77	2.765	3.12	3.11	3.115
M ₂	2.44	2.43	2.435	2.60	2.60	2.60	2.76	2.75	2.775	3.13	3.12	3.125
M ₃	1.98	1.99	1.985	2.00	2.02	2.01	1.96	1.95	1.955	1.94	1.94	1.94

Donde: M₀ = 100% de harina de trigo (testigo).

M₁ = 90% de harina de trigo con 10% de harina de yuca.

M₂ = 80% de harina de trigo con 20% de harina de yuca.

M₃ = 70% de harina de trigo con 30% de harina de yuca.

I, II = Corresponden a la primera y segunda evaluación.

X = Promedio.

Desde el punto de vista estadístico, el análisis de varianza de los productos expandidos experimentales elaborados sustituyendo parcialmente harina de trigo por harina de yuca (Anexo A); se confirmó que existía alta significación a un nivel de probabilidad de 0.01, para mencionar que tanto el nivel de sustitución de las harinas (Factor M), la variación de presión en el cañón esponjador (Factor P) y la interacción de ambos, producen efectos diferentes en el índice de expansión. Debido a que la interacción es de primer orden (interacciones de dos factores), se determinó que nivel de sustitución de las harinas como la presión interna del cañón esponjador, no actúa de manera independiente, sino que influyen de manera interrelacionada sobre el índice de expansión del producto expandido.

De la prueba de Tukey para el índice de expansión (Cuadro 8), se pudo demostrar que los tratamientos T_4 , T_{12} y T_8 que corresponden a las interacciones de los niveles de sustitución M_0 , M_1 y M_2 con la presión P_4 (130 lb/pulg²) poseen los mayores índices de expansión en promedio y a la vez son estadísticamente iguales o tienen efectos similares sobre el índice de expansión de los productos expandidos experimentales y son diferentes a los demás tratamientos. Por lo tanto se elige como adecuado de entre todos los tratamientos al nivel de sustitución M_2 (80% harina de trigo y 20% harina de yuca), debido a que produce un efecto similar al testigo M_0 (100% harina de trigo) en cuanto al índice de expansión, utilizando una presión interna en el cañón esponjador de 130 lb/pulg² (P_4).

Cuadro 8. Prueba de Tukey a un nivel de 0.05% de probabilidad de los productos expandidos experimentales, elaborados sustituyendo parcialmente la harina de trigo por harina de yuca.

Agrupación de Tukey	Promedio del índice de expansión	Número de observaciones	Tratamientos	Interacción
A	3.125	2	T ₄	M ₀ x P ₄
A	3.125	2	T ₁₂	M ₂ x P ₄
A	3.115	2	T ₈	M ₁ x P ₄
B	2.775	2	T ₃	M ₀ x P ₃
B	2.765	2	T ₇	M ₁ x P ₃
B	2.755	2	T ₁₁	M ₂ x P ₃
C	2.600	2	T ₂	M ₀ x P ₂
C	2.600	2	T ₆	M ₁ x P ₂
C	2.600	2	T ₁₀	M ₂ x P ₂
D	2.450	2	T ₁	M ₀ x P ₁
D	2.445	2	T ₅	M ₁ x P ₁
D	2.435	2	T ₉	M ₂ x P ₁
E	2.010	2	T ₁₄	M ₃ x P ₂
E F	1.985	2	T ₁₃	M ₃ x P ₁
F G	1.955	2	T ₁₅	M ₃ x P ₃
G	1.940	2	T ₁₆	M ₃ x P ₄

Donde:

M_0 = 100% harina de trigo (Testigo)

M_1 = 90% harina de trigo + 10% harina de yuca

M_2 = 80% harina de trigo + 20% harina de yuca

M_3 = 70% harina de trigo + 30% harina de yuca

P_1 = 100 lb/pulg² de presión en el interior del cañón esponjador

P_2 = 110 lb/pulg² de presión en el interior del cañón esponjador

P_3 = 120 lb/pulg² de presión en el interior del cañón esponjador

P_4 = 130 lb/pulg² de presión en el interior del cañón esponjador

C. Elaboración y caracterización del producto terminado

Después de determinar los parámetros óptimos para elaborar el producto expandido sustituyendo parcialmente la harina de trigo por la de yuca en la primera prueba experimental, se procedió a elaborar el producto en sí y a caracterizarla.

1. Análisis químico de la harina mixta (M₂)

En el Cuadro 9 se presentan los resultados del análisis químico realizado a la harina mixta (M₂), con la que se elaboró el producto expandido seleccionado en la primera etapa; se puede apreciar que los resultados obtenidos presentan una pequeña variación a lo reportado por la harina de trigo, utilizado como base (Cuadro 3).

Cuadro 9. Análisis químico de la harina mixta (M₂).

Componentes	Cantidad
Humedad (%)	10.61
Proteína (%)	10.56
Grasa (%)	1.65
Fibra (%)	1.70
Ceniza (%)	0.63
Carbohidratos (%)	76.50
pH	6.00
Acidez titulable	0.17

2. Análisis de granulometría de la harina mixta

De acuerdo a los resultados presentados en el Cuadro 10, la harina mixta (M_2), en lo referente al grado de molienda, se encuentra dentro de la categoría media, siendo ligeramente mas fina que la harina de trigo utilizada como patrón o base (Cuadro 5), por presentar menor módulo de finura.

Asimismo con respecto al índice de uniformidad la harina mixta (M_2), presenta un mayor porcentaje (70%) de gránulos finos comparados con la harina de trigo utilizada; esto es debido a que la harina de yuca con la que fue mezclada presenta un 80% de gránulos finos, siendo, asimismo inferior a la harina de maíz (Zea mays) variedad Cuban Yellow (Zeceovich, 1984).

Cuadro 10. Módulo de finura e índice de uniformidad de la harina mixta (M₂).

Tamiz	Abertura de malla	Material retenido	Factor	Valor de finura
N°	(mm)	(%)		
32	0.487	0.00	6	0.00
45	0.421	0.84	5	4.20
60	0.302	0.98	4	3.92
6xx	0.240	33.02	3	99.06
10xx	0.178	61.00	2	122.00
15xx	0.100	3.20	1	3.20
Plato	0.075	0.96	0	0.00
Total:		100.00		232.38
Módulo de Finura:				2.32

Índice de uniformidad : 0:3:7.

3. Análisis de farinografía de la harina mixta

El farinógrafo mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia (Quaglia, 1991). En el Cuadro 11 se presenta el análisis de farinografía de la harina mixta.

Quaglia (1991), menciona que la aptitud de una harina para la panificación utilizando los análisis farinográficos se puede evaluar mediante la siguiente clasificación:

- Calidad óptima; caída de la masa entre 0 y 30 U.B. (estabilidad superior a los 10 minutos).
- Calidad buena; caída de la masa entre 30 y 50 U.B. (estabilidad no inferior a 7 minutos).
- Calidad discreta; caída de la masa entre 50 y 70 U.B. (estabilidad no inferior a 5 minutos).
- Calidad mediocre; caída de la masa entre 70 y 130 U.B. (estabilidad no inferior a 3 minutos).
- Calidad baja; caída de la masa superior a 130 U.B. (estabilidad inferior a 2 minutos).

Cuadro 11. Análisis de farinografía de la harina mixta

Características farinográficas	Medida
Absorción de agua (%)	64.80
Desarrollo de la masa (min.)	9.30
Estabilidad de la masa (min.)	No presentó
Resistencia de la masa (min.)	9.30
Debilitamiento de la masa (UB)	140.00
Índice de tolerancia (UB)	120.00

UB : Unidades Brabender.

De acuerdo a lo enunciado y a los resultados presentados en el Cuadro 11, la harina mixta presenta un debilitamiento de la masa de 140 UB y la masa no presenta estabilidad, debido a lo cual se ubica como una harina de calidad baja para la industria panadera.

4. Flujograma de operaciones para elaborar el producto expandido por explosión

En la Figura 11, se muestra el diagrama de flujo para elaborar el producto expandido por explosión, sustituyendo parcialmente la harina de trigo por la de yuca, como se describe a continuación:

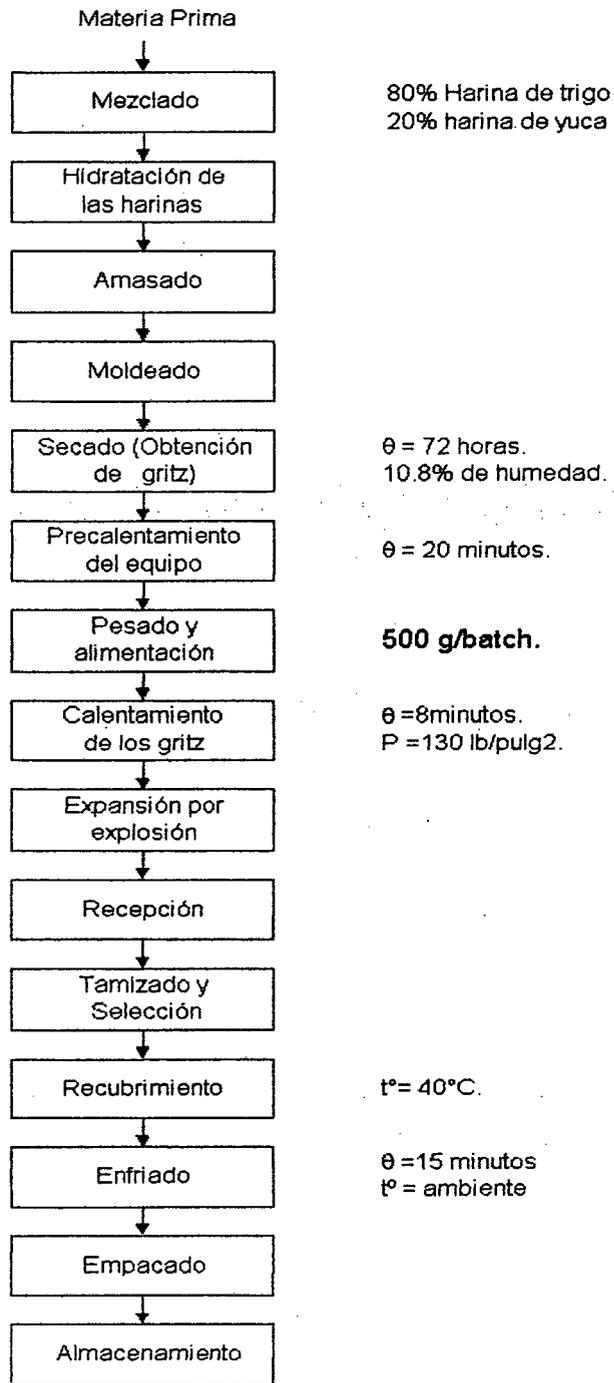


Figura 11. Diagrama de flujo para el procesamiento del producto expandido.

a. Materia Prima

La harina mixta utilizada como materia prima está compuesta por 80% de harina de trigo y 20% de harina de yuca, que fueron adquiridos en los mercados de abastos de las ciudades de Huánuco y Tingo María respectivamente.

b. Mezclado

En esta operación las harinas antes mencionadas proceden a ser mezcladas uniformemente.

c. Hidratación de las harinas

En esta operación se procedió a hidratar la harina mixta (mezclada en la operación anterior), utilizando agua azucarada, que fue preparada en base a 475 ml. de agua mas 200 g de azúcar por kilogramo de harina mixta utilizada.

d. Amasado

Luego de mezclar las harinas e hidratarlas se procede al amasado manual, hasta obtener una masa homogénea y compacta.

e. Moldeado

La masa después de haber sido trabajada, es estirada y moldeada manualmente, utilizando un molde de acero inoxidable para darle la forma de cubitos de 1 cm. de lado por 0.5 cm. de espesor.

f. Secado

Los cubitos obtenidos fueron secados por exposición directa al sol durante 72 horas hasta alcanzar una humedad de 10.8%, a los cuales denominamos gritz.

g. Precalentamiento del equipo

El equipo fue calentado previamente a la alimentación, mediante un soplete a kerosene durante 20 minutos, hasta alcanzar la temperatura de 170 - 190 °C.

h. Pesado y alimentación

Por la capacidad de la máquina y por la cantidad adecuada de trabajo, se adicionó 500 g de materia prima (gritz) por cada batch de trabajo; alimentando con un embudo metálico para luego cerrar herméticamente el cañón esponjador.

i. Calentamiento de los gritz

Los gritz fueron calentados dentro del cañón esponjador por un espacio de 8 minutos hasta alcanzar una presión interna de 130 lb/pulg².

j. Expansión por explosión

Cuando se alcanzó una presión manométrica de 130 lb/pulg², el cañón esponjador fue abierto repentinamente, produciéndose un cambio brusco de la presión, consiguiendo de esta manera que los gritz se esponjen.

k. Recepción

Los gritz expandidos fueron recepcionados mediante una malla con la finalidad de amortiguar su caída, evitando de esta manera su deterioro y contaminación.

l. Tamizado y selección

Los productos expandidos fueron tamizados para así poder separar las partículas pequeñas que puedan haberse desprendido.

m. Recubrimiento

Los productos expandidos fueron cubiertos con cobertura de chocolate, para mejorar su olor, sabor y apariencia general, lo cual se realizó a una temperatura de 40 °C.

n. Enfriado

El producto expandido cubierto con chocolate, fue enfriado a temperatura del medio ambiente por un espacio de 15 minutos.

o. Empacado

Los productos expandidos fueron empacados en empaques flexibles de polipropileno, con la finalidad de prolongar su tiempo de vida útil.

p. Almacenamiento

Luego de realizar correctamente las operaciones anteriores, el producto expandido fue almacenado.

5. Características químicas y físicas del producto expandido

Los resultados del análisis químico proximal del producto expandido, con cobertura y sin cobertura de chocolate, se presentan en el Cuadro 12. En este cuadro se observa que, tanto el producto expandido con cobertura y sin cobertura de chocolate han sufrido una disminución en el contenido de proteínas, con respecto a la harina mixta con la que fueron elaborados (Cuadro 9); esta disminución se justifica por el proceso de expansión, lo cual concuerda con lo anunciado por Harris (1971), quien afirma que la elaboración de cereales expandidos es muy perjudicial para la calidad de la proteína del cereal.

Asimismo en el Cuadro 12, se puede apreciar que los productos expandidos presentan baja humedad, lo cual concuerda con lo anunciado por **Potter (1973)**, **Matz (1969)** y **Schwegart (1969)**, quienes mencionan que al expandir por explosión un alimento, resulta un producto poroso y voluminoso con un contenido bajo de humedad.

En el Cuadro 12, también se observa que el contenido de grasa del producto expandido con cobertura de chocolate es mayor que el que no presenta cobertura, debido a que el mayor componente de dicha cobertura de chocolate es la grasa.

Cuadro 12. Análisis químico proximal del producto expandido sin cobertura y con cobertura de chocolate.

Componentes	Producto expandido sin Cobertura de chocolate	Producto expandido con cobertura de chocolate
Humedad (%)	6.400	6.350
Proteína (%)	10.180	10.300
Grasa (%)	2.650	7.320
Fibra (%)	1.880	1.900
Ceniza (%)	0.810	0.820
Carbohidratos (%)	78.080	73.310
Densidad (g/cm ³)	0.350	0.350
Índice de expansión	3.125	3.125

Asimismo el producto expandido presenta una densidad de 0.35 g/cm³ y un índice de expansión de 3.125, siendo la densidad mayor a lo reportado por **Espinoza (1986)**, quien al expandir maíz obtuvo una densidad de 0.04 g/cm³ y un índice de

expansión de 13.53, demostrándonos de esta manera de que a mayor índice de expansión, se obtiene una menor densidad.

6. Balance de materia y rendimiento

En la Figura 12 y en el Cuadro 13, se presentan el balance de materia para la elaboración del producto expandido, donde se considera el rendimiento por operación y durante todo el proceso.

Cuadro 13. Balance de materia para la elaboración del producto expandido.

Operación	Materia en Movimiento(g)			Rendimiento(%)	
	Ingresas	Sale	Continua	R.O	R.P.
- Mezclado	1000	----	1000	100.0	100.0
- Hidratación	605	----	1675	248.1	167.5
- Amasado	1675	----	1675	100.0	167.5
- Moldeado	1675	----	1675	100.0	167.5
- Secado	1675	440	1235	73.7	123.5
- Pesado y alimentación.	1235	----	1235	100.0	123.5
- Calentamiento	1235	----	1235	100.0	123.5
- Expansión por explosión.	1235	245	990	80.2	99.0
- Recepción	990	----	990	100.0	99.0
- Tamizado y selección	990	15	975	98.5	97.5
- Recubrimiento	975	----	985	101.0	98.5
- Enfriado	985	----	985	100.0	98.5
- Empacado	985	----	985	100.0	98.5
- Almacenamiento	985	----	985	100.0	98.5

R.O. = Rendimiento por operación.

R.P. = Rendimiento por proceso.

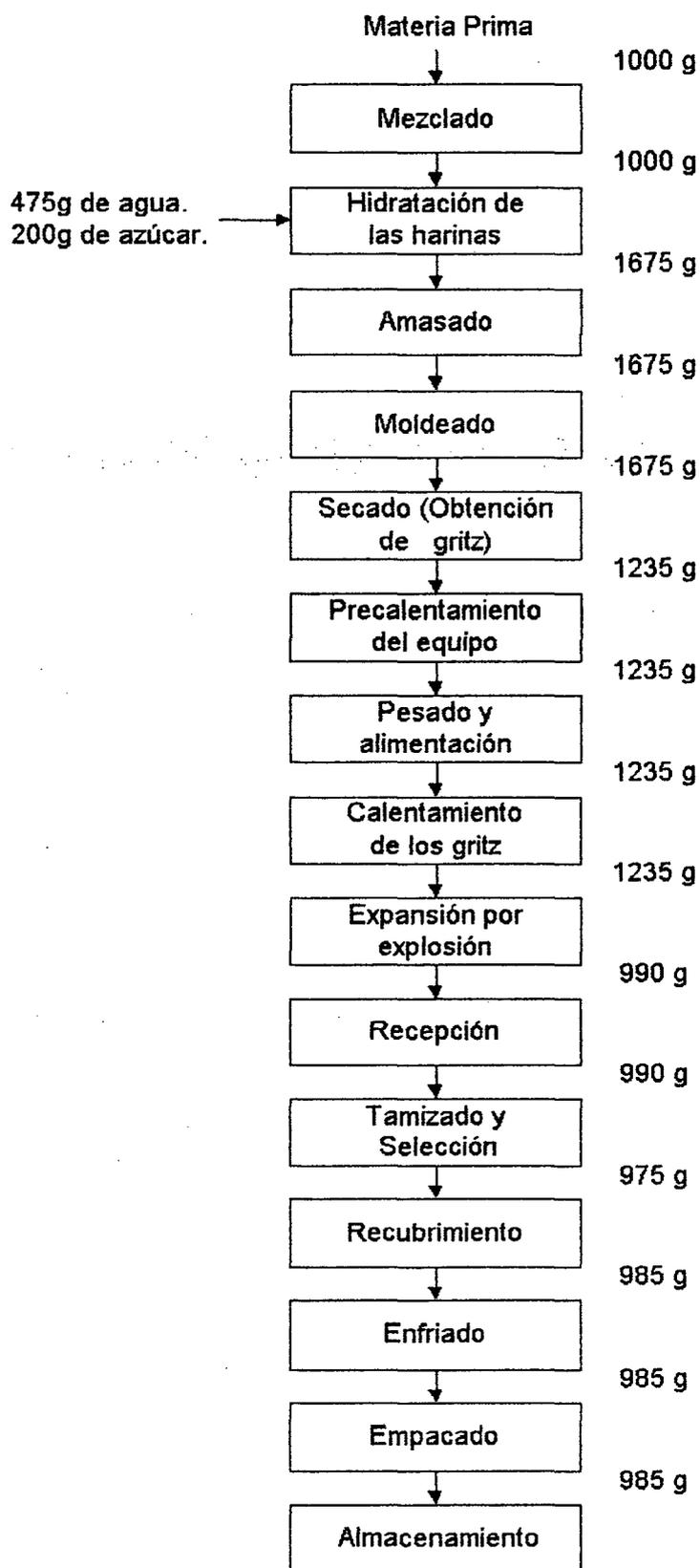


Figura 12 Balance de materia para el procesamiento del producto expandido.

De los resultados presentados en el Cuadro 13, se determina que el proceso tiene un 98.5% de rendimiento, produciéndose la mayor disminución dentro del proceso, en la operación de expansión por explosión, previa a la cual se tenía un rendimiento de 123.5%, obteniéndose luego un 99.0%, produciéndose una considerable pérdida de peso, esto es debido en parte al efecto de la vaporización del agua que contenían los griz (el producto ingresa con 10.8% de humedad y sale con 6.4%) y a la pérdida ocasionada a la operación en sí, debido que por debajo de la malla de recepción se pudo observar fracciones muy pequeñas y polvillo del producto expandido, cabe recalcar que esta operación es muy difícil de controlar.

7. Isotermas de adsorción

Los datos para graficar la isoterma de adsorción se presentan en el Cuadro 14 y la representación en la Figura 13. Observando la figura se aprecia que tiene la forma sigmoidea, la cual es típica de los materiales biológicos.

Fennema (1994), menciona que las isotermas de sorción son representaciones que interrelacionan el contenido de agua en el equilibrio de un material (expresado en masa de agua por unidad de materia seca) con su actividad de agua, a temperatura constante. En la Figura 13, se puede apreciar que la curva, hasta el valor de a_w igual a 0.3, corresponde a la zona I de la isoterma de adsorción, donde el agua está fuertemente adsorbida a los grupos OH^- de los almidones, a los sitios polares NH_2^+ y COO^- de las proteínas, mediante la interacción agua-ión o agua dipolo (**Fennema, 1994; Liendo, 1993**). La mayor humedad de esta zona I, corresponde al valor de monocapa del producto expandido.

En el Cuadro 15, se muestran los datos para la representación de la ecuación de BET; la Figura 14, representa gráficamente la ecuación de BET, donde se muestra la capacidad hidrofílica del producto expandido, lo cual es de importancia para la posterior predicción de la vida útil del producto.

Cuadro 14. Datos para graficar la isoterma de adsorción del producto expandido

H.R. (%)	a_w	Humedad de equilibrio en base seca "m" de la muestra (g de agua /100g de materia seca)
0.00	0.0000	0.2546
11.30	0.1130	3.6241
33.07	0.3307	4.4559
44.30	0.4430	6.5653
65.40	0.6540	8.5611
80.30	0.8030	17.7791
87.00	0.8700	32.9831
96.90	0.9690	58.9007

H.R. = Humedad relativa.

a_w = Actividad de agua.

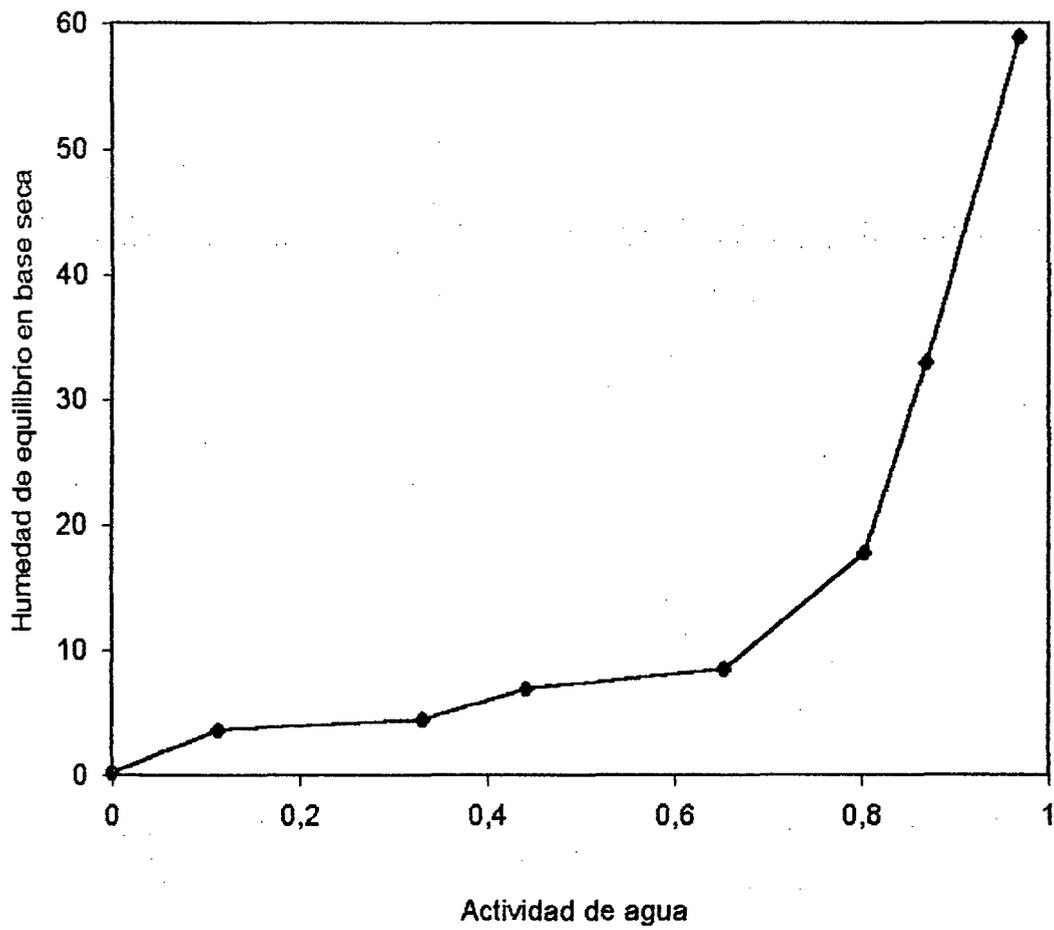


Figura 13. Isotherma de adsorción del producto expandido

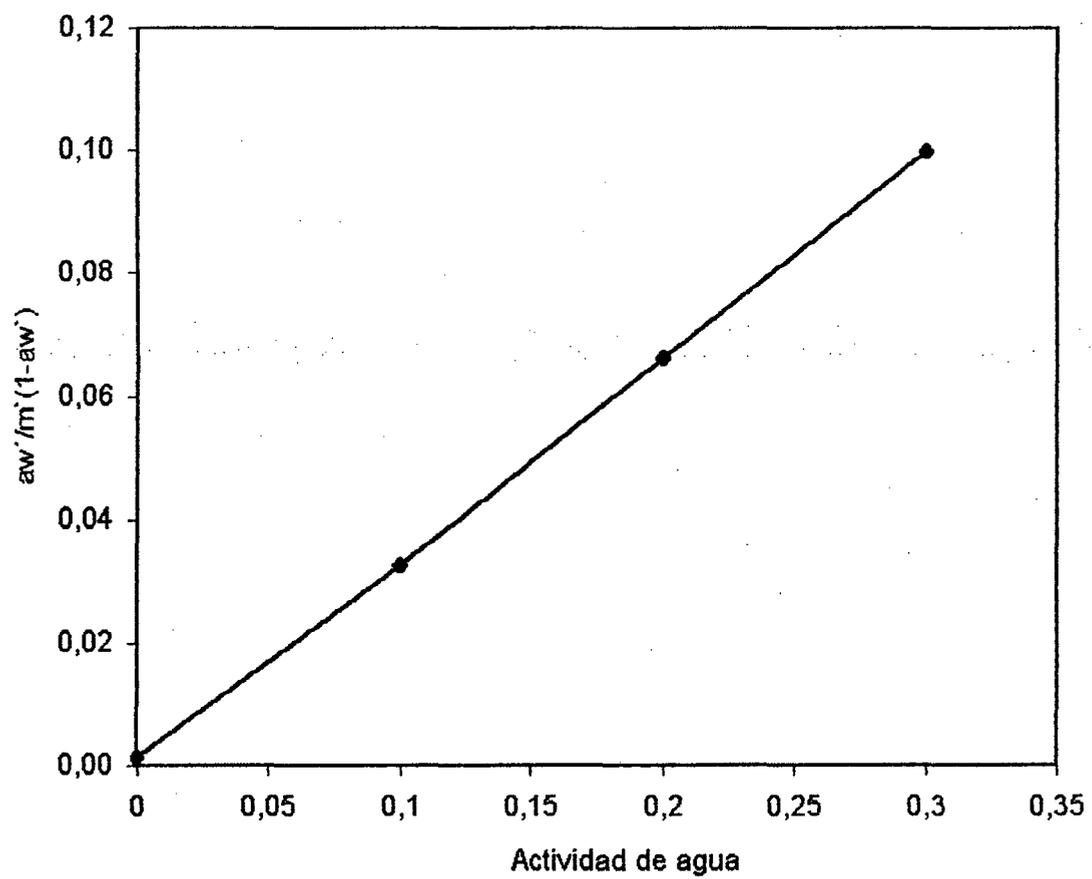


Figura 14. Representación de la ecuación de BET

Cuadro 15. Datos para la representación de la ecuación de BET del producto expandido

H.R. (%)	a_w	$a_w / m (1 - a_w)$
0.00	0.00	0.00120
10.00	0.10	0.03251
20.00	0.20	0.06622
30.00	0.30	0.09993

Fuente: Extraídos en base al Cuadro 14.

Asimismo se determinó la ecuación de BET que responde a la siguiente fórmula matemática:

$$Y = 0.3371X - 0.0012$$

Donde:

$$Y = a_w / m (1 - a_w)$$

$$X = a_w$$

Haciendo uso de la ecuación de BET se determinó el valor de monocapa del producto expandido, obteniéndose un valor de 2.977 g de agua/100 g de materia seca; dicho valor está dentro del rango mencionado por Labuza et al citado por **Liendo (1993)**, donde indica que el valor de monocapa para alimentos es menor de 10 g de agua /100 g de materia seca; asimismo el valor de monocapa encontrado es mucho menor que el valor de monocapa de la harina de yuca (5.09–5.50 g de agua / 100 g de materia seca) y trigo (5.39 g de agua / 100 g de materia seca) (**Peláez, 1988**).

8. Predicción de la vida útil del producto expandido

Para realizar la predicción de la vida útil del producto expandido se tuvo que realizar previamente los siguientes cálculos.

a. Determinación de la permeabilidad (PM) del empaque flexible

Para determinar la permeabilidad del empaque de polipropileno, se tuvo que analizar las siguientes características:

- Espesor del empaque : 20.3002 mil (*)
 - Agua ganada : 0.0628g.
 - Tiempo de permanencia : 3 días.
 - Presión de vapor del agua : 24.00 mmHg.
- en un medio saturado y a 25 °C
- Area del empaque expuesto : 0.01627 m².

$$PM = \frac{\text{(Agua ganada)} (\text{espesor del empaque})}{(\text{T. de permanencia})(P_{\text{vapor del agua}})(\text{Area del empaque})}$$

$$PM = \frac{(0.0628\text{g})(20.3002 \text{ mil } (^*))}{(3 \text{ días})(24.00 \text{ mmHg})(0.01628 \text{ m}^2)}$$

$$PM = 1.087 \frac{\text{g} - \text{mil } (^*)}{\text{m}^2 - \text{día} - \text{mmHg}}$$

(*) 1 mil = 0.001 pulg

b. Determinación de la humedad máxima permisible (humedad crítica) del producto expandido

Con la finalidad de determinar la humedad crítica a partir de la cual el producto pierde su aceptabilidad, se llevó a cabo el análisis sensorial del producto expandido con diferentes contenidos de humedad, cuyo formato se muestra en el Anexo B, donde se evaluó la crocantez.

El producto expandido se acondicionó a ocho humedades distintas (humedad en base seca), como se muestra a continuación:

$$T_1 = 8.54\%.$$

$$T_2 = 9.66\%.$$

$$T_3 = 10.28\%.$$

$$T_4 = 11.50\%.$$

$$T_5 = 13.56\%.$$

$$T_6 = 20.50\%.$$

$$T_7 = 24.00\%.$$

$$T_8 = 24.72\%.$$

En el Anexo C se muestra el ANVA para determinar la humedad crítica del producto, donde se aprecia que existe alta significación estadística entre los tratamientos, en función de la crocantez.

Según la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0.01, mostrado en el Cuadro 19, los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 , T_4 y T_5 son estadísticamente iguales, es decir que no existe una variación estadística en la crocantez y los panelistas la aceptan; en cambio los tratamientos T_6 , T_7 y T_8 fueron estadísticamente iguales

entre ellos y distintos a los anteriores, siendo rechazados por los panelistas. Por lo tanto, se eligió como adecuado el tratamiento T₅, el cual contiene una humedad en base seca del producto de 13.56%, debido a que por encima de este valor el producto expandido elaborado, comenzó a ser rechazado.

Después de haber determinado la permeabilidad del empaque utilizado (polipropileno) y la humedad máxima permisible del producto (humedad crítica), se procedió a predecir la vida útil del producto, utilizando el software de predicción de vida útil, donde se ingresa los datos de la siguiente manera:

- Permeabilidad al vapor de agua (PM) = 1.087 (g-mil/m²-día-mmHg)
- Area del empaque (m²) = 0.01627.
- Espesor del material (mil) = 20.3002.
- Humedad relativa externa (%) = 84.00
- Humedad inicial (% B.S.) = 6.78.
- Presión de saturación del vapor de agua = 24.00
a la temperatura de almacenamiento (mmHg)
- Incremento del tiempo (días) = 1.
- Peso del producto (g) = 50
- Humedad máxima permisible (%b.s.) = 13.54.
- N° de pares de puntos (Humedad – H.R.) = 8

- Isoterma de adsorción =

Contenido de humedad (% B.S.)	H.R. (%)
0.2546	0.00
3.6541	11.30
4.4559	33.07
6.9653	44.30
8.5611	65.40
17.7791	80.30
32.9831	87.00
58.9007	96.90

Luego de ingresar los datos el software nos reporta el siguiente resultado:

La vida de almacenamiento es 354 días.

En tal sentido la vida útil proyectada del producto expandido es de 354 días, los cual concuerda con la bibliografía consultada, donde se menciona que los productos expandidos tiene un prolongado tiempo de vida útil debido a la baja humedad que presentan (Desrosier, 1966; Espinoza, 1980).

9. Prueba de preferencia

La prueba de preferencia del producto elaborado, frente a otros dos productos expandidos por explosión que son comercializados en nuestro medio se realizó mediante un análisis sensorial, los cuales fueron codificados de la siguiente manera:

T₁ = 830 = Maíz expandido

T₂ = 535 = Fideos expandido

T₃ = 849 = Producto expandido elaborado en el presente trabajo de investigación

Al evaluarse los atributos de apariencia general, color y textura de los productos expandidos, se encuentra que estadísticamente son no significativos, como se muestra en los anexos D, E y F respectivamente, es decir que los panelistas no encuentran preferencia alguna con respecto a la apariencia general, color y textura de los productos expandidos que fueron evaluados.

En los Anexos G y H se muestra el ANVA para los atributos de olor y sabor respectivamente, de los productos expandidos, donde se observa que existe una alta significación estadística entre los tratamientos en estudio, es decir que los panelistas encuentran diferencias con respecto al olor y sabor de los productos expandidos o tienen preferencia por alguno de estos con respecto a los atributos antes mencionados; debido principalmente a la acción de la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido elaborado (T_3). En cambio, los atributos de color, textura y apariencia general no tuvieron mucha diferencia de un tratamiento a otro.

En el Cuadro 16, se presenta la prueba de Tukey para el atributo olor de los productos expandidos a un nivel de significación de 0.05 donde se aprecia que el tratamiento T_3 (producto expandido elaborado) es diferente a los tratamientos T_2 y T_1 , es decir que los panelistas prefieren al tratamiento T_3 en cuanto al olor se refiere con respecto a los otros tratamientos o productos evaluados.

En el Cuadro 17, se presenta la prueba de Tukey para el atributo sabor de los productos expandidos a un nivel de significación de 0.05, donde se aprecia que también el tratamiento T_3 es diferente a los tratamientos T_2 y T_1 , lo cual confirma que los panelistas prefieren al tratamiento T_3 al evaluarse el sabor de los

productos expandidos. La preferencia de los panelistas ante los atributos de olor y sabor del producto expandido, se debió principalmente a la adición de cobertura de chocolate.

Asimismo al preguntársele a los panelistas su preferencia por uno de los productos evaluados, el 55.5% prefirió al tratamiento T₃ (producto expandido elaborado en el presente trabajo de investigación); el 27.8% prefirió al tratamiento T₂ (fideos expandido) y el 16.7% prefirió al tratamiento T₁ (maíz expandido).

Cuadro 16. Prueba de Tukey para el atributo olor de los productos expandidos a un nivel de significación de 0.05.

Agrupación de Tukey	Promedio de la calificación	Número de panelistas	Tratamiento
A	4.778	18	T3
B	3.611	18	T2
B	3.111	18	T1

Cuadro 17. Prueba de Tukey para el atributo sabor de los productos expandidos a un nivel de significación de 0.05.

Agrupación de Tukey	Promedio de la calificación	Número de panelistas	Tratamiento
A	4.500	18	T3
B	3.778	18	T2
C	3.111	18	T1

10. Almacenamiento del producto expandido

El producto expandido se almacenó a temperatura del medio ambiente, considerando dos ambientes con humedades relativas distintas; es decir un bloque fue almacenado a una temperatura y humedad relativa ambiental y el otro bloque a temperatura ambiental y una humedad relativa elevada (saturado por el vapor de agua, 100% H.R.), las evaluaciones se realizaron cada 15 días por un espacio de 45 días, donde se evaluó la variación de la humedad en el producto expandido y la variación del índice de peróxido en la cobertura de chocolate.

En el Cuadro 18, se muestra la variación de humedad del producto expandido almacenado a temperatura y humedad relativa del medio ambiente, donde se observa que al transcurrir 45 días se incrementó de 6.35 % a 6.61 %, valores que al ser analizados estadísticamente, indicaron que no existía significación, como se muestra en el anexo I, demostrando de esta manera que estadísticamente a los 45 días de almacenado el producto a una temperatura y humedad relativa ambiental, no existe variación significativa en el contenido de humedad del producto expandido.

En el Cuadro 19, se presenta la variación de la humedad del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a la temperatura del medio ambiente, donde se observa un incremento bastante notorio en la humedad del producto expandido, de 6.35% a los 0 días de almacenado a 8.01 % a los 45 días de almacenamiento, cuyos resultados al ser analizados estadísticamente se encontró de que existe alta significación entre los tiempos en estudio, como se muestra en el anexo J.

Cuadro 18. Variación de la humedad del producto expandido, almacenado a una temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

Tiempo	Humedad (%)			
	I	II	III	Promedio
T ₁ = 0 días	6.32	6.23	6.50	6.35
T ₂ = 15 días	6.35	6.51	6.22	6.36
T ₃ = 30 días	6.40	6.59	6.43	6.47
T ₄ = 45 días	6.51	6.70	6.63	6.61

I, II, III; Corresponden a la primera, segunda y tercera evaluación.

Cuadro 19. Variación de la humedad del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a la temperatura del medio ambiente.

Tiempo	Humedad (%)			
	I	II	III	Promedio
T ₁ = 0 días	6.32	6.23	6.50	6.35
T ₂ = 15 días	6.34	6.36	6.42	6.37
T ₃ = 30 días	7.15	7.22	7.17	7.18
T ₄ = 45 días	7.99	8.09	7.95	8.01

I, II, III; Corresponden a la primera, segunda y tercera evaluación.

En el Cuadro 20, se muestra la prueba de Tukey para la variación de la humedad del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a un

nivel de significación de 0.01, donde se aprecia que los tratamientos T_1 y T_2 son estadísticamente iguales y distintos a los tratamientos T_3 y T_4 , es decir que hasta los 15 días de almacenamiento no existe una variación notoria o significativa en el incremento de la humedad del producto expandido, pero al incrementarse el tiempo de almacenamiento de 15 a 30 y 45 días, si existe una variación notoria o altamente significativa en el incremento de la humedad del producto expandido.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para la variación de la humedad del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a un nivel de significación de 0.01.

Agrupación de Tukey	Promedio de la variación de humedad	Número de observaciones	Tratamiento
A	8.0100	3	T4
B	7.1800	3	T3
C	6.3733	3	T2
C	6.3500	3	T1

En los Cuadros 21 y 22, se aprecia que el índice de peróxido de la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, se incrementa al transcurrir el tiempo de almacenamiento, notándose un mayor incremento cuando el producto expandido es almacenado en un medio saturado de vapor de agua.

Según el **Codex Alimentarius (1993)**, norma stan 157, menciona que el índice de peróxido no debe ser mayor de 10 miliequivalentes de oxígeno peroxídico por kilogramo de grasa, para productos elaborados a partir de grasa vegetal

especificada; en tal sentido la variación del índice de peróxido en la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, almacenados en ambos ambientes está dentro del rango aceptable por la legislación alimentaria.

Cuadro 21. Variación del índice de peróxido en la cobertura de chocolate del producto expandido (expresado en miliequivalentes de oxígeno/ por kg. de grasa), almacenado a una temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

Tiempo	Índice de peróxido			
	I	II	III	Promedio
T ₁ = 0 días	0.00	0.00	0.00	0.00
T ₂ = 15 días	0.00	0.00	0.00	0.00
T ₃ = 30 días	0.10	0.15	0.27	0.17
T ₄ = 45 días	0.30	0.40	0.34	0.35

I, II, III; Corresponden a la primera, segunda y tercera evaluación.

Cuadro 22. Variación del Índice de peróxido en la cobertura de chocolate producto expandido (expresado en miliequivalentes de oxígeno/ por kg. de grasa), almacenado en un medio saturado de vapor de agua a la temperatura del medio ambiente.

Tiempo	Índice de peróxido			
	I	II	III	Promedio
T ₁ = 0 días	0.00	0.00	0.00	0.00
T ₂ = 15 días	0.20	0.29	0.25	0.25
T ₃ = 30 días	0.55	0.70	0.62	0.62
T ₄ = 45 días	0.80	0.90	0.90	0.87

I, II, III; Corresponden a la primera, segunda y tercera evaluación.

En los anexos K y L, se presenta el ANVA para la variación del índice de peróxido de la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, almacenados al medio ambiente y en un medio saturado de vapor de agua respectivamente, donde se encuentra una alta significación estadística para ambos casos.

La prueba de Tukey para la variación del índice de peróxido en la cobertura de chocolate del producto expandido almacenado al medio ambiente a un nivel de significación de 0.01 (Cuadro 23), nos señala que, estadísticamente, los tratamientos T₁ y T₂ son iguales y a la vez estos son diferentes a los tratamientos T₃ y T₄, lo cual nos indica que hasta los 15 días de almacenamiento no existe una variación significativa en el índice de peróxido en la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, pero al incrementarse el tiempo de almacenamiento a 30 y 45 días si existe una variación notoria o altamente significativa, siendo mayor esta variación a los 45 días de almacenamiento.

Cuadro 23. Prueba de Tukey para la variación del índice de peróxido (IP) en la cobertura de chocolate del producto expandido almacenado al medio ambiente un nivel de significación de 0.01.

Agrupación de Tukey	Promedio de la variación del IP	Número de observaciones	Tratamiento
A	0.3167	3	T4
B	0.1400	3	T3
C	0.0000	3	T1
C	0.0000	3	T2

La prueba de Tukey para la variación del índice de peróxido en la cobertura de chocolate del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a un nivel de significación de 0.01 (Cuadro 24), nos muestra que estadísticamente todos los tratamientos son diferentes, indicándonos que existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de almacenamiento y el incremento del índice de peróxido; debido, básicamente que al transcurrir el tiempo de almacenamiento aumentaba el tiempo de humedad del producto expandido, este incremento de agua libre, da lugar a la producción de radicales de peróxido en la cobertura de chocolate.

Cuadro 24. Prueba de Tukey para la variación del índice de peróxido (IP) en la cobertura de chocolate del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a un nivel de significación de 0.01.

Agrupación de Tukey	Promedio de la variación del IP	Número de observaciones	Tratamiento
A	0.8667	3	T4
B	0.5900	3	T3
C	0.2467	3	T2
D	0.0000	3	T1

11. Análisis microbiológico del producto expandido

La FAO (1981), menciona que los granos y sub productos de los cereales no deben exceder de los siguientes índices microbiológicos:

- El número de bacterias aeróbicas mesófilas viables no debe exceder de los 10^6 por gramo de muestra.
- El número de coliformes no debe exceder de los 10^4 por gramo de muestra.
- El número de mohos no debe exceder de los 10^4 por gramo de muestra.

El producto expandido fue analizado microbiológicamente después de los cinco días de haber sido elaborados, obteniéndose los resultados del Cuadro 25.

Cuadro 25. Análisis microbiológico del producto expandido.

Análisis	Resultado
Numeración de microorganismos aerobios viables mesófilos (NMVM) T° de incubación = 35± 2°C	1.5x10 ³ /g.
Numeración de mohos y levaduras. T° de incubación = T° ambiente.	1.8x10 ² /g.
Numeración de coliformes T° de incubación = 35± 2°C	<3/g.

De acuerdo a lo enunciado y a los resultados del Cuadro 25, el producto expandido elaborado en cuanto al análisis microbiológico se encuentra dentro del rango de las normas establecidas, corroborando así la calidad sanitaria del producto.

12. Prueba complementaria

a. Análisis químico y fisicoquímico de la harina de trigo utilizada

En el Cuadro 26 se presenta el análisis químico y fisicoquímico de una muestra de harina de trigo calificada como fresca, la cual se utilizó durante los ensayos de la influencia del nivel de sustitución de harinas en el índice de expansión.

Cuadro 26. Análisis químico de la harina de trigo calificada como fresca

Componentes	Cantidad
Humedad (%)	10.54
Proteína (%)	10.67
Grasa (%)	1.70
Fibra (%)	1.80
Ceniza (%)	0.50
Carbohidratos (%)	72.79
Acidez titulable	0.059

Los resultados del Cuadro 26, se aproximan a los obtenidos por el **Collazos (1986)**, en lo referente al porcentaje de humedad, proteína, grasa, fibra y carbohidratos; asimismo cabe señalar que el contenido de humedad y proteína se encuentra por debajo del promedio mencionado por otros autores; en lo referente al contenido de cenizas se encuentra dentro del rango mencionado por el **ICABB (1993)**.

Asimismo en el Cuadro 26 se puede apreciar que la acidez titulable de la harina de trigo es de 0.059%, estando dentro del límite establecido por **ITINTEC (1976)** para harinas frescas (máx. 0.15%), lo cual nos indica que la harina de trigo analizada es una harina fresca.

b. Influencia del nivel de sustitución de las harinas en el índice de expansión utilizando harina de trigo fresca

En el Cuadro 27 se presentan los resultados del índice de expansión de los productos expandidos, utilizando una presión de 130 lb/pulg² y elaborados con

harina de trigo en buen estado (fresca), cuyos resultados, al ser analizados estadísticamente (Anexo M), tuvieron alta significación entre tratamientos (Nivel de sustitución).

Cuadro 27. Influencia de niveles de sustitución de las harinas en el índice de expansión del producto (cm^3), a 130 lb/pulg², utilizando harinas frescas

Repeticiones	Nivel de sustitución			
	M_0	M_1	M_2	M_3
I	3.140	3.140	3.120	1.960
II	3.150	3.130	3.130	1.970
X	3.145	3.135	3.125	1.965

donde:

M_0 = 100% harina de trigo (testigo)

M_1 = 90% harina de trigo + 10% harina de yuca

M_2 = 80% harina de trigo + 20% harina de yuca

M_3 = 70% harina de trigo + 30% harina de yuca

X = Promedio

De la prueba de Tukey para el índice de expansión (Cuadro 28), se pudo demostrar, que los tratamientos M_0 , M_1 y M_2 fueron estadísticamente iguales, es decir producían los mismos efectos en los índices de expansión de los productos expandidos, siendo a la vez diferentes al tratamiento M_3 ; indicándonos así que la sustitución M_2 (80% harina de trigo + 20% harina de

yuca), produce el mismo efecto en el índice de expansión que el testigo M_0 (100% harina de trigo), eligiéndola como la adecuada; corroborando así lo indicado en el ítem B de los Resultados y Discusiones (Evaluación de los productos expandidos experimentales). Observándose asimismo que no existe una variación significativa en el índice de expansión de productos expandidos elaborados con harinas frescas y harinas almacenadas.

Cuadro 28. Prueba de Tukey a 0.05% de probabilidad de los productos expandidos a diferentes niveles de sustitución, utilizando harina de trigo fresca.

Agrupación de Tukey	Promedio del índice de expansión	Número de observaciones	Tratamiento
A	3.145	2	M_0
A	3.125	2	M_1
A	3.105	2	M_2
B	1.965	2	M_3

Donde

M_0 = 100% harina de trigo (testigo)

M_1 = 90% harina de trigo + 10% harina de yuca

M_2 = 80% harina de trigo + 20% harina de yuca

M_3 = 70% harina de trigo + 30% harina de yuca

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se establecen las siguientes conclusiones:

1. Es posible elaborar un producto expandido por explosión, sustituyendo la harina de trigo por harina de yuca hasta un 20% sin diferencia estadísticas, trabajando a 130 lb/pulg² de presión y cuya vida útil proyectada es de 354 días.
2. La composición químico proximal del producto expandido con cobertura de chocolate fue: humedad 6.35%, proteína 10.30%, grasa 7.32%, fibra 1.9%, ceniza 0.82% y carbohidratos 73.3%.
3. El producto expandido elaborado tuvo una buena aceptación organoléptica, teniendo una pronunciada preferencia al ser comparado con otros productos expandidos elaborados bajo este mismo sistema.
4. El producto expandido elaborado tuvo una adecuada calidad sanitaria.

VI. RECOMENDACIONES

Como producto del presente trabajo de investigación, se formulan las siguientes recomendaciones

- Continuar este tipo de investigación utilizando otros productos farináceos producidos en esta región.
- Realizar estudios sobre la influencia de la variación del porcentaje de humedad inicial del producto antes de ser expandido, sobre el índice de expansión final del mismo a diferentes presiones manométricas de trabajo.
- En las siguientes investigaciones, estudiar el grado de modificación de los gránulos de almidón.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. **ALFARO, C.S.** 1993. Sustitución parcial de la harina de trigo por puré de yuca (Manihot esculenta C) para su uso en panificación. Tesis Ind. Alimentarias. UNAS. Tingo María. Perú. pp 30-40
2. **ASSOCIATION OF AGRICULTURAL CHEMIST (A.O.A.C.).** 1997. Official methods of analysis, 17 th Ed. Wash. D.C. U.S.A.
3. ———. 1975. Official methods of analysis, 13 th Ed. Wash. D.C. U.S.A.
4. **BAKER, D.; HOLDEN, J. M.** 1981. Fiber in breakfast cereals. J. Food Sci V 46. pp 49-55.
5. **BRAVERMAN, J. B. S.** 1980. Introducción a la bioquímica de los alimentos . 3 ed, Omega. pp 52-72
6. **C.I.A.T.** 1982. Evaluación de variedades promisorias de yuca en América Latina y el Caribe, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali - Colombia. pp 85-98
7. **CAPCHA, C.** 1977. Evaluación de la aptitud combinatoria general mediante top-cross y determinación de la capacidad y volumen de expansión de líneas S₁ en maíz reventado PMV-273 (Zea mays everta). Tesis Ing. UNA La Molina, Lima, Perú, pp 30-35

8. **CASTRO, V. C.** 1987. Procesamiento de kiwicha por el método de expansión por explosión. Tesis Ind Alimentarias. UNA La Molina. Lima, Perú. pp 95-96.
9. **CODEX ALIMENTARIUS.** 1993. Grasas y Aceites. Vol 8. Norma Codex Standard 157-1987. FAO, Roma, Italia.
10. **CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.** 1980. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Acribia, Zaragoza, España. pp 104-108.
11. **CLARK, J. P.** 1986. Texturization process in the cereal food industry. Food Technology 40(3): 91.
12. **CLAUSI, A.; VOLLINK, W.** 1965. Canadian patent. Process for preparing cereal product. (511 967). Diciembre 6, U.S.A.
13. **COLLAZOS, CH.; WHITE, P. L.; WHITE, S.** 1986. La composición de los alimentos peruanos. Ministerio de la Salud Pública. Lima, Perú, 36 p
14. **CORDING, J; EISENHARDT, N. H.** 1963. Quick cooking dehydrated vegetables. Food Engineering.
15. **CURRIEL, N. F.** 1977. Técnicas para la producción de yuca, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas , Venezuela. pp. 45-48
16. **DESROSIER, N. W.** 1966. Conservación de los alimentos. Continental, Barcelona, España. pp 157-164, 183-184.

17. ———. 1983. Elementos de tecnología de alimentos. AVI Publishing Company, México. pp 119-123, 192-194.
18. EISENHARDT, N. H.; CORDING, J; ESKEW, R. K.; SULLIVAN, J. F. 1962. Quick cooking dehydrated vegetable pieces. Food Technology 16(5):143
19. ESPINOZA, B. Y. 1980. Procesamiento de maíz por el método de expansión por explosión. Tesis Ind Alim, UNA La Molina. pp 23-30, 44-49, 90-93.
20. ESPINOZA, P. E. 1995. Determinación de la vida útil en anaquel de wafers (obleas rellenas) mediante pruebas aceleradas. Tesis Ind Alim, UNA La Molina. 98 p
21. FAIRES, V. M. 1980. Termodinámica. 3 ed, UTEHA, México. pp 630-635.
22. FAO. 1981. Análisis microbiológicos. Manuales para el control de calidad de alimentos. Vol 4. Método D.1, D.2 y D.12. FAO, Roma, Italia.
23. FELLOWS, P. 1994. Tecnología del procesado de los alimentos. Principio y prácticas. Acribia, Zaragoza, España. pp 273-276.
24. FENNELMA, O. R. 1994. Química de los alimentos. Acribia, Zaragoza, España. pp 80-99.
25. GONZALES, R. 1977. La extrusión en la tecnología de alimentos. Instituto de Tecnología de Alimentos. p 115-133. V 2, Nº 1.

26. **GUIA DE práctica**, 1992. Método ASTM para hallar la permeabilidad de un empaque flexible. Curso ingeniería de alimentos avanzada. Escuela de Posgrado, Especialidad tecnología de alimentos. UNA La Molina. Lima, 9 p.
27. **HARRIS, R.** 1971. Nutritional evaluation of food processing. The AVI Publishing Company. pp 84-99.
28. **HART, F.; FISHER, H. J.** 1993. Análisis moderno de los alimentos. Acribia, Zaragoza, España. pp 83, 415-416.
29. **HEILAND, W. K.; SULLIVAN, J. F.; KONSTANCE, R. P.; CRAIG, J. C., Jr; CORDING, J., Jr; ACETO, N. C.** 1977. A continuous explosion puffing system. Food Technology 31(11):32
30. **INSTITUTO CULTURAL ABNER BIRCHER (ICABB).** 1993. Valor nutritivo de los alimentos. Lima, Perú. pp 8-10
31. **ITINTEC.** 1976. Harinas sucedáneas procedentes de tubérculos y raíces. Lima, 3 p. Norma técnica nacional N° 205.043.
32. **ITINTEC.** 1976. Harinas sucedáneas de trigo. Determinación de acidez titulable. Lima, 3 p. Norma técnica nacional N° 209.039
33. **KENT, N.** 1987. Tecnología de los cereales. Acribia, Zaragoza, España. pp 125-131, 144-149.

34. LABUZA, T. P.; KANANE, A.; CHEN, J. Y. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. J. Food Sci. Vol 50.
35. LEANDRO, M. A. 1981. Bromatología. 2 ed, Eudeba, Buenos Aires, Argentina, pp 120-121. V. 1.
36. LEES, L. 1982. Análisis de los alimentos. Métodos analíticos y control de calidad. 2 ed, Acribia, Zaragoza, España. pp 60-62.
37. LIENDO, M. C. 1993. Ajuste de isoterma de adsorción de puré de papa y puré de camote en hojuelas mediante la utilización de modelos de sorción, Tesis Ing. Industrias alimentarias. UNA La Molina. pp 25-28.
38. MACKEY, C. A.; FLORES, M. I.; SOSA, C. M. 1984. Evaluación sensorial de los alimentos. 2 ed, San Felipe, Venezuela, pp 33-34, 82.
39. MATZ, S. 1969. The chemistry and technology of cereals as food and feed. The AVI Publishing Company, INC. pp 21-29.
40. MATZ, S. 1976. Snack Food Technology. The AVI Publishing Company, INC. pp 23-35
41. MEHLENBACHER, V. C. 1970. Análisis de grasas y aceites. Trad. por José Ramón Lara. URMO, Bilbao, España. pp 235-244. Enciclopedia de la Química Industrial, V 6.

42. MONTALDO, A. 1979. La yuca o mandioca. Instituto Americano de Ciencias Agrícolas. San José de Costa Rica.
43. MORI, M. E. E. 1985. Análise sensorial dos alimentos. Instituto de Tecnologia de alimentos. Campinas, Brasil, pp 1-49.
44. NOGUCHI, A. W. KUMIMIYA AND SAIO. 1981. Physical and chemical characteristic of extruded rice flour and rice flour fortified with soybean protein isolate. J. Food Sci. Vol 47.
45. PEARSON, D. 1986. Técnicas de laboratorio para el Análisis de Alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
46. PELAEZ, S. P. 1988. Estudio técnico comparativo en la elaboración de harina de tres variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz) para su uso en panificación. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. UNAS. Tingo María, 138 p.
47. POTTER, N. 1974. Ciencia de los alimentos. México DF, México, Edutex. pp 524-527.
48. QUAGLIA, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. 2 ed, Acribia, Zaragoza, España. 485 p.
49. SEMNARIO, S. L. 1990. Elaboración de griz de manzana, mediante el método de expansión por explosión. Tesis Ing. UNA La Molina, Lima Perú. pp 11-24.

50. SCHWELGART, ERICKERT Y TWISK P. VAN. 1969. The puffing of South African maize. Food Industries of South Africa. pp 144-163.
51. STEEL, R. G.; TORRIE, J. H. 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2 ed, McGraw Hill, México, pp 328-363.
52. SULLIVAN, J. F.; CORDING, J., JR; ESKEW, R. K.; HEILAND, W. K. 1965. Superheated steam aids explosive puffing. Food engineering 37(10): 1965
53. SULLIVAN, J. F.; KONSTANCE, R. P.; ACETO, N. C.; HEILAND, W. K.; CRAIG, J., Jr. 1977. Continuous explosion puffing of potatoes. J. Food Sci. 42(6):1462
54. SULLIVAN, J. F.; KONSTANCE, R. P.; DELLA MONICA, E. S.; HEILAND, W. K.; CRAIG, J. C., Jr. 1981. Carrot dehydration - Optimization process studies on the explosion puffing process, J. Food Sci. 46(5):1537
55. VALERIANO, C. 1978. Estudio botánico de mandioca. Instituto Biológico de Bahía. Boletín 1.
56. WILSON, CH. 1965. Dehydrated celery. Improvement in texture and rehydration. Food Technology.
57. ZECEVICH, A. T. 1984. Estudio tecnológico de obtención de harina de maíz (Zea mays L) variedad Cuban Yellow. Efectos de su preparación y niveles de sustitución en la elaboración de pan. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. UNAS. Tingo María. 140 p.

ANEXOS

Anexo A. ANVA para los productos expandidos elaborados, sustituyendo parcialmente la harina de trigo por la harina de yuca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
M	3	3.46592	1.115531	20538.81	0.0001	**
P	3	1.07762	0.35921	6385.93	0.0001	**
M*P	9	0.45075	0.05008	890.37	0.0001	**
Error	16	0.00090	0.00006			
Total	31	4.995200				

R ²	C.V.	ECM	Media
0.999820	0.294985	0.007500	2.54250000

Anexo C. ANVA para determinar la humedad crítica del producto expandido.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	7	172.85938	24.6942	28.97	0.0001	**
Panelistas	7	47.60938	6.8013	7.98	0.0001	**
Error	49	41.76562	0.8523			
Total	63	262.23438				

** = Altamente significativo

R ²	C.V.	ECM	Media
0.840732	18.87761	0.923233	4.89062500

Anexo D. ANVA de la apariencia general de los productos expandidos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	2	4.59259	2.29630	2.65	0.0848	NS
Panelistas	17	15.64815	0.92048	1.06	0.4230	NS
Error	34	29.40740	0.864923			
Total	53	49.64814				

NS = No significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.407684	25.23653	0.930013	3.68518519

Anexo E. ANVA del atributo color de los productos expandidos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	2	2.81481	1.40741	2.68	0.0830	NS
Panelistas	17	9.25926	0.54466	1.04	0.4469	
Error	34	17.85185	0.52505			
Total	53	29.92592				

NS = No significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.403465	18.28446	0.724606	3.96296296

Anexo F. ANVA del atributo textura de los productos expandidos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	2	4.148148	2.074074	3.04	0.0609	NS
Panelistas	17	11.259259	0.662309	0.97	0.5086	NS
Error	34	23.185185	0.681917			
Total	53	38.592592				

NS = No significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.399232	22.75116	0.825783	3.62962963

Anexo G. ANVA del atributo olor de los productos expandidos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F_c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	2	26.333333	13.166666	34.44	0.0001	**
Panelistas	17	8.166667	0.480392	1.26	0.2772	
Error	34	13.000000	0.382353			
Total	53	47.500000				

** = Altamente significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.726316	16.13079	0.618347	3.83333333

Anexo H. ANVA del atributo sabor de los productos expandidos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F_c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	2	17.370370	8.685185	19.31	0.0001	**
Panelistas	17	6.092593	0.358388	0.80	0.6850	
Error	34	15.296296	0.449891			
Total	53	38.759259				

** = Altamente significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.605351	17.66825	0.670739	3.79629630

Anexo I. ANVA para la variación de la humedad del producto expandido almacenado al medio ambiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	3	0.135958	0.045319	3.04	0.0928	NS
Error	8	0.119333	0.014917			
Total	11	0.255291				

NS = No significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.532561	1.893792	0.122134	6.44916667

Anexo J. ANVA para la variación de la humedad del producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a la temperatura del medio ambiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	3	5.597500	1.865833	275.06	0.0001	**
Error	8	0.054267	0.006783			
Total	11	5.651767				

** = Altamente significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.990398	1.180239	0.082361	6.97833333

Anexo K. ANVA para la variación del índice de peróxido de la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, almacenado en una humedad relativa y temperatura del medio ambiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F_c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	3	0.203225	0.067742	140.16	0.0001	**
Error	8	0.003867	0.000483			
Total	11	0.207092				

** = Altamente significativo.

R^2	C.V.	ECM	Media
0.981329	19.25680	0.021985	0.11416667

Anexo L. ANVA para la variación del índice de peróxido de la cobertura de chocolate que reviste al producto expandido, almacenado en un medio saturado de vapor de agua a la temperatura del medio ambiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F_c	Pr>F	Significancia
Tratamientos	3	1.304158	0.434719	260.83	0.0001	**
Error	8	0.013333	0.001667			
Total	11	1.317491				

** = Altamente significativo.

R^2	C.V.	ECM	Media
0.989880	9.587044	0.040825	0.42583333

Anexo M. ANVA para la influencia de niveles de sustitución de las harinas en el índice de expansión del producto (cm³), a 130 lb/pulg², utilizando harinas frescas

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F _c	Pr>F	Sig.
Tratamientos						
(niveles de sustitución)	3	2.0200	0.67330	13468.67	0.0001	**
Error	4	0.0002	0.00005			
Total	7					

** = Altamente significativo.

R ²	C.V.	ECM	Media
0.999901	0.2494	0.007071	2.835

Anexo N. Determinación de las isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción se determinaron por el método gravimétrico estático de soluciones de sales saturadas, citado por Labuza (1985); cuyas soluciones se indican en el siguiente cuadro:

Solución saturada	aw
Acidos sulfúrico	0.000
Cloruro de litio	0.113
Cloruro de magnesio	0.331
Carbonato de potasio	0.443
Nitrato de sodio	0.653
Sulfato de amonio	0.803
Cromato de potasio	0.870
Sulfato de potasio	0.969

Las soluciones de sales saturadas antes mencionadas, fueron colocadas en envases de polietileno de 360 cc de capacidad (6 x 6 x 10 cm) acondicionados para tal fin y utilizando una muestra de 0.25 g para luego ser cerrados herméticamente (El método original menciona colocarlos dentro de una campana de desecación).

Anexo O. Características del software para determinación de vida útil para alimentos de baja humedad (Programa creado en lenguaje Qbasic)

DECLARE SUB REGRESION (MM!(), HRR!(), AI, BI, NI)

```
CLS
SCREEN 0
COLOR 11, 1
LOCATE 5, 15: PRINT "*****"
LOCATE 6, 15: PRINT **
LOCATE 7, 15: PRINT ** ESTE PROGRAMA PERMITE ESTIMAR EL TIEMPO DE VIDA **
LOCATE 8, 15: PRINT ** UTIL DE ALIMENTOS SENSIBLES A LA HUMEDAD **
LOCATE 9, 15: PRINT ** PARA LO CUAL REQUIERE DE UNA SERIE DE DATOS **
LOCATE 10, 15: PRINT ** P P P S **
LOCATE 11, 15: PRINT ** 1. ES NECESARIO DETERMINAR LA HUMEDAD CRITICA **
LOCATE 12, 15: PRINT ** 2. LA ISOTERMA DE ADSORCION DEL PRODUCTO **
LOCATE 13, 15: PRINT **
LOCATE 14, 15: PRINT ** P P P S **
LOCATE 15, 15: PRINT "*****"
SCREEN 0
COLOR 26, 8
LOCATE 19, 22: INPUT " PRESIONE ENTER PARA REGRESAR AL MENU ", EN1
IF EN1 = ENTER GOTO MENU
```

MENU:

```
CLS
COLOR 4, 7
PRINT TAB(20); "*****"
PRINT TAB(35); " **** MENU **** "
PRINT TAB(20); " ESTE PROGRAMA ESTIMA EL TIEMPO DE VIDA UTIL DE "
PRINT TAB(20); " DE UN ALIMENTO EMPACADO SENSIBLE A LA HUMEDAD "
PRINT TAB(20); "
COLOR 7, 4
LOCATE 9, 20: PRINT " » "
LOCATE 10, 20: PRINT " ° * SUBPROGRAMA DE CALCULO DEL "
LOCATE 11, 20: PRINT " ° TIEMPO DE VIDA UTIL >>> (1) "
LOCATE 12, 20: PRINT " ° "
LOCATE 13, 20: PRINT " ° * FINALIZACION >>> (2) "
LOCATE 14, 20: PRINT "*****"
COLOR 7, 0
PRINT : LOCATE 18, 20: PRINT " INTRODUCIR LA OPCION DESEADA "
ELECCION1:
W$ = INKEY$: IF W$ = "" THEN GOTO ELECCION1
IF W$ = "ENTER" THEN GOTO 15
IF W$ = "1" THEN GOSUB CALCULO: GOTO MENU
IF W$ = "2" THEN GOSUB FINALIZAR: GOTO FINALIZAR
15 GOTO MENU
```

CALCULO:
CLS

```
'=====ENTRADA DE DATOS=====
VIEW PRINT 7 TO 24
DO
CLS
CLEAR
```

```
COLOR 3, 0
LOCATE 8, 25: PRINT "ENTRADA DE INFORMACION": COLOR 15, 0

LOCATE 10, 10: PRINT "PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (g-mil/m2-dia-mmHg)=
LOCATE 10, 64: INPUT PE

LOCATE 12, 10: PRINT "AREA DEL EMPAQUE (m2) = "
LOCATE 12, 36: INPUT AA

LOCATE 14, 10: PRINT "ESPESOR DEL MATERIAL (mil) = "
LOCATE 14, 41: INPUT L

LOCATE 18, 10: PRINT "HUMEDAD RELATIVA EXTERNA (%) = "
LOCATE 18, 42: INPUT HRE

LOCATE 18, 10: PRINT "HUMEDAD INICIAL (% BASE SECA) = "
LOCATE 18, 42: INPUT M0

LOCATE 20, 10: PRINT "PRESION DE SATURACION DEL VAPOR DE AGUA "
LOCATE 21, 10: PRINT "A LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (mmHg) = "
LOCATE 21, 55: INPUT PS
```

CLS

```
LOCATE 8, 10: PRINT "INCREMENTO DE TIEMPO (dias) = "
LOCATE 8, 41: INPUT DELTAT
```

```
LOCATE 10, 10: PRINT "PESO DEL PRODUCTO (g) = "
LOCATE 10, 35: INPUT D
```

```
LOCATE 12, 10: PRINT "HUMEDAD MAXIMA PERMISIBLE (% base seca) = "
LOCATE 12, 52: INPUT MF
```

```
=====ENTRADA DE INFORMACION PARA LA ISOTERMA DE ADSORCION=====
CLS
```

```
COLOR 3, 0
LOCATE 9, 28: PRINT "ISOTERMA DE ADSORCION": COLOR 15, 0
```

```
LOCATE 12, 15: PRINT " NUMERO DE PARES DE PUNTOS (HUMEDAD - HR) = "
LOCATE 12, 58: INPUT NUM
```

```
DIM M(NUM), HR(NUM)
```

```
LOCATE 12, 15: PRINT SPACE$(50)
```

```
LOCATE 11, 15: PRINT STRING$(50, 196)
LOCATE 12, 20: PRINT "CONTENIDO DE HUMEDAD"
LOCATE 12, 50: PRINT "H.R."
```

```
LOCATE 13, 23: PRINT "(% base seca)"
LOCATE 13, 50: PRINT "(%)"
```

```
LOCATE 14, 15: PRINT STRING$(50, 196)
```

```
NUMP = NUM + 14
```

```
FOR I = 15 TO NUMP
```

J = J + 1

LOCATE I, 25: INPUT M(J)
LOCATE I, 49: INPUT HR(J)

NEXT I

LOCATE NUMP + 1, 15: PRINT STRING\$(50, 196)

COLOR 31, 0
LOCATE 23, 5: PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR....."
COLOR 3, 0

DO
LOOP WHILE INKEY\$ = ""

'=====VISUALIZACION DE LOS DATOS DE ENTRADA=====
CLS

PRINT TAB(15); "CALCULO DE LA VIDA DE ALMACENAMIENTO DE UN PRODUCTO" *
PRINT TAB(15); " SENSIBLE A LA HUMEDAD" *

PRINT : PRINT

PRINT TAB(10); " DATOS : "
PRINT TAB(10); STRING\$(7, 196)
PRINT
PRINT TAB(10); "** PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (g-mil/m²-dia-mmHg) =" ; PE
PRINT
PRINT TAB(10); "** AREA DEL EMPAQUE (m²)" ="; AA
PRINT
PRINT TAB(10); "** ESPESOR DEL MATERIAL (mil)" ="; L
PRINT
PRINT TAB(10); "** HUMEDAD RELATIVA EXTERNA (%)" ="; HRE
PRINT
PRINT TAB(10); "** CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL (% BASE SECA)" ="; M0
PRINT
PRINT TAB(10); "** PRESION DE SATURACION DEL VAPOR DE AGUA"
PRINT TAB(10); " A LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (mmHg)" ="; PS
PRINT
PRINT TAB(10); "** INCREMENTO DE TIEMPO (dias)" ="; DELTAT
PRINT
PRINT TAB(10); "** PESO DEL PRODUCTO (g de materia seca)" ="; D
PRINT
PRINT TAB(10); "** CONTENIDO DE HUMEDAD MAXIMA PERMITIBLE (% base seca) =" ; MF
PRINT : PRINT

COLOR 3, 0
LOCATE 23, 5: PRINT " PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR....."
COLOR 15, 0

DO
LOOP WHILE INKEY\$ = ""

'=====VISUALIZACION DE LOS DATOS DE LA ISOTERMA=====
CLS

PRINT TAB(30); "ISOTERMA DE ADSORCION"

PRINT

PRINT TAB(20); STRING\$(40, 196)
PRINT TAB(25); "CONT. DE HUMEDAD"; TAB(48); "H.R."
PRINT TAB(27); "{%base seca}"; TAB(48); "{%}"
PRINT TAB(20); STRING\$(40, 196)
FOR J = 1 TO NUM

PRINT TAB(28); USING "###.###"; M(J);
PRINT TAB(48); USING "###"; HR(J)

NEXT J

PRINT TAB(20); STRING\$(40, 196)

COLOR 31, 0
LOCATE 23, 5: PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR....."
COLOR 15, 0

DO
LOOP WHILE INKEY\$ = " "

=====REGRESION LINEAL DE LA FUNCION ISOTERMA=====

CLS 2

COLOR 31, 0
LOCATE 22, 5: PRINT "CALCULANDO"
COLOR 15, 0

CALL REGRESION(M(), HR(), A, B, NUM)

=====VISUALIZACION DE LAS CONSTANTES DE LA FUNCION ISOTERMA=====

CLS 2

PRINT : PRINT

PRINT TAB(20); "REGRESION LINEAL DE LOS DATOS DE LA ISOTERMA : "
PRINT : PRINT

PRINT TAB(25); "CONSTANTES : "
PRINT

PRINT TAB(30); "A="; A; TAB(50); "B="; B
PRINT : PRINT : PRINT

PRINT TAB(25); "FUNCION ISOTERMA : "
PRINT
PRINT TAB(30); "M = "; A; " + "; B; " * HR "
PRINT : PRINT : PRINT

COLOR 31, 0
LOCATE 23, 5: PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR....."
COLOR 15, 0

DO
LOOP WHILE INKEY\$ = " "

=====DETERMINACION DE LA VIDA DE ALMACENAMIENTO=====

CLS 2

HR0 = (M0 - A) / B HUMEDAD RELATIVA INICIAL

HR = HR0

M = M0

K = (PE * (AA / L) * (PS / 100) * DELTAT) / (D * B / 100)

PRINT : PRINT

PRINT TAB(13); "DETERMINACION DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO"

PRINT

PRINT TAB(10); STRING\$(50, 196)

PRINT TAB(17); "H.R."; TAB(28); "CONT. DE HUMEDAD"; TAB(50); "TIEMPO"

PRINT TAB(17); "(%)"; TAB(30); "(% base seca)"; TAB(50); "(dias)"

PRINT TAB(10); STRING\$(50, 196)

DO

PRINT TAB(16); USING "###.##"; HR;

PRINT TAB(33); USING "###.##"; M;

IF M > MF THEN

TIEMPO = TIEMPO - DELTAT

PRINT TAB(51); "****"

EXIT DO

ELSE

PRINT TAB(51); USING "####.#"; TIEMPO

END IF

HR = K * HRE + (1 - K) * HR

M = A + B * HR

TIEMPO = TIEMPO + DELTAT

LOOP

PRINT TAB(10); STRING\$(50, 196)

PRINT

PRINT TAB(16); "K = ";

PRINT TAB(22); USING "####.####"; K

PRINT : PRINT

=====VISUALIZACION DE LA RESPUESTA=====

COLOR 31, 0

LOCATE 23, 5: PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR....."

COLOR 15, 0

DO

LOOP WHILE INKEY\$ = ""

CLS 2

PRINT : PRINT : PRINT

PRINT TAB(10); "La vida de almacenamiento es "; TIEMPO; "días"

DO

LOCATE 22, 5: PRINT " DESEA REALIZAR OTRO CALCULO (S/N) ??"

LOCATE 22, 42: B\$ = INPUT\$(1)

LOCATE 22, 42: PRINT B\$

A\$ = UCASE\$(B\$)

IF A\$ = "S" THEN

S\$ = "CONTINUA"

ELSEIF A\$ = "N" THEN

EXIT DO

ELSE

BEEP

END IF

LOOP WHILE A\$ <> "S"

LOOP WHILE S\$ = "CONTINUA"

LOCATE 20, 26: PRINT " *** FIN DEL PROCESO *** "

COLOR 1

END

FINALIZAR:

CLS

SCREEN 0

COLOR 17, 3

LOCATE 20, 26: PRINT " *** FIN DEL PROCESO *** "

COLOR 1

END

SUB REGRESION (MM(), HRR(), A, B, N)

FOR I = 1 TO N

sum1 = sum1 + MM(I) * HRR(I)

sum2 = sum2 + MM(I)

sum3 = sum3 + HRR(I)

sum4 = sum4 + HRR(I) ^ 2

NEXT I

B = (N * sum1 - sum2 * sum3) / (N * sum4 - sum3 ^ 2)

A = (sum2 - B * sum3) / N

END SUB