



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Campus Santo Domingo de los Colorados

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis previa a la obtención del título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

**APLICACIÓN DE LA ENZIMA XILANASA A LA HARINA DE TRIGO PARA
MEJORAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y
ORGANOLÉPTICAS DEL PAN EN LA UTE SANTO DOMINGO 2008**

Estudiante:

DARWIN FRANKLIN REYES BELTRÁN

Director de Tesis

Dr. JAVIER CAISAGUANO

SANTO DOMINGO – ECUADOR

Julio, 2009

**APLICACIÓN DE LA ENZIMA XILANASA A LA HARINA DE TRIGO PARA
MEJORAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y
ORGANOLÉPTICAS DEL PAN EN LA UTE SANTO DOMINGO 2008**

Dr. JAVIER CAISAGUANO

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Ing. Daniel Anzúles

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Elsa Burbano Clark

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Olga Pérez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo de los Colorados.....de.....del 2009

Autor: DARWIN FRANKLIN REYES BELTRÁN

Institución: Universidad Tecnológica Equinoccial

Título de tesis: Aplicación de la enzima xilanasa a la harina de trigo para mejorar las propiedades reológicas de la masa y organolépticas del pan en la UTE Santo Domingo 2008

Fecha: Julio 2008 – Julio 2009

Del contenido del presente documento
Se responsabiliza el autor.

Darwin Franklin Reyes Beltrán

Santo Domingo de los Colorados.....de.....del 2009

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Campus Santo Domingo de los Colorados

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS

Santo Domingo de los Colorados,

Ingeniero

Daniel Anzules

COORDINADOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Presente

Mediante el presente, informo a usted que el señor Darwin Franklin Reyes Beltrán, ha cumplido con los requisitos pertinentes para la elaboración de la tesis de grado que lleva de título **“APLICACIÓN DE LA ENZIMA XILANASA A LA HARINA DE TRIGO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y ORGANOLÉPTICAS DEL PAN EN LA UTE SANTO DOMINGO 2008”**, por lo tanto, la tesis esta lista para ser entregada y publicada.

Particular que le comunico para los fines consiguientes.

Atentamente.

Dr. JAVIER CAISAGUANO
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios por permitirme estar vivo en estos momentos y poder culminar con mi carrera universitaria, a mi madre Piedad Beltrán por darme la vida y por siempre preocuparse por mi apoyándome y confiando siempre ya que con sus consejos y alientos de ánimo hizo posible que terminara con mi carrera, siempre se lo agradeceré toda la vida ya que gracias a ella soy lo que soy, a mi padre Franco Reyes por haberme dado todo el apoyo que estuvo en sus manos para poder terminar todos mis estudios.

A mis hermanos, Franco y Miguel por haberme brindado todo su apoyo y cariño.

Gracias por confiar en mí.

Darwin Franklin Reyes Beltrán.

AGRADECIMIENTO

A mi madre que a pesar de que no la tengo cerca se que siempre contare con su apoyo.

De manera especial agradezco a Patricia Vélez, que supo brindarme su amor y confianza, ya que siempre estuvo animándome, dándome fuerzas, durante mi vida y en la culminación de mi tesis, muchas gracias mi amor.

De manera general agradezco a todos los docentes que me brindaron todos sus conocimientos en toda mi etapa de estudio universitario.

Al Ingeniero Daniel Anzules coordinador de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la UTE, por haber sido una guía en toda la carrera universitaria.

Al Dr. Javier Caisaguano quien fue mi director de tesis ya que gracias a sus conocimientos, consejos y apoyo me supo guiar y así poder terminar mi tesis.

A mis mejores amigos Luis Villavicencio, Patricio Guaña, Daniel Romero, Roque Loor, Pablo Medranda, Jaime Terán, Fernando Minga, Marden Córdova, Álvaro Villa, y muchos más que no los nombro pero que siempre los recuerdo, con quienes compartí toda mi vida universitaria.

A todos ustedes Muchas Gracias.

ÍNDICE

Portada.....	i
Hoja de sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	ii
Hoja de responsabilidad del autor.....	iii
Informe de aprobación del director de tesis.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice.....	vii
Resumen.....	xvi
Summary.....	xvii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes.....	1
1.1.1.	Antecedentes históricos.....	1
1.1.2.	Antecedentes científicos.....	2
1.1.3.	Antecedentes prácticos.....	2
1.1.4.	Importancia del estudio.....	3
1.1.5.	Situación actual del tema de investigación.....	4
1.2.	Limitaciones del estudio.....	4
1.3.	Alcance del trabajo.....	4
1.4.	Objeto de estudio.....	5
1.5.	Objetivos.....	5
1.5.1.	Objetivo general.....	5
1.5.2.	Objetivos específicos.....	5
1.6.	Justificación.....	6
1.7.	Hipótesis.....	7
1.7.1.	Hipótesis alternativa.....	7

1.7.2.	Hipótesis nula.....	7
1.8.	Población y muestra.....	7

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1.	Enzimas en panificación.....	8
2.1.1.	Funciones de las enzimas más utilizadas en panificación.....	8
2.1.2.	Pentosanas.....	9
2.1.2.1.	Xilanas.....	9
2.1.2.2.	Estructura química de los pentosanos.....	10
2.1.2.3.	Gelación oxidativa.....	11
2.1.2.4.	Interacción proteína-pentosano.....	12
2.1.2.5.	Actuación en el proceso de panificación.....	13
2.1.2.6.	Evaluación de la actividad xilanásica.....	15
2.1.2.7.	Efectos reológicos.....	16
2.1.2.7.1.	Alveógrafo chopin.....	16
2.1.2.7.2.	Farinógrafo Brabender.....	17
2.2.	Cereales y derivados.....	19
2.2.1.	Estructura del grano del cereal.....	19
2.3.	La harina.....	20
2.3.1.	Componentes de la harina.....	20
2.3.2.	Tipos de harina.....	22
2.3.3.	Harinas duras y blandas.....	22
2.3.3.1.	Las harinas duras.....	22
2.3.3.2.	Las harinas blandas o débiles.....	23
2.3.4.	Según su contenido proteico.....	23
2.3.5.	Harinas según su uso.....	23
2.3.6.	Grado de extracción.....	24
2.3.7.	Clasificación.....	25

2.3.7.1.	Tipo I. Harina de trigo duro.....	25
2.3.7.2.	Tipo II. Harina de trigo suave.....	25
2.3.7.3.	Tipo III. Harina integral.....	26
2.3.7.4.	Tipo IV. Harina de trigo durum.....	26
2.3.7.5.	Harina clase A, corriente.....	26
2.3.7.6.	Harina clase B, enriquecida.....	26
2.3.8.	Conservación de la harina.....	27
2.3.8.1.	Condiciones óptimas de almacenamiento.....	27
2.3.9.	Evaluación de la calidad panadera de la harina.....	27
2.4.	El pan.....	28
2.4.1.	Historia del pan.....	28
2.4.2.	Tipos de pan.....	29
2.4.3.	Ingredientes básicos.....	31
2.4.3.1.	El agua.....	32
2.4.3.1.1.	Funciones.....	32
2.4.3.2.	La sal.....	33
2.4.3.2.1.	Funciones.....	33
2.4.3.3.	Azúcares y endulzantes.....	34
2.4.3.3.1.	Funciones.....	34
2.4.3.4.	Los mejorantes.....	35
2.4.3.4.1.	Composición.....	36
2.4.3.4.2.	Tipos de mejorantes.....	36
2.4.3.5.	La levadura.....	36
2.4.3.5.1.	Funciones.....	37
2.4.3.5.2.	Tipos de levaduras.....	37
2.4.3.5.3.	Dosificación y su efecto en la fuerza de la masa.....	38
2.4.3.5.4.	Almacenamiento de la levadura.....	38
2.4.3.5.5.	Influencia de la temperatura en la levadura.....	39
2.4.3.6.	La materia grasa.....	39
2.4.3.6.1.	Tipos de grasas.....	39
2.4.3.6.2.	Funciones.....	40
2.4.3.6.3.	El lado negativo.....	40

2.4.3.7.	La leche.....	40
2.4.3.7.1.	Funciones.....	41
2.5.	Operaciones unitarias que intervienen en el proceso.....	41
2.5.1.	Cocción.....	41
2.5.2.	Fenómenos que se producen en la masa durante la cocción.....	42
2.5.3.	Tipos de hornos.....	44
2.5.3.1.	Hornos de solera fija metálicos.....	44
2.5.3.2.	Hornos de carros rotativos.....	46

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.	Aspectos metodológicos del estudio.....	48
3.1.1.	Ubicación.....	48
3.1.2.	Tipo de investigación.....	48
3.1.3.	Método de investigación.....	48
3.1.4.	Fuentes y técnicas de investigación.....	49
3.2.	Materiales, equipos y materia prima para cada uno de los procesos en el laboratorio.....	49
3.2.1.	Materiales.....	49
3.2.2.	Equipos.....	50
3.2.3.	Materia prima.....	50
3.3.	Caracterización de harinas.....	50
3.4.	Evaluación de la actividad enzimática de la enzima xilanasas.....	51
3.4.1.	Ensayo de evaluación: según rouau y moreau (7).....	51
3.4.1.1.	Diagrama de flujo actividad xilanólítica.....	52
3.4.1.2.	Descripción del ensayo.....	53
3.4.1.3.	Preparación de la solución enzimática.....	53
3.4.1.4.	Pesada y amasado de la harina.....	53
3.4.1.5.	Lavado y filtrado.....	53

3.5.	Diagrama de flujo cualitativo para la elaboración de pan molde a nivel de laboratorio.....	54
3.5.1.	Descripción del proceso.....	55
3.5.1.1.	Recepción.....	55
3.5.1.2.	Pesado.....	55
3.5.1.3.	Amasado.....	55
3.5.1.4.	Fermentación conjunta.....	56
3.5.1.5.	Boleo.....	56
3.5.1.6.	Reposo intermedio.....	56
3.5.1.7.	Formación.....	56
3.5.1.8.	Fermentación cámara.....	56
3.5.1.9.	Horneado.....	56
3.5.1.10.	Enfriamiento.....	57
3.5.1.11.	Empaquetado.....	57
3.5.1.12.	Almacenado.....	57
3.6.	Control de calidad del pan.....	58
3.6.1.	Análisis bromatológica del pan.....	58
3.6.2.	Análisis físico o sensorial del pan.....	58
3.6.3.	Análisis microbiológico del pan.....	59
3.6.3.1.	Análisis microbiológico del pan con 0 días de almacenamiento.....	59
3.6.3.2.	Análisis microbiológico del pan a los 15 días de almacenamiento.....	60
3.7.	Diseño experimental.....	61
3.7.1.	Determinación del mejor tratamiento.....	61
3.7.2.	Combinación de los tratamientos experimentales.....	62
3.7.3.	Resultados de los análisis realizados.....	63
3.8.	Formulaciones para determinar la mejor cantidad de enzima xilanasas necesarias para la elaboración de pan molde.....	72
3.8.1.	Formulaciones.....	73
3.8.2.	Determinación de la mejor formulación.....	73

CAPITULO IV
CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Análisis de las encuestas.....	74
4.1.1.	Color.....	74
4.1.2.	Olor.....	75
4.1.3.	Sabor.....	76
4.1.4.	Textura.....	77
4.1.5.	Elección de la mejor formulación de enzima xilanasa para la elaboración del pan.....	78
4.2.	Cálculos y resultados del balance de materia para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.....	78
4.2.1.	Diagrama de flujo cuantitativo para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.....	78
4.2.2.	Balance de materia para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.....	81
4.3.	Balance de energía en el horneado a nivel de laboratorio.....	88
4.3.1.	Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor a nivel laboratorio..	90
4.3.1.1.	Cantidad de calor teórico experimental.....	90
4.3.1.2.	Calor práctico que absorbe el producto.....	91
4.3.1.3.	Calor total de las paredes.....	91
4.3.1.4.	Eficiencia del secado.....	96
4.3.1.5.	Calculo del coeficiente global de transferencia de calor.....	96
4.3.2.	Curva de secado.....	97
4.3.2.1.	Pérdida de humedad total.....	99
4.3.2.2.	Contenido de humedad.....	99
4.3.2.3.	Velocidad de secado.....	100
4.3.3.	Rendimiento.....	101
4.3.3.1.	Rendimiento del producto, pan molde.....	101

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	102
5.2.	Recomendaciones.....	104
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Substancias de enriquecimiento.....	26
Cuadro 2	Caracterización de harinas.....	51
Cuadro 3	Ensayo de evaluación de la actividad xilanolítica.....	52
Cuadro 4	Análisis bromatológica del pan.....	58
Cuadro 5	Análisis físico o sensorial del pan.....	58
Cuadro 6	Análisis microbiológico del pan con 0 días de almacenamiento.....	59
Cuadro 7	Análisis microbiológico del pan a los 15 días de almacenamiento.....	60
Cuadro 8	Factores y niveles de estudio	62
Cuadro 9	Combinación de los tratamientos experimentales.....	62
Cuadro 10	Formulaciones de cantidad de enzima xilanasas necesaria para el pan.....	73
Cuadro 11	Puntuaciones del color del pan.....	74
Cuadro 12	Puntuaciones del olor del pan.....	75
Cuadro 13	Puntuaciones del sabor del pan.....	76
Cuadro 14	Puntuaciones de la textura del pan.....	77
Cuadro 15	Datos experimentales para la curva de secado.....	97
Cuadro 16	Pérdida de humedad total (xt).....	99
Cuadro 17	Contenido medio de humedad.....	99
Cuadro 18	Velocidad de secado.....	100
Cuadro 19	Rendimiento del producto.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Xilanasa.....	10
Gráfico 2	Representación de la molécula de pentosanos solubles.....	11
Gráfico 3	Molécula de ácido ferúlico.....	12
Gráfico 4	Estructura hipotética de las glucoproteínas en la harina de trigo.....	12
Gráfico 5	Interacción proteína-pentosano.....	13
Gráfico 6	Hidrólisis de los pentosanos que facilitan una mayor flexibilidad de la red.....	14
Gráfico 7	Alveógrafo chopin.....	16
Gráfico 8	Curva tipo de un alveograma.....	16
Gráfico 9	Farinógrafo brabender.....	17
Gráfico 10	Curva tipo de un farinograma.....	18
Gráfico 11	Estructura de un grano de trigo.....	19
Gráfico 12	Fenómenos que se producen en la masa durante la cocción.....	43
Gráfico 13	Hornos de reciclaje térmico.....	44
Gráfico 14	Hornos de tubos de vapor.....	45
Gráfico 15	Hornos eléctricos.....	46
Gráfico 16	Hornos de carros rotativos.....	47
Gráfico 17	Resultado estadístico sobre el color del pan.....	74
Gráfico 18	Resultado estadístico sobre el olor del pan.....	75
Gráfico 19	Resultado estadístico sobre el sabor del pan.....	76
Gráfico 20	Resultado estadístico sobre la textura del pan.....	77
Gráfico 21	Velocidad de secado vs tiempo.....	100
Gráfico 22	Curva de Secado.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Análisis de varianza de bloques completamente al azar para datos de tiempo de estiramiento de la proteína.....	63
---------	--	----

Tabla 2	Análisis de varianza de bloques completamente al azar para datos de distancia de estiramiento del gluten.....	65
Tabla 3	Análisis de varianza para evaluar la capacidad de absorción de agua.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I	Métodos de análisis.....	108
Anexo II	Resultados del diseño experimental.....	133
Anexo III	Fotografías.....	139
Anexo IV	Encuestas.....	143
Anexo V	Normas INEN para pan.....	145

RESUMEN

El presente trabajo enfatiza en el uso de la enzima xilanasa en panificación ya que radica en la optimización de las propiedades reológicas y fermentativas de la masa. El uso de las enzimas permite mejorar la calidad de los productos elaborados, tanto cuantitativa como cualitativamente, dando lugar a un incremento de volumen de la pieza panadera, una mejora en las características externas (corteza, simetría, color) e internas (textura, firmeza de la miga, color, alveolo, conservación).

Esta investigación pretende dar una visión lo más cercana y profunda posible de las nuevas tendencias enzimáticas aplicadas a la panificación y de las ya conocidas en las últimas décadas.

Para evaluar la eficiencia de la enzima xilanasa sobre la masa panaria se consideró como variables independientes el tiempo que tarda en romperse la masa elástica cuando es sometida a un contrapeso que estira la masa después de haber sido sometida a un proceso bioquímico de maduración de la masa con la enzima a 37 °C por un tiempo de 45 minutos, tiempo requerido para que la masa libere pentosanos externos dejando en libertad a la proteína fibrosa del gluten.

Se consideró también como variable tres tipos o marcas diferentes de harina que varía generalmente en su composición proteica y contenido de almidón parámetros que influyen directamente en las propiedades reológicas debido a que la proteína confiere elasticidad y pardeamiento del pan.

Con el análisis sensorial organoléptico al producto terminado se determinó el mejor tratamiento mediante la aplicación de herramientas estadísticas.

SUMMARY

This work emphasizes the use of xylanase enzymes in baking because it is the optimization of the rheological and fermentative properties of the dough. The use of enzymes to improve the quality of manufactured products, both quantitatively and qualitatively, leading to increased volume of the piece baker, an improvement in the external characteristics (bark, symmetry, color) and internal (texture, crumb firmness, color, alveolus, conservation)

This research is to provide a close and deep as possible of the new trends enzyme applied to the baking and the familiar in recent decades

To assess the efficiency of the xylanase enzyme Panaria the mass was considered as independent variables the time it takes to break the dough elastic when subjected to a counter that stretches the body after being subjected to a biochemical process of maturation of the mass with the enzyme at 37 ° C for a time of 45 minutes, time required for the mass release external pentosans by releasing the fibrous protein gluten.

Variable was also considered as three types or different brands of flour which generally varies in its composition of protein and starch content parameters that directly influence the rheological properties because the protein confers elasticity and browning of bread.

Organoleptic sensory analysis with the finished product the best treatment was determined by applying statistical tools.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES:

1.1.1. Antecedentes Históricos

Hace ya más de un siglo que se comenzó a comercializar la levadura fresca o prensada. Fue este hecho el desarrollo más importante que tuvo la panadería en el terreno de la bioquímica. La panadería se ha caracterizado por ser siempre muy lenta en los cambios, tanto es así que desde la época de los romanos y hasta que aparece la levadura, no se había introducido una innovación tecnológica digna de reseñar.

Ya en los años 70 del siglo XX se produce otro gran cambio como consecuencia de la total mecanización de las masas: aumenta su consistencia y se incorpora mayor proporción de levadura; el amasado se hace más intenso, se reduce la temperatura final del amasado con la incorporación de agua helada, se reduce el reposo y la fermentación, y la cocción pasa de una curva decreciente de temperatura a temperatura estable de cocción. Por la misma época la molinería había adaptado también el diagrama de fabricación, así como la granulometría de la harina, cada vez más fina según la exigencia del panadero de panificar cada vez más rápido.

Con la industrialización y la reducción del proceso de panificación se desarrolla la aplicación de las enzimas en panadería, que es el otro gran descubrimiento importante después de la levadura prensada en el ámbito de la bioquímica. Se conoce muy poco de las enzimas y el panadero sin saberlo las utiliza a diario.

Esta investigación llenará el vacío que existe sobre el conocimiento de las enzimas aplicados en las nuevas tecnologías de panificación, y no cabe duda que resultará una herramienta básica y de interés para el molinero, ya que le servirá como guía para el correcto tratamiento enzimático de la harina.

Las enzimas han jugado siempre un importante papel en la elaboración de productos de panificación. La variación en el contenido de amilasa en las harinas de trigo y de centeno, debido a las variaciones en las condiciones climatológicas, constituye una preocupación tanto para el molinero como para el panadero.

1.1.2. Antecedentes Científicos.

Las enzimas actúan rompiendo grandes moléculas de grasa, carbohidratos o proteínas, formando pequeños fragmentos que son asimilados por los seres vivos. Desde hace años se ha utilizado la experiencia de la acción enzimática para su aplicación en los sectores industriales que se han citado. Hoy en día el uso de enzimas se ha extendido de forma espectacular, incluso en procesos insospechados.

Durante siglos el hombre ha utilizado la acción de los enzimas sin un conocimiento exacto de qué eran y cómo actuaban realmente. El avance en este campo ha permitido mejorar la producción y eficacia en los procesos industriales donde se aplica. En el caso específico del tratamiento enzimático de las harinas se consigue una regularidad de sus características, teniendo en cuenta la aplicación a la que van destinadas.

1.1.3. Antecedentes Prácticos.

Para que las enzimas comiencen su actuación necesitan que la harina esté hidratada. Comienzan a actuar durante el amasado, facilitando la maquinabilidad, regulando la absorción del agua y asegurando la obtención de una masa más fina, extensible, y la puesta a punto para su mecanización. Es durante la fermentación de la masa cuando la acción enzimática resulta más notable, proporcionando alimento a la levadura para que gasifique y levante la masa. En la cocción y hasta el momento en que por las altas

temperaturas se desactivan, las enzimas actúan a una mayor velocidad de transformación. Es durante esta fase de cocción cuando se fija el volumen, el color de conservación, el alveolado de la miga y la blancura de la misma.

Los efectos que se pueden obtener en la masa por la aplicación de las enzimas son los siguientes:

- Reducir el tiempo de amasado.
- Generar azúcares para la fermentación.
- Aumentar o disminuir la extensibilidad de la masa por las oxidasas o proteasas.
- Ajustar el equilibrio de la masa.
- Reducir la viscosidad de la masa.

1.1.4. Importancia del Estudio.

El propósito del uso de las enzimas en panificación radica en la optimización de las propiedades reológicas y fermentativas de la masa. Permite la estandarización de las harinas, puesto que depende del trigo empleado, de la climatología en la que este trigo ha crecido, de las condiciones de molturación, de las características del proceso de elaboración y del tipo de pan que se desea elaborar. Esta calidad de harina debe adecuarse a los distintos procesos de panificación en cada país y a las condiciones, tanto técnicas como medioambientales, de cada obrador o industria de panificación.

El uso de las enzimas permite mejorar la calidad de los productos elaborados y la producción, tanto cuantitativa como cualitativamente, dando lugar a un incremento de volumen de la pieza panadera, una mejora en las características externas (corteza, simetría, color) e internas (textura, firmeza de la miga, color, alveolo, conservación). La exaltación de alguna de las características, físicas y/o organolépticas, puede conseguirse eligiendo una determinada enzima o complejo enzimático, aunque no necesariamente en todos los casos se precise la adición de enzimas. Los efectos reológicos y fermentativos

ejercidos por las distintas enzimas expuestos en esta investigación reflejan un comportamiento general de catálisis enzimática.

Esta reactividad enzimática tendrá mayor o menor extensión según el tipo de harina empleada; es decir, dependerá de la composición cuantitativa de los sustratos presentes (almidón dañado, proteína, pentosanos, etc.). Ello significa que, si bien se manifiesta un comportamiento general común, el uso de distintos tipos de harina puede reflejarse en un comportamiento reológico y/o fermentativo diferente. De la misma manera, su comportamiento durante la producción de pan estará sujeto a variables como la hidratación, el tiempo de amasado, la temperatura, etc.

1.1.5. Situación actual del tema de investigación.

En la actualidad en nuestro país no se tiene experiencia científica con relación a la utilización de enzimas desramificadoras especialmente del tipo xilanasas en harinas, el mayor avance de la aplicación de enzimas en la industria de alimentos especialmente de bebidas naturales con la utilización de enzimas hidrolíticas como son las amilasas en los procesos de clarificación de jugos y de solubilización de proteínas insolubles.

1.2. Limitaciones del estudio.

En la elaboración del presente trabajo existen dos limitaciones principales que son la escasa literatura, y la falta de tecnología enzimática en la industria de alimentos, por lo tanto con la presente investigación se podrá evaluar el comportamiento de la enzima xilanasas sobre las propiedades reológicas y composición química de la harina, así como sobre las propiedades organolépticas en el producto terminado.

1.3. Alcance del trabajo

La investigación se profundizará en la evaluación de las transformaciones bioquímicas que ocurren en la harina de trigo, influyendo directamente en las propiedades reológicas y organolépticas de la masa panaria y el pan, como materia prima se utilizará harina de

nuestro medio considerando que tienen conservantes y condiciones de almacenamiento diferentes a otros países.

1.4. Objeto de estudio

La presente investigación tiene como objeto el estudio del comportamiento de la enzima xilanasa en condiciones controladas de sustrato (harina), temperatura, tiempo de contacto y el efecto directo que ocurre sobre el pan.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo General

Aplicar la enzima xilanasa a la harina de trigo para mejorar las propiedades reológicas de la masa y organolépticas del pan.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la actividad enzimática de la enzima xilanasa mediante el control de factores como sustratos, pH y temperatura óptima.
- Ensayar dosificaciones de enzima en la harina con un amplio rango mediante un método físico de mezclado para medir su comportamiento reológico.
- Hacer pruebas de higiene al mejor tratamiento mediante la aplicación de análisis microbiológicos para obtener un alimento óptimo e inocuo.
- Elaborar pruebas de aceptabilidad mediante cataciones para determinar la funcionabilidad de la enzima.
- Realizar el balance de materia y de energía para evaluar la eficiencia del horno.

1.6. Justificación

Las enzimas xilanasas están en el grupo de enzimas despolimerizantes de xilanos y compuestos ramificados que actúan junto a las amilasas en la masa panaria, modificando su estructura y liberando aminoácidos y azúcares responsables del sabor, aroma y valor nutritivo que eleva la calidad del producto terminado como es el pan.

En nuestro mercado (Santo Domingo) se observa que por lo general el pan es pobre en calidad no cumple especificaciones organolépticas que exige el cliente como por ejemplo un buen aroma, pardeamiento uniforme, flexibilidad, suavidad y sobre todo es pobre en valor nutritivo. A través de esta investigación se pretende mejorar la digestibilidad de la harina para que pueda ser formulada con otras fuentes de proteína, potencializar el pardeamiento para obtener un pan con mejor aroma y color. Además se eleva su valor nutritivo por la liberación de xilanos que se degradan en azúcares simples como fuente de energía instantánea muy adecuada especialmente para niños.

Actualmente no existe en el mercado una diferenciación clara sobre las calidades de harinas y su mejor uso por lo que también se utilizaran diferentes tipos de harina como sustrato de enzimas.

La investigación esta entonces orientada a modificar la masa panaria para ofrecer al consumidor variedad de pan con diferente textura, aroma, sabor, más aún si consideramos que es costumbre casi de la totalidad de la población Ecuatoriana consumir pan como alimento complementario en desayuno y merienda. De este modo los principales beneficiarios serán la ciudadanía, las panaderías artesanales con proyección a modificar la industria panadera regional y nacional, dado que esta pequeña modificación bioquímica abre las puertas a la utilización de otras fuentes de proteína de cereales nativos que pueden enriquecer este alimento en base a una modificación enzimática similar.

1.7. Hipótesis.

1.7.1. Hipótesis Alternativa.

La aplicación de la enzima xilanasa a la harina de trigo está influenciando en las propiedades reológicas de la masa y organolépticas del pan.

1.7.2. Hipótesis Nula.

La aplicación de la enzima xilanasa a la harina de trigo no está influenciando en las propiedades reológicas de la masa y organolépticas del pan.

1.8. Población y muestra

La población a investigar será de la Universidad Tecnológica Equinoccial en especial a los estudiantes de la escuela de Ingeniería Agroindustrial de la cual se tomará la muestra la misma que permitirá determinar el grado de aceptación del producto.

$n = \text{¡Error!}$

$$n = \frac{100}{0,2^2 (100-1) + 1}$$

$n = 20$

Donde:

$N =$ Tamaño total de la población (100 alumnos)

$n =$ Tamaño de la muestra

$e =$ Error (0.2) o diferencia máxima entre la media muestra y la media de la población que se está dispuesto a aceptar con el nivel de confianza que se ha definido.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL.

2.1. Enzimas en panificación

Desde el principio del amasado hasta los primeros momentos de la cocción de las masas, numerosos sistemas enzimáticos presentes inicialmente en la harina o en la levadura juegan un papel primordial sobre la actitud de la masa para producir un producto con las cualidades organolépticas características del pan. La comprensión de estos sistemas enzimáticos permite optimizar su acción mediante la adición de enzimas, práctica muy habitual en la industria panadera actual, ya que el tipo o el nivel de enzimas de la harina empleada no es siempre suficientemente alto como para producir un buen pan.

2.1.1. Funciones de las enzimas más utilizadas en panificación.

Las enzimas están consideradas coadyuvantes de los procesos de fabricación, su utilización debe realizarse, en las cantidades adecuadas para lograr el efecto deseado en las masas y el producto final. Forman parte de la mayoría de los mejorantes panarios:

- **Amilasas:** Actúan hidrolizando el almidón, proporcionando azúcares fermentables por las levaduras, lo que provoca un aumento en el volumen del pan. Influencia positiva también en su conservación, retrasando la retrogradación del almidón. Las amilasas de origen fúngico son las más utilizadas en la fabricación del pan, como alternativa a la harina de malta. Aparecen la mayoría de los mejorantes panarios.
- **Pentosanasas:** Hidrolizan a los pentosanos, que son unos polisacáridos distintos al almidón, con gran capacidad de absorción de agua. Durante la hidrólisis se

ibera agua en la masa, disminuyendo la tenacidad y aumentando ligeramente la extensibilidad. Durante el horneado se observa una disminución de la viscosidad, una mayor expansión y más duradera.

- **Lipoxigenasas:** Es la enzima que lleva a cabo la oxidación de los pigmentos carotenoides, y de otros lípidos que influyen sobre el sabor del Pan. Se utilizan en la fabricación de pan de molde y pan de hamburguesas y en aquellos panes que se desee potenciar la blancura de la miga. Se ha observado que favorece la tolerancia al amasado y las características reológicas de las mismas.
- **Glucoxidasas:** Cataliza la oxidación de unidades de glucosa con desprendimiento de peróxido de oxígeno. Esta reacción favorece la oxidación de las proteínas, aumentando la tenacidad del gluten, y reduciendo su extensibilidad. Su efecto es como el del ácido ascórbico: incrementa la retención de gas y aumenta el volumen del pan.
- **Transglutaminasas:** Esta enzima es capaz de establecer uniones entre aminoácidos (ácido glutámico y lisina) que están presentes en el gluten, por lo que la red se refuerza, aumentando la tenacidad de las masas, y su capacidad para retener el gas.

2.1.2. Pentosanasas

2.1.2.1. Xilanasas

En la industria de la panificación las xilanasas, especialmente la endo-1,4- β -xilanasas, se adicionan a la masa para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura y sabor. El efecto de las xilanasas es incrementar el volumen específico de los panes, sin provocar un efecto colateral negativo en el manejo de la masa. Este efecto

¹. McCleary B.V. 1992. "Measurement of endo-1,4-b-D-Xylanase". Xylans and Xylanases. Ed. J.Visser. Elsevier Science Publishers B.V. 161 – 169

sobre el mejoramiento del volumen del pan puede atribuirse a la distribución de agua de la fase del pentosano presente hacia la del gluten, resultando eventualmente en un mejor horneado.

Gráfico N° 1
Xilanasa



Fuente: www.google.com

2.1.2.2. Estructura química de los pentosanos

Los pentosanos son componentes minoritarios (2% a 3%) que tienen una gran capacidad de absorción de agua. Los pentosanos se pueden diferenciar por su composición y por su solubilidad:

1. Composición:

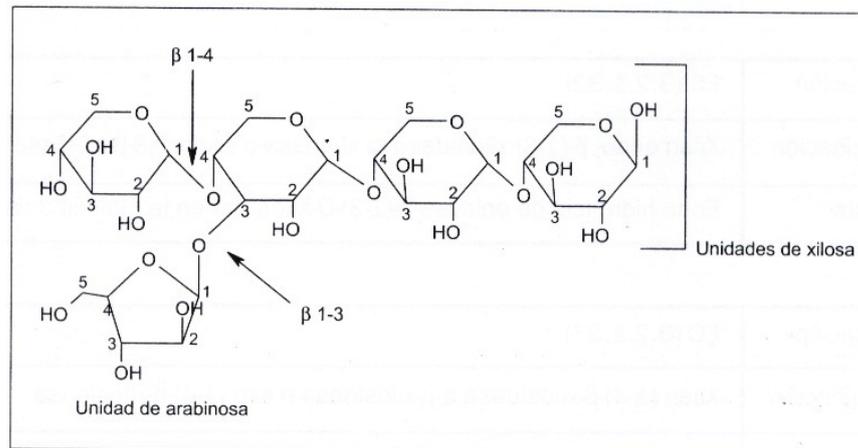
- Xilanos: las tres cuartas partes de los pentosanos son polímeros de xilosa a través de uniones β -(1-4), con ramificaciones de arabinosa a través de enlaces β -(1-3).
- Galactanos: son polímeros de galactosa a través de uniones β -(1-4), con ramificaciones de arabinosa.

2. Solubilidad:

- Solubles: representan del 28 al 50 % de los xilanos y disponen de una molécula de arabinosa por cada tres de xilosa (**Gráfico N° 2**). Su funcionalidad en panificación es determinante.

- Insolubles: tienen un número mayor de moléculas de arabinosa unidas al polímero de xilosa. Al contrario que los pentosanos solubles, estos ejercen un efecto negativo en el proceso de panificación.

Gráfico N° 2
Representación de la molécula de pentosanos solubles



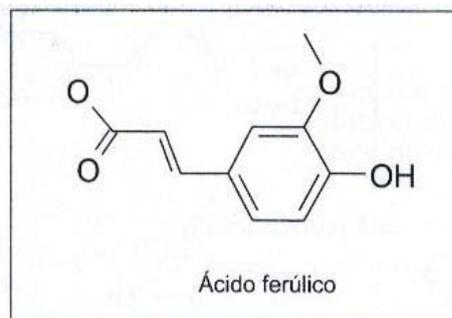
Fuente: Enzimas en panadería, Carles Miralbés, pág. 72.

2.1.2.3. Gelación oxidativa

En las masas panarias, la gelación oxidativa se produce a través del anillo aromático del ácido ferúlico y no sobre el doble enlace. Sin embargo, las paredes celulares de ciertos vegetales tienen dímeros del ácido ferúlico, formados a partir de intermedios radicalarios fenoxi, que permiten tanto al anillo aromático del ácido ferúlico como al doble enlace activado de la cadena del ácido propenoico la gelación oxidativa.

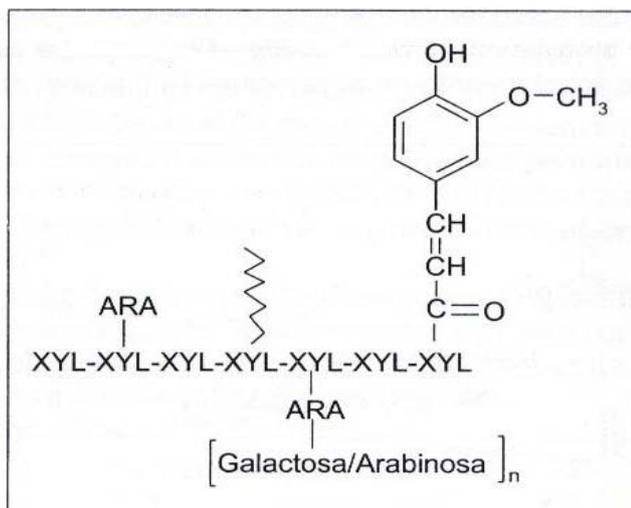
Ciertos grupos alcohólicos de la molécula de arabinosa pueden estar esterificados con ácido ferúlico (**Gráfico N° 3**), presentando dos zonas posibles de reacción: el doble enlace activo de la cadena de ácido propenoico y el grupo aromático del ácido ferúlico.

Gráfico N° 3
Molécula de ácido ferúlico



Fuente: Enzimas en panadería, Carles Miralbés, pág. 73.

Gráfico N° 4
Estructura hipotética de las glucoproteínas en la harina de trigo



Fuente: Enzimas en panadería, Carles Miralbés, pág. 73.

Como consecuencia de la formación del gel, que ejerce un papel de agente secante de masas, disminuye la pegajosidad de las masas.

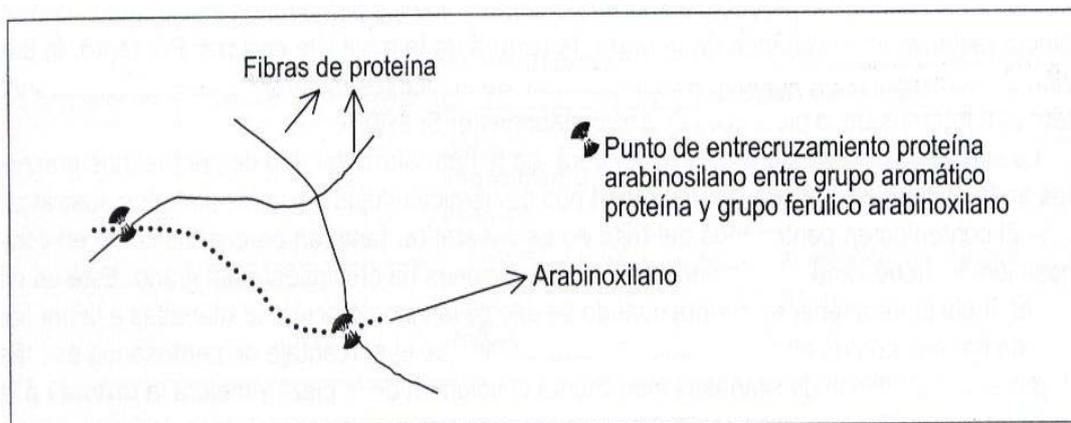
2.1.2.4. Interacción proteína-pentosano

Una posible representación de la interacción de las proteínas con los pentosanos sería la mostrada en el **Gráfico N° 5**. Este modelo explica como la hidrólisis de los pentosanos favorecen un desplegamiento de la red proteínica, eliminando la rigidez de la red y

proporcionando una mayor extensibilidad, aspecto que se pone de manifiesto al observar un mayor volumen del pan.

Gráfico N° 5

Interacción proteína-pentosano



Fuente: Enzimas en panadería, Carles Miralbés, pág. 75.

2.1.2.5. Actuación en el proceso de panificación

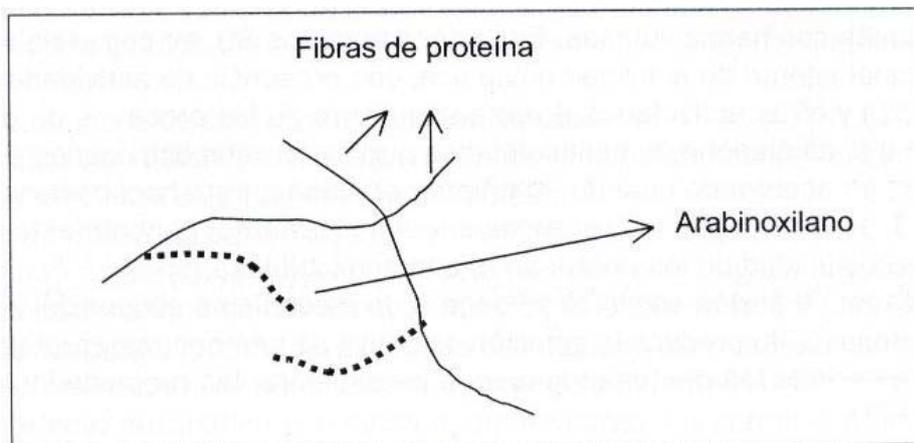
Hemos visto la gran capacidad de absorción de los pentosanos en relación con el porcentaje presente en la harina de trigo. Podemos aprovechar esta característica para aumentar la maquinabilidad de las masas, adicionando pentosanasas que faciliten la hidrólisis de los pentosanos (haciéndolos solubles y liberando el agua que han ligado). Esta solubilización produce una serie de cambios en la distribución del agua en la masa. Esta agua liberada disminuirá tanto la consistencia como la viscosidad del medio, ralentizando la difusión del CO₂ a través de la masa y, como consecuencia, aumentando la retención gaseosa. A su vez, el retraso en la formación de la miga permitirá una mayor y más tardía expansión (ovenspring) en el horno.

Este aumento de maquinabilidad se produce sin reducir la fuerza de la masa, ya que incrementa la extensibilidad sin afectar a la pegajosidad de la misma. Por otro lado, la actuación de estos enzimas disminuye la rigidez de la red proteica, al tiempo que hidroliza los pentosanos que están entrelazados con la red de gluten, permite un mejor

² Miralbés, Carles. (2000). Enzimas en panadería. Montagud Editores, S.A. Barcelona (España); Pág. 76

desarrollo de la red viscoelástica y disminuye el potencial de reducción de las cadenas polipeptídicas (**Gráfico N° 6**).

Gráfico N° 6
Hidrólisis de los pentosanos que facilitan una mayor flexibilidad de la red



Fuente: Enzimas en panadería, Carles Miralbés, pág. 75.

La actuación de estos enzimas dependerá de la naturaleza del tipo de pentosanos presentes en la harina de trigo y de los distintos tipos de hemicelulosas hacia los distintos sustratos:

- El contenido en pentosanos del trigo no es constante, tanto en porcentaje como en composición, y puede variar dependiendo de las condiciones de crecimiento del grano. Este es un factor importante a tener en cuenta cuando se decide la incorporación de xilanasas a la harina.
- Con harinas con un alto contenido en fibra, en las que el porcentaje de pentosanos es más importante, la adición de xilanasas incrementa el volumen de la pieza y mejora la textura de la miga y corteza. Por otro lado, con harinas de centeno que pueden tener hasta 9% de pentosanos, la incorporación de hemicelulasas mejora la viscosidad de la masa, facilitando su manipulación y mejorando las características finales del producto.

La capacidad gelificante de los pentosanos en la masa en presencia de oxidantes se pierde cuando se somete la masa a reposo. Esto se debe a la acción de pentosanasas

presentes en la harina de trigo y también a proteasas capaces de romper la interacción proteína –pentosano.

2.1.2.6. Evaluación de la actividad xilanásica

La actividad xilanásica se pone de manifiesto en las distintas etapas del proceso de panificación, provocando una serie de cambios reológicos, fermentativos y de cocción. Los cambios más significativos con las dosificaciones idóneas son los siguientes:

- Durante el amasado, se observa un aumento de la extensibilidad de la pasta como consecuencia de la disminución de consistencia por hidrólisis de los xilanos, y por una disminución de la rigidez de la red proteínica.
- Una mayor estabilidad en la fermentación y un incremento de la retención de gas. Durante la fermentación se observa un exudamiento de agua en la superficie de la masa, mayor cuanto más dosificación se añada o bien en caso de xilanasas del tipo *Trichoderma*.
- Durante la cocción se observa un mayor oven spring. Asimismo, debido a que los pentosanos intervienen en la gestión del agua en la masa, disminuye la tendencia del almidón a retrogradar.

Sin embargo, en caso de sobredosificaciones se observa:

- En el amasado, una disminución importante de la consistencia de la masa, aumentando la pegajosidad y dificultad de manipulación de la pasta.
- Un exceso de humedad de la masa en fermentación.
- En el producto elaborado, panes con defecto de volumen y migas húmedas.

2.1.2.7. Efectos reológicos:

2.1.2.7.1. Alveógrafo Chopin

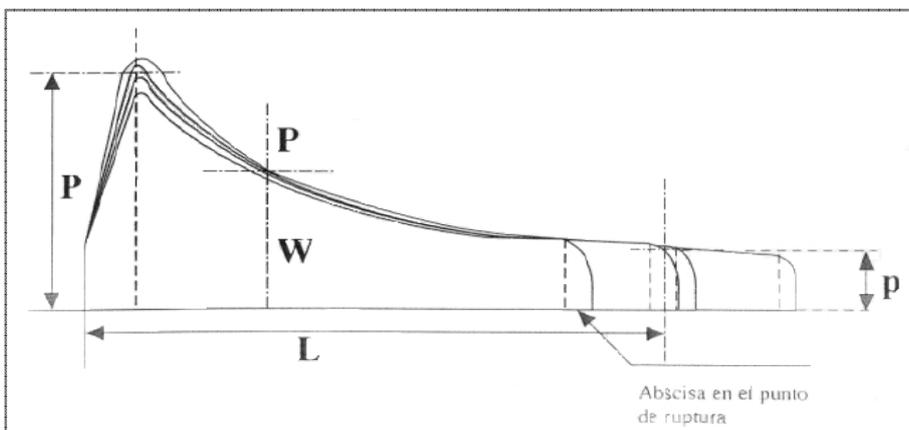
Gráfico N° 7
Alveógrafo Chopin



Fuente: Ing. Agr. R. Miranda – A.C.A; Ing. Agr. N. Salomón – U.N.S; index.htm.

El ensayo del alveógrafo simula gráficamente el comportamiento de la masa en la fermentación imitando en gran escala la formación de los alvéolos originados en la masa por el CO_2 que producen las levaduras. Mide la resistencia a la deformación y extensibilidad insuflando aire sobre una lámina de masa que se hincha hasta su rotura, dando curvas llamadas alveogramas donde la superficie bajo la misma indica:

Gráfico N° 8
Curva tipo de un alveograma



Fuente: Rivera 2004; Evaluación de las características fisicoquímicas de las masa panarias; Cap. 7

P: Es la tenacidad (presión máxima necesaria para la deformación de la masa). Se mide en milímetros (mm).

L: Es la extensibilidad de la masa (longitud de la curva). Se mide en milímetros (mm).

W: Es la fuerza de la masa (superficie de la curva). Se determina a partir del área de la curva alveográfica y se mide en Julios ($J \cdot 10^{-4}$).

P/L: Es el equilibrio de la masa.

p: Es la elasticidad (Presión en el punto de ruptura).

2.1.2.7.2. Farinógrafo Brabender

Gráfico N° 9
Farinógrafo Brabender



Fuente: Eric Gahona M; Operaciones Unitarias I; Pág. 11

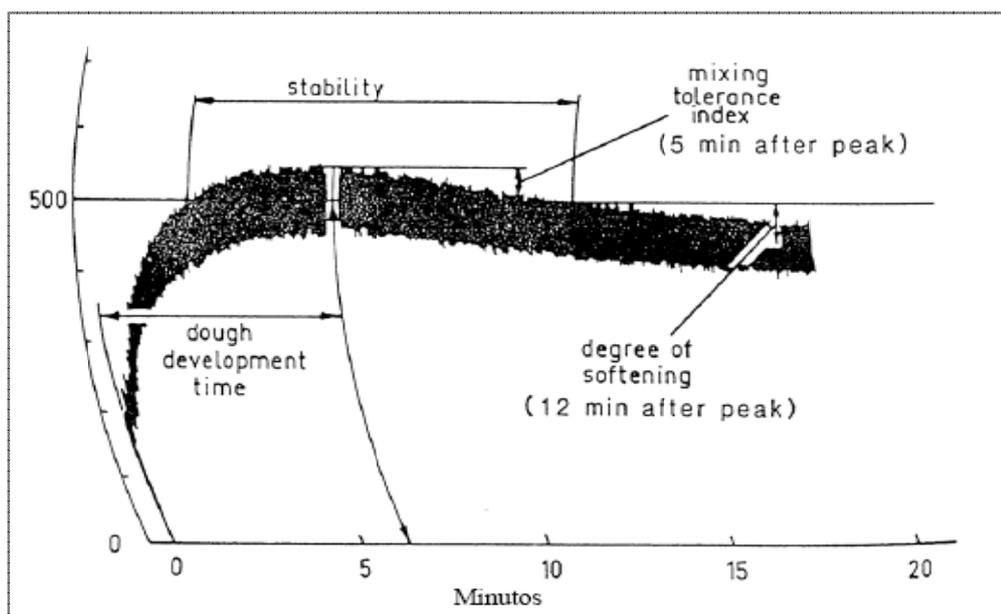
Este equipo combina los ingredientes de las masas usando dos aspas en forma de Z que rotan, a diferentes velocidades, en direcciones opuestas. La mezcla inicial es con harina seca y el agua es adicionada con una bureta. Un dinamómetro registra el torque en las aspas. La respuesta es un farinograma, un grafico de un parámetro del instrumento proporcional al torque, expresado en Unidades Brabender (UB) versus el tiempo.

³ Rivera 2004; Evaluación de las características fisicoquímicas de las masa panarias; Cap. 7

La forma del farinograma es interpretada en términos de factores relacionados con la calidad de la harina y el comportamiento de la masa en el horneado.

Un factor importante es la cantidad de agua requerida para lograr una consistencia de 500 UB a 14% de contenido de humedad (en base seca), conocido como absorción de agua.

Gráfico N° 10
Curva tipo de un Farinograma
Los valores del eje vertical izquierdo son U.B. (Unidades Brabender)



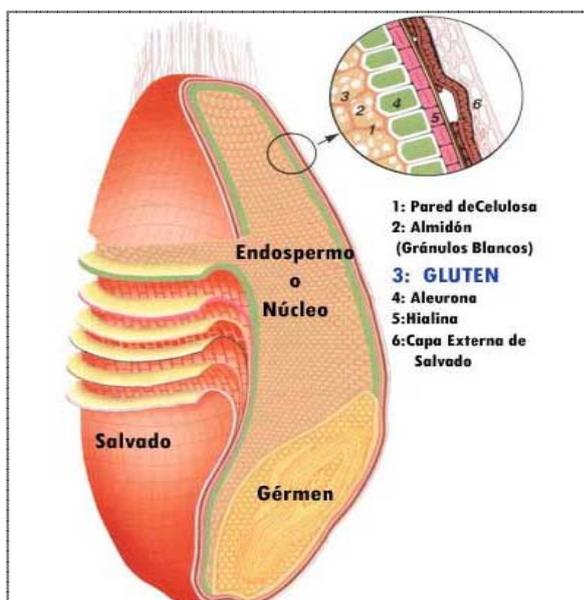
Fuente: Rivera 2004; Evaluación de las características fisicoquímicas de las masa panarias; Cap. 7

2.2. Cereales y derivados

Constituyen desde milenios la fuente principal de alimento para el hombre. Los cereales más importantes son: el trigo, el arroz y el maíz que suma el 75 % del total. Le sigue en importancia la cebada, el sorgo, la avena, el mijo (planta del Asia) y el centeno.

2.2.1. Estructura del grano del cereal

Gráfico N° 11
Estructura de un grano de trigo



Fuente: www.veggimeat.com.mx

El grano de cereal es botánicamente un fruto en cariósipide que contiene sólo una semilla. La cubierta exterior de esta semilla está constituida, fundamentalmente por el pericarpio comprende a su vez diversos tejidos (epicarpio, mesocarpio, capa de células transversales) más o menos diferenciados según el cereal. El pericarpio es rico en celulosa y el germen está constituido básicamente por una capa continua de sustancia grasa. En la cual se encierran los pigmentos que dan al grano su color característico.

Subyacente al germen se encuentra la capa de aleurona, que consta de uno o varios estratos de células de parénquima (tejido vegetal modificado de células vivas por lo

común de membrana delgada). Estas células contienen abundancia de glóbulos grasos y proteína (proteína de aleurona).

El endospermo está constituido por células de parenquimas de paredes delgadas dispuestas, en sentido radial, repletas de gránulos de almidón las células de las capas más externas del endospermo son ricas en glóbulos o gránulos proteicos. El embrión o germen está localizado en un extremo del grano, adosado a la cara ventral siendo una estructura compleja formada por el escutelo, (tejido de reserva) el coleóptilo, la coleorriza, el epiblasto, la radícula, la plúmula y el hipocotilo. Los tejidos del germen son ricos en proteína y lípidos no conteniendo apenas almidón, el germen está envuelto por cubiertas exteriores del grano. Así como por la aleurona.

Los granos de arroz, avena y cebada presentan además una cubierta lignocelulósica más externa, denominada cascarilla, muy rica en sílice. En la elaboración industrial de algunos cereales por ejemplo arroz o trigo, las capas externas junto con el germen, aleurona, y algo de endospermo, se separan del resto del grano, constituyendo el subproducto denominado salvado.

2.3. La harina

Técnicamente la harina es el producto pulverulento obtenido por la molienda gradual y sistemática de granos de trigo de la especie *triticum aestivum* sp. Vulgares, previa separación de las impurezas y lavado hasta un grado de extracción determinado.

2.3.1. Componentes de la harina

El harina está compuesta por muchos elementos importantes en la formulación del pan; entre los glúcidos presentes uno de los más importantes tanto por su cantidad como por su función, es el almidón ya que al entrar en contacto con el agua hidrata la masa en el amasado, provee un sustrato para la fermentación, y mientras más empaquetados están los gránulos de almidón, habiendo mas cohesión entre ellos; mayor será la solidez de la miga. El contenido de almidón en la harina varía inversamente con el de la proteína, es

por esto que en la panificación se busca valores intermedios ya que estos dos componentes son indispensables en la formulación del pan.

Entre los carbohidratos restantes cumplen una función importante en panificación están: disacáridos como maltosa sacarosa y monosacáridos como glucosa y fructosa, los cuales sirve de sustrato a las levaduras.

Las proteínas y dentro de estas la gliadina y la glutenina las cuales al hidratarse forman una estructura diferente llamada Gluten; este complejo tiene propiedades elásticas y de esponjamiento de gran valor para la fabricación de pan. La gliadina confiere al gluten plasticidad y elasticidad, mientras que la glutenina comunica solidez y estructura.

Los lípidos están solo en pequeños porcentajes en la composición de la harina, se encuentran presentes en mezclas complejas y parte de estos están asociada a la proteína donde contribuye a la formación de gluten. El porcentaje de sales minerales presente en la harina es pequeño y depende de factores como variedad de trigo, tipo de terreno, fertilización y clima.

Este pequeño porcentaje influye extraordinariamente en la calidad y comportamiento de la masa, ya sea participando en la formación del gluten, fortaleciéndolo o como alimento mineral para las levaduras.

La harina contiene cantidades apreciables de ciertas vitaminas como son B1 y B2, niacina biotina etc. las que aumentan su valor nutricional. Las enzimas presentes en la harina son sustancias de origen proteico que actúan como catalizadores biológicos, tienen una importancia fundamental en las características tecnológicas de los productos. Entre estas tenemos Amilasas, Proteasas, Levulasa, Maltosas entre otras.

⁴ www.monografias.com

2.3.2. Tipos de harina.

Las harinas, según sus tipos, se clasifican en: cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000). La harina 000 corresponde a la harina de trigo, que se utiliza siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten. Por su parte la harina 0000 es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten. Sólo se utiliza en panes de molde y en pastelería.

- **Harina de trigo.-** Es el producto que se obtiene de la molienda y tamizado del grano de trigo, hasta un grado de extracción determinado.
- **Harina de trigo enriquecida.-** Es la harina de trigo a la que se ha añadido sustancias minerales, vitaminas y otros nutrientes en porciones establecidas.
- **Harina integral.-** Es el producto que se obtiene de la molienda del grano de trigo y que contiene todas las partes de éste.
- **Harina compuesta.-** Es la harina de trigo constituida por la mezcla de la harina de trigo con otras harinas, siempre que éstas se encuentre bien identificadas.

2.3.3. Harinas Duras y blandas

Una harina con contenido de proteínas del 10 al 13%, se clasifica como harina dura y se usa para la producción de pan. Harinas con un contenido de proteínas del 7,5 al 10%, son especiales para la producción de galletas y tortas, son las harinas débiles o blandas.

2.3.3.1. Las harinas duras

Por su porcentaje relativamente alto de proteínas, forman un gluten tenaz y elástico, que tiene buena propiedad de retención de gas y es fácil de ser horneado y convertido en pan con buen volumen y miga de buena textura.

Necesitan una cantidad de agua relativamente grande para hacer una masa de buena consistencia, por lo tanto dan gran rendimiento, necesitan más tiempo para mezcla y amasado y tienen buena tolerancia a la fermentación.

2.3.3.2. Las harinas blandas o débiles

Contienen menor cantidad de proteínas y forman gluten blando, débil y sin elasticidad, que no retiene bien el gas. Tiene poca capacidad de absorber agua y necesitan menos tiempo de trabajo y amasado, además tienen poca tolerancia a la fermentación.

2.3.4. Según su contenido proteico

Según el objetivo de utilización de su contenido proteico se clasifican las harinas en:

- **Harinas para pastas:** Son llamadas también harinas extrafuertes, siendo aquellas que presentan un 14% de proteína o gluten. Son usadas en productos que no necesitan fermentación y por su alta concentración proteica forman una estructura rígida y resistente.
- **Harinas para pan:** Obtenida generalmente de los trigos fuertes o semifuertes; su riqueza proteica va desde un 9 a un 14%, estas condiciones intermedias son ideales para la elaboración de pan.
- **Harinas para repostería:** También llamadas débiles ya que contienen de un 7.5 a 9.5 de proteína o de gluten.

2.3.5. Harinas según su uso:

Las harinas, según el empleo que se le den, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Harina de Panificación:** Producto de la molienda del grano de trigo *Triticum aestivum* sp. vulgares o mezcla con *Triticum durum* (candeal)

- **Harina Integral:** Se obtiene de la molienda del grano de trigo integral, incluido el germen.
- **Harina de Avena:** La avena es un cereal de la familia de las gramíneas que se cultiva en Rusia y USA principalmente, esta harina se utiliza en productos de régimen, en alcohol (ginebra) y como alimento para ganado.
- **Harina de Gluten:** Se extrae industrialmente del grano de trigo. Está compuesta del gluten seco y se emplea como mejorador para corregir una harina pobre.
- **Harina de Maíz:** Cereal de la familia de las gramíneas, es el que más almidón tiene (65 a 67%), es rica en materias grasas lo que hace muy delicada su conservación, si se utiliza sola no se puede panificar. El almidón de maíz o maicena se usa básicamente en repostería, ya sea en cremas, salsas o para aligerar algún pastel y prolongar su frescura.
- **Harina de Centeno:** Es la más utilizada en panificación después de la de trigo. Es muy pobre en gluten y de calidad mediocre, además está compuesta de una sustancia viscosa, el mucílago, que se disuelve en el agua formando goma y que impide la cohesión del gluten en el momento de la formación de la masa, lo que genera una masa pegajosa, difícil de trabajar, para paliar las deficiencias, se le añade un porcentaje de harina de trigo.
- **Harina de Arroz:** Cereal de la familia de los gramíneos que se cultivo en Asia, muy rico en almidón y pobre en gluten, se empieza a utilizar para panes especiales (para personas celíacas). Productos derivados: Copos y sake (alcohol).
- **Harina de Cebada:** De la familia de las gramíneas. Productos derivados: Whisky (alcohol), cerveza, horchata, alimentos para lactantes.

2.3.6. Grado de extracción.- Es el rendimiento, en porcentajes de la harina, que se obtiene en kilos de cada 100 kg de trigo limpio.

⁵ Reyes, Rómulo. Mejía, Melecio. (2006). Panadería y Pastelería. Ediciones Mirbet. Primera edición. Lima (Perú); Pag. 24.

2.3.7. Clasificación:

La harina de trigo se clasifica de la siguiente manera:

Tipo I	HARINA DE TRIGO DURO
	Clase A, corriente
	Clase B, enriquecida
Tipo II	HARINA DE TRIGO SUAVE
	Clase A, corriente
	Clase B, enriquecida
Tipo III	HARINA INTEGRAL
	Clase A, fino
	Clase B, total
Tipo IV	HARINA DE TRIGO DURUM
	Clase A, corriente
	Clase B, enriquecida

Las harinas en los tipos I y II pueden ser compuestas.

2.3.7.1. Tipo I. Harina de trigo duro.- Es la harina obtenida de la molienda de los granos limpios de ciertas variedades de trigos duros, con un contenido de cenizas máximo de 0,75 % para la clase A y del 0,80 % para la clase B; propia para la elaboración de panes de levadura, principalmente pastas (espagueti, fideos, macarrones).

2.3.7.2. Tipo II. Harina de trigo suave.- Es la harina obtenida de la molienda de los granos limpios de ciertas variedades de trigos suaves, con un contenido máximo de

cenizas de 0,75 % para la clase A y del 0,80 % para la clase B; propia para la elaboración de galletería y repostería.

2.3.7.3. Tipo III. Harina integral.- Es la harina obtenida de la molienda de granos limpios de trigo, con un contenido de cenizas del 1,90 % para la clase A y B; propia para la elaboración del pan integral.

2.3.7.4. Tipo IV. Harina de trigo durum.- Es la harina obtenida de la molienda de los granos limpios de ciertas variedades de trigos durum, con un contenido de cenizas máximo del 0,75 % para la clase A y 0,80 % para la clase B; propia para la elaboración de pastas largas, tales como espaguetis, macarrones. No adecuada para panificación.

2.3.7.5. Harina clase A, corriente.- En los tipos I, II y IV, es la harina elaborada que no contiene agregado de sustancias destinadas a aumentar su riqueza en elementos nutritivos.

2.3.7.6. Harina clase B, enriquecida.- En los tipos I, II y IV, es la harina elaborada con agregados de vitaminas y sustancias minerales y otros nutrientes asimilables e inoocuos, en las proporciones establecidas en el **Cuadro N° 1**.

Cuadro N° 1
Substancias de enriquecimiento

SUBSTANCIAS	mg/100 g de harina	
	mínimo	máximo
Tiamina	0,2	0,3
Riboflavina	0,3	0,5
Niacina	3,525	4,410
Hierro como Fe	2,4	2,8
Calcio	50	70

Fuente: Normas INEN para harinas de origen vegetal y panificación.

2.3.8. Conservación de la harina

2.3.8.1. Condiciones óptimas de almacenamiento.

- Humedad relativa del 70 %
- Humedad de la harina 14 -15 %
- Temperatura 15 °C
- Apilamiento sobre maderas
- Circulación del aire entre los sacos.

2.3.9. Evaluación de la calidad panadera de la harina

La calidad panadera de la harina y su comportamiento en el proceso de panificación depende de un gran número de factores, entre los que cabe citar: su capacidad de hidratación, la extensibilidad y elasticidad de la masa, la capacidad de producir gas, por acción de la levadura y de retención del mismo, y el comportamiento de la masa en el proceso de cocción.

Actualmente se dispone de un gran número de equipos que permiten evaluar a nivel de laboratorio, con cantidades pequeñas de harina los factores citados y por tanto predecir el comportamiento de una partida en el proceso industrial. El farinógrafo permite evaluar la capacidad de absorción de agua de la harina. Las características viscoelásticas: Elasticidad, extensibilidad, tenacidad, estabilidad, de una masa puede estimarse fácilmente con el alveógrafo, el farinógrafo, y el extensógrafo, la información esencial para conocer el comportamiento de la masa en la fermentación.

⁶ <http://www.alimentacion-sana.org/Sobre la Harina.mht>

2.4. El Pan

El pan es el producto alimenticio más importante consumido en todos los hogares, siendo en los estratos más bajos su única fuente nutritiva, ya que además es de bajo costo, lo que lo hace estar al alcance de cualquier persona.

Por esto la industria de los alimentos se ha preocupado de la tecnología empleado en él y de aumentar su valor nutricional. El pan es una gran fuente de hidratos de carbono y contiene vitaminas y minerales como hierro y zinc.

2.4.1. Historia del Pan

El pan es testigo de la historia de la humanidad. En el periodo neolítico, hace 10.000 años, el hombre ya acompañaba sus viandas con una especie de galleta obtenida a base de moler los granos de trigo usando piedras planas.

Hace unos 5.000 años, el pan era fundamental en la dieta de los antiguos egipcios. La fertilidad del limo depositado por las aguas del río Nilo durante su crecido anual permitió el desarrollo de los cultivos de trigo, cebada, mijo, avena y centeno, la materia prima para elaborar pan. En la escritura Jeroglífica, podemos encontrar hasta cuarenta términos que representan panes y tortas. Los frescos de templos y tumbas muestran que los egipcios amasaban la pasta de harina con los pies. Estos panes (te, en antiguo egipcio) se cocían en moldes de arcilla y su proceso de elaboración se puede observar en numerosos relieves.

Roma mejoró la ingeniería de la panificación introduciendo la tracción animal en el sistema de rotación de piedras móvil sobre fija. Para la cocción del pan, se usaban recipientes como el clibanus (panis clibanicus) o bien hornos alargados de ladrillos y hornos de cerámica.

⁷ Reyes, Rómulo. Mejía, Melecio. (2006). Panadería y Pastelería. Ediciones Mirbet. Primera edición. Lima (Perú); Pag. 19.

Ya en el siglo XX surgieron los molinos automáticos que incrementaron la productividad, Los molinos consisten en parejas de cilindros que giran en sentidos opuestos a velocidades diferentes. Se obtienen harinas más blancas debido a lo incorporación del cernido (separar el salvado y las partículas de la harina).

Actualmente las fábricas de harina son mecanizadas requiriendo una cantidad inferior de mano de obra. Los molinos tienen una capacidad productiva muy superior y las harinas tienen mayor calidad.

En las panaderías el proceso de panificación se automatiza. Se introducen las amasadoras, que airean la masa, las cámaras de fermentación controlada y las cámaras de ultracongelación. Se empiezan a utilizar los aditivos para lograr panes de mayor calidad y se mejoran los sistemas de horneado (surgen los hornos rotativos).

2.4.2. Tipos de pan

Este alimento recibe apelativos muy diferentes según la forma, el modo, el peso, etc., y según también las distintas localidades de los distintos países.

- Buñuelo: De forma redonda, grande, flaca y aplanada. Se le conoce también como oreja de elefante. Es frito y azucarado, se puede encontrar bañado en caramelo de piloncillo o algún tipo de malaza con varitas de canela.
- Pan a florado: El que se hace con la flor de harina de Trigo. (España).
- Pan bazo: Se hace de moyuelo y una parte de salvado, (España)
- Pan bon: Así llaman en Costa Rica al pan dulce, moreno y con frutas.
- Pan cañón: Tiene miga suave y anisada y la costra es blanda, con forma de cañón militar.
- Pan de Pascua: Pan horneado hecho con harina y agua, puede ser con o sin levadura al cual se le agregan frutas confitadas, nueces, almendras y pasas. Es parecido al panetone italiano. Se prepara en ocasión a la Navidad.

- Pan Marraqueta: Tipo de pan crujiente, propio de Chile, Perú y Bolivia. Conocido también como pan batido en la V región (en el Gran Valparaíso) o como pan francés en el sur de Chile.
- Pan de pistola: Es largo y duro y se usaba Sobre todo para la sopa. En Madrid se conocen unas barras de pan llamadas «pistola». (España).
- Pan fermentado: Pan de harina y agua con fermento y cocido al horno (España).
- Pan francés o Bolillo: Hecho con harina de trigo, muy esponjoso, imitando al pan que hacen en Francia. (España). En México, éste tipo de pan se conoce como bolillo y hay controversia de lo que se conoce como birote.
- Pan integral: Hecho con harina integral. Se llama también negro, moreno o de salvado.
- Mollete: Panecillo ovalado y esponjoso. (España).
- Pan pintado: Este pan se hacía para bodas y otros festejos y se adornaba por la parte superior. (España).
- Pan regañado: Es el que se abre en el horno cuando tiene demasiado calor o cuando se le hace una incisión al tiempo de ponerlo a cocer. (España).
- Pan sentado: Muy metido en harina y que además ha pasado un día después de su cocción y permanece correoso. (España).
- Cuchara de pan: Es un trozo de corteza que se usa como cuchara en algunos pueblos. (España).
- Flauta de pan: Barra de pan. (Cuba). (Algunas provincias de Argentina, en otras se habla de Pan Varilla).
- Hogaza: Se llama así a un pan grande que pesa más de dos libras, y también al pan de harina mal cernida y que contiene algo de salvado. (España). En Argentina es el mendrugo: trozo de pan.
- Rosca: pan en forma de rosca. (España).

⁸ Pan - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht

- Morena: Hogaza o pan moreno. (España).
- Bodigo: Panecillo de flor de harina que se lleva a la iglesia como ofrenda. (España).
- Pan de Yuca: Se mezclan todos los ingredientes y se amasan bien. Se forman los panes de yuca en forma de media luna o redondos y se disponen bien separados sobre una lata previamente engrasada. Se llevan al horno precalentado por 350° por 15 minutos aproximadamente.
- Tostadas: Pan crujiente utilizado normalmente para acompañar la changua.
- Guaguas de pan: Panes grandes con forma de niños pequeños o infantes que se acostumbra en regiones andinas de Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia y norte de Argentina, principalmente el Día de los Fieles Difuntos o en celebraciones agrarias.

2.4.3. Ingredientes básicos

Los ingredientes básicos del pan son: harina, agua sal y levadura, los cuales son llevados o un proceso de fermentación y de cocción a altas temperaturas (mayores a 200°C), que inactivan a hongos y levaduras. Las harinas más habituales son: trigo, centeno, cebado, maíz, arroz, papa y soja. Es frecuente, no obstante, que se use harina de legumbres y frutos secos. El medio líquido también varía, usándose desde la leche o su suero, bebidas alcohólicas como el vino o la cerveza, e incluso mezclas avinagradas.

La harina de trigo es rica en gluten y por ello importante para crear una textura esponjosa. Se suelen mezclar harinas de trigo con otros cereales pobres en él. Incluso es habitual que se mezclen harinas de trigo de diferentes procedencias, y riqueza en gluten, para obtener harinas destinadas o panes específicos.

Es frecuente que el pan se sazone con sal y especias (que varían dependiendo de las regiones y las costumbres) y que se le añadan otros elementos como grasas, semillas, frutos, etc. El pan se elabora en multitud de formas, por razones tanto de utilidad (panes en moldes cuadrados para ahorrar espacio en el horno) como religiosas o culturales (panes en forma de espiral simbolizando el infinito).

En cuanto a su elaboración, son también numerosas las diferentes maneras de cocinarlo: en horno, sartén, cazuela, parrilla, en cenizas, sobre el fuego.

2.4.3.1. El agua

El agua es uno de los ingredientes fundamentales en la elaboración del pan, su calidad tiene una influencia notable en la tecnología de la panificación y en los productos de ella obtenidos. Esta agua debe ser potable lo que implica apta para el consumo, libre de contaminantes y microorganismos.

2.4.3.1.1. Funciones:

- Hidrata el almidón que junto con el gluten dan por resultado la masa plástica, suave y elástica.
- Las sustancias minerales disueltas en el agua confieren facilidad de trabajar la masa.
- Participa en la hidratación de los almidones y formación del gluten.
- Mantiene y determina la consistencia de la masa.
- Hace posible el desenvolvimiento de la levadura.
- Solvente de la sal y azúcar agregadas a la masa.
- Hace posible la acción de las enzimas.

Es importante que el agua esté en una proporción adecuada ya que las proteínas y los almidones la van integrando, esto hace que deje de ser agua y pase a ser kilos de masa.

⁹ Elaboración de pan - Biotecnología de la fermentación – Monografias.com.mht

2.4.3.2. La Sal

La Sal es otro de los ingredientes básicos en la elaboración del pan. La sal de cocina o cloruro sódico, constituye un elemento indispensable para la masa del pan, esta debe poseer las siguientes características:

- De bajo costo, se usa sal tal y como se extrae de las salineras, no refinada
- En solución acuosa debe ser limpia y sin sustancias insolubles depositadas en el fondo.
- Debe contener sales de calcio y de magnesio
- Debe ser salada y no amarga.

2.4.3.2.1. Funciones:

- Por su higroscopicidad (capacidad de absorción de agua) influye en la duración y en el estado de conservación del pan
- Regula la fermentación no permitiendo que la levadura fermente desordenadamente. Controla la acción de la levadura evitando fermentaciones indeseables en la masa, retarda la fermentación de la levadura y con la mayor fuerza del gluten, produce una fermentación más lenta y equilibrada, con suficiente estabilidad en la fermentación final. La miga resulta de poros finos.
- Mejor coloración de la corteza: la sal por sí misma no produce color, pero como en la masa quedan más azúcares (al demorar la fermentación se consumen menos azúcares) con capacidad de oscurecer la corteza.
- Ejerce una función bactericida. Retarda el crecimiento de microorganismos fermentativos secundarios como son los productores de ácido acético.
- Da sabor y hace resaltar los sabores de los otros ingredientes.
- Actúa principalmente sobre la formación del gluten ya que la gliadina es menos soluble en agua con sal, obteniéndose así mayor cantidad de gluten.

- Se obtiene una masa más compacta que aquella que no posee sal, haciéndola más fácil de trabajar.
- La cantidad de sal a usar, varía con el tipo de pan que se desea producir, de acuerdo a lo formulación. El porcentaje varía del 1% al 3%.

2.4.3.3. Azúcares y Endulzantes

Elementos presentes en la harina, su importancia en el gusto del pan es de suma relevancia.

Las presentes en la masa pueden ser de cuatro tipos:

- Los presentes en la harina, de los cuales solo el 1% de estos son capaces de fermentar.
- La Maltosa, azúcar derivada de la acción de la alfa amilasa sobre el almidón presente en la harina; esta clase de azúcar es más susceptible a fermentar.
- La Lactosa, azúcar no susceptible de fermentar que procede de la leche. Esta está presente solo en la formulación de algunos tipos de pan.
- Azucres añadidos. Entre los azúcares añadidos es la azúcar obtenida de la caña la que generalmente se adiciona a las masas para pan.

2.4.3.3.1 Funciones:

- Alimento para la levadura: La azúcar añadida es rápidamente consumida por la levadura, mientras tanto las enzimas convierten el azúcar complejo en mono y disacárido los cuales pueden ser consumidos por la levadura, así se tiene una fermentación más uniforme.
- Colorante del pan: el color café característico proviene de la caramelización de los azucres residuales que se encuentran en la corteza de la masa después que la misma ha fermentado.

- Actúa acentuando las características organolépticas como son la formación del aroma, color de la superficie.
- Aumenta el rango de conservación ya que permite una mejor retención de la humedad, manteniendo más tiempo su blandura inicial, retrasando el proceso de endurecimiento.

2.4.3.4. Los Mejorantes

Como su propio nombre indica, estos «mejorantes» están destinados a mejorar los productos en la panadería.

La tarea de los mejorantes es la de reforzar las características de la harina, para que la masa resultante pueda ser manipulada en un proceso mecanizado. Así, la masa tendrá una buena capacidad de producción y retención de gas. Dichas características no deben alterarse como consecuencia del rápido tren de laboreo. Para que éstos mantengan una buena estabilidad, a la par que un buen desarrollo, la aportación de un mejorante es muy valiosa.

La consecuencia final sobre el producto, cuando se han utilizado el tipo y la dosis adecuados es un mayor desarrollo de la pieza, mayor suavidad de la miga, buen color y brillo de la corteza, que cruje suavemente sin desprenderse.

Las razones del uso de los mejorantes panarios son de dos tipos:

- Permiten adaptar las harinas a los procesos actuales, altamente mecanizados, independientemente del tipo de panadería.
- Mejoran la regularidad de las fabricaciones, amortiguando las variaciones de las harinas o de las condiciones del proceso.
- Garantizan el desarrollo de una malla de gluten resistente y que permite retener la abundante y rápida producción de gas que genera la suplementación con amilasas.
- Se obtiene productos de mayor volumen y finura, más ligeros, conforme demanda el consumidor.

2.4.3.4.1. Composición

Habitualmente, son una mezcla de tres tipos de materias activas fundamentales: agentes oxidantes, emulsionantes y enzimas, Además, pueden ir otras sustancias de acompañamiento, sean harinas de leguminosas, gluten o gasificantes, cuya función es la de acomodar los mecanismos de actuación fundamentales, a usos más específicos.

Siempre existirá un excipiente, la materia que permite la mezcla de los diferentes ingredientes y la dosificación posterior de los productos: harina de trigo, carbonato cálcico y otros.

2.4.3.4.2. Tipos de Mejorantes

- **Bromato de potasio:** Se trata de una sal oxidada cuya función es estabilizar el gluten y lograr masas elásticas impidiendo el escape de gas. Es utilizado en dosis superiores, agrieta el pan y produce problemas de salud severos, actualmente se están desarrollando mejoradores que permitan suplantarlos.
- **Aditivos con bromato:** Su objetivo es reforzar la red de gluten. Dan mayor volumen a las piezas, mejor color, aroma y sabor. Permiten la apertura del corte (incisión) y la obtención de panes con miga blanca, húmeda y alveolada.
- **Mejoradores sin bromato:** Reemplazan el uso del bromato y los aditivos con él, a través de una combinación de enzimas y emulsionantes.
- **Extracto de malta:** Es un jarabe espeso y viscoso que se obtiene de la maceración del grano de cebada germinada. Ayuda a acelerar el proceso de fermentación, la masa se colorea mejor en el horno y el pan adquiere un mejor gusto.

2.4.3.5. La Levadura

Se entiende por levaduras un grupo particular de hongos unicelulares caracterizados por su capacidad de transformar los azúcares mediante mecanismos reductores o también oxidantes. Su reproducción es por gemación, particularmente activa en aerobiosis.

Para la fermentación de masas primarias se emplean levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*, capaz de fermentar azúcares produciendo anhídrido carbónico y alcohol.

2.4.3.5.1. Funciones

- Hace posible la fermentación, la cual de alcohol y gas carbónico.
- Aumenta el valor nutritivo al suministrar el pan proteína suplementaria.
- Convierte a la harina cruda en un producto ligera.
- Da el sabor característico al pan.

2.4.3.5.2. Tipos de Levaduras

En el comercio se encuentran dos tipos:

• **La levadura seca activa:** Es la obtenida de cepas de diferentes géneros, donde las células se desecan hasta tener una humedad inferior al 8%. Esta levadura es resistente al desecamiento, a las concentraciones elevadas de azúcares y a algunos inhibidores como el propionato de calcio. Esta es más resistente conservándola a temperatura ambiente que la comprimida, ya que esta última pierde más del 6,55 de su actividad en cuatro meses a 4°C.

• **La levadura compresada o fresca:** Es usada más a nivel casero, la sustitución de la levadura comprimida por la levadura instantáneo o seca se efectúa teniendo en cuenta que la funcionalidad de esta última es tres veces superior a la levadura comprimida, por lo que se emplea una cantidad igual a cerca de un tercio de la empleada normalmente.

Se presenta en paquetes de 1/2 Kg., 1 Kg, ó 5 Kg., precortados. Para las grandes panificadoras se fabrican sacos de 25 Kg., para ser disueltos en agua, y dosificar automáticamente la levadura en las amasadoras.

La levadura previamente disuelta en agua, suele dar mejor rendimiento, aunque esto depende de las características de la masa.

2.4.3.5.3. Dosificación y su efecto en la fuerza de la masa

La cantidad de levadura utilizada normalmente oscila entre los 20gr y los 30gr por kilogramo de harina en las masas de pan normal. Para las masas enriquecidas con azúcares y grasas, la dosificación es superior hasta en 10gr. por kilo de harina.

Lo cantidad de levadura, así como el momento de su incorporación, juegan un papel importante en la calidad del pan. A mayor cantidad de levadura la masa adquiere mayor fuerza, y para compensarla, hay que reducir su reposo; por el contrario, a menor cantidad de levadura se aumentará el tiempo de reposo.

De igual modo, si se incorpora la levadura al principio del amasado, dotará a la masa de mayor fuerza respecto a aquella en la que la levadura se haya incorporado al final. De modo práctico puede decirse que si la cantidad de levadura es superior a 20 gr. por kilo de harina y la división de la masa se va a realizar en una pesadora automática, resultará ventajoso incorporarlo al final del amasado.

2.4.3.5.4. Almacenamiento de la Levadura

Las propiedades del producto vivo que adquirimos, van a evolucionar en función de las condiciones de almacenamiento y, principalmente, de la temperatura.

Para evitar el deterioro de sus características, debe conservarse siempre en refrigerador o en cámara frigorífica, entre 0° C y 10° C, si bien la temperatura óptima es de 4° C. En estas condiciones, y siempre que no se dañen los envases, se garantiza su perfecta conservación durante treinta días. Naturalmente la frecuencia de suministro habitual hace innecesario un almacenamiento tan prolongado.

¹⁰ Elaboración de pan - Biotecnología de la fermentación – Monografias.com.mht

2.4.3.5.5. Influencia de la temperatura en la levadura

- 55° C Muerte de la levadura.
- 45° C Frena la actividad.
- 20 - 40° C Aumenta progresivamente su actividad.
- 10 - 15° C Se ralentiza la actividad fermentativa.
- 4° C Fermentación prácticamente bloqueada.

2.4.3.6. La Materia Grasa

Las grasas son una de las sustancias que con más frecuencia se emplean en pastelería y en la elaboración de productos de horneado. Su empleo como mejoradora de las características de la masa y como conservante viene corroborado en numerosas investigaciones, este depende de su propiedad emulsionante.

2.4.3.6.1. Tipos de Grasas

El tipo de grasa presente en el pan puede tener diversos orígenes:

- **Aceite:** Es líquido a temperatura ambiente y puede derivar de vegetales o animales. Algunos se emplean en la elaboración de margarinas.
- **Manteca:** Se obtiene por el batido de la crema de leche sin ningún otro agregado. Funde a los 33°C.
- **Margarinas:** Es la materia grasa más utilizada en el mundo, más económica que la manteca y se obtiene a partir de una mezcla de grasas o aceites con leche y aditivos. Varían en margarinas blandas y duras. Las primeras, por su bajo punto de fusión (35°C) se asemejan a la manteca y se emplean como ella, las margarinas duras (44°C) son especiales para la elaboración de hojaldres.

- **Grasas:** Son un producto más refinado que la margarina y se dividen según su origen, en vacuna o porcina. Su punto de fusión es muy alto (44°C) y se emplea solamente en algunos productos panificados.

2.4.3.6.2. Funciones:

- Facilitan la emulsión, dando mayor estabilidad respecto a la que se puede obtener solamente con proteínas.
- Retarda el endurecimiento del pan y mejora las características de la masa.
- Mejora la conservación, la grasa disminuye la pérdida de humedad y ayuda a mantener fresco el pan.
- Mejora la apariencia, produciendo un efecto lubricante.

2.4.3.6.3. El Lado Negativo

Por otra parte, entre los efectos que tiene al contener excesos de grasa en el pan se encuentran: la pérdida de volumen, la textura y gusto grasoso.

2.4.3.7. La Leche

La leche utilizada comúnmente en panificación es la leche en polvo descremada, por sus múltiples razones de orden práctico, tales como: su uniformidad, su facilidad de manejo, la ausencia de necesidad de refrigeración, su precio, su mínima pérdida por fácil empleo, bajo espacio al almacenar y duración. La leche ejerce así mismo un marcado efecto tampón o buffer sobre las reacciones químicas de la masa, las que ocurren como resultado de las fermentaciones.

¹¹ Reyes, Rómulo. Mejía, Melecio. (2006). Panadería y Pastelería. Ediciones Mirbet. Primera edición. Lima (Perú); Pag. 31.

2.4.3.7.1. Funciones:

- Mejora el aspecto y color del pan: La lactosa de la leche que no es fermentada por la levadura, otorga un rico color dorado a la corteza, resultado de las reacciones de pardeamiento no enzimático de estas con las proteínas bajo influencia del calor en el horno.
- Ayuda a que se forme una corteza fina. Debido a que la leche capta humedad y la retiene, evita la migración desde la corteza hacia el medio ambiente.
- Aumenta el valor nutritivo del pan: La caseína, la cual representa alrededor del 75% de las proteínas de la leche, es una proteína casi perfecta, desde el punto de vista del balance de aminoácidos, por lo cual aumenta a niveles altos el valor nutritivo. Además, la lisina presente en la leche, contribuye a solucionar la deficiencia del contenido de este aminoácido en la harina de trigo. Además la leche aporta minerales y vitaminas.
- Mejora la conservación del pan.
- Mejora sabor y aroma.

2.5. Operaciones unitarias que intervienen en el proceso

2.5.1. Cocción

La cocción es la última fase en el proceso de panificación. La temperatura y la duración de la cocción varían según el tamaño y el tipo de pan. La temperatura oscila entre 220 y 260°C en una atmósfera de vapor y el tiempo puede variar desde 13-18 minutos para panes de 200 g, a 45-50 minutos para panes grandes de 2000 gramos. En cualquier caso, en el interior de la pieza no se superan jamás los 98°C.

El pan pierde, como término medio, un 20% de su peso en masa y, en los primeros minutos que transcurren una vez sacado el pan del horno, vuelve a registrarse una pérdida de peso de más o menos el 3% sobre su peso en masa.

El calentamiento en el horno rápido da lugar a la formación de una costra impermeable que retiene la humedad y la grasa e impide la degradación de diversos nutrientes y componentes aromáticos. Se forma, como consecuencia de ello, un acusado gradiente de presión de vapor entre el interior (a_w elevada) y la superficie del alimento (a_w baja).

El vapor introducido al principio de la cocción se condensa sobre la superficie del producto, limitando la deshidratación de la capa superficial de la masa, así permanece elástica más tiempo, permitiendo mejor el empuje del CO_2 en los primeros instantes de la cocción. Además de limitar las pérdidas de peso por evaporación superficial y permitir el máximo desarrollo en el horno, el vapor facilita el brillo de la corteza. Por otro lado, la introducción de vapor provoca grandes turbulencias que facilitan la transferencia de calor al producto.

Así mismo, la elevada temperatura y el bajo contenido en agua de las capas superficiales provocan la caramelización de los azúcares y la oxidación de los ácidos grasos a aldehídos, lactonas, cetonas, alcoholes y ésteres. Cada aminoácido desarrolla, cuando se calienta con un azúcar determinado, un aroma característico. Se pueden distinguir dos fases durante la cocción: en la primera, tras la inactivación de las enzimas, el gluten coagula y el almidón gelatiniza, produciéndose una pérdida de elasticidad en la pieza. En la segunda se desarrolla la corteza.

2.5.2. Fenómenos que se producen en la masa durante la cocción.

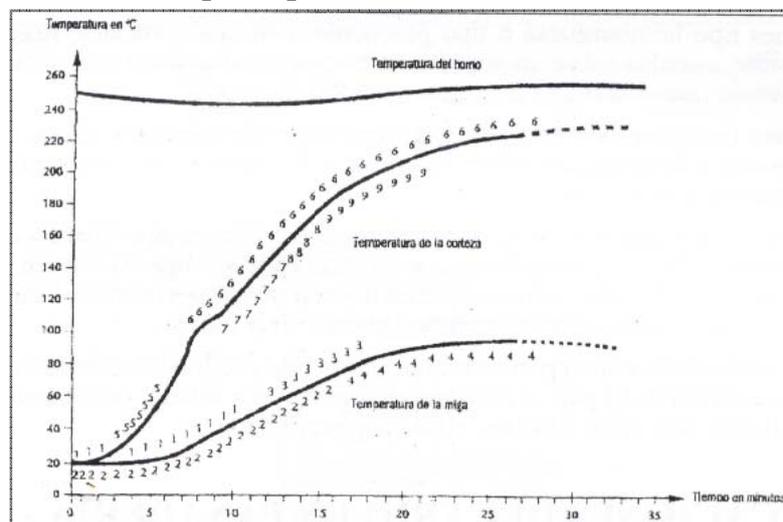
Las transformaciones físicas y químicas que tiene lugar en las masas durante la cocción se encuentran resumidas en el gráfico N° 12.

1. Activación y muerte de la levadura: En los primeros instantes, el metabolismo de la levadura se intensifica, el CO_2 producido contribuye al último impulso de la pieza. La dilatación producida por el calor en estos gases forma alveolos internos. Se produce la apertura de los cortes (greñas) de las piezas.

2. Amilolisis: Las α -amilasas fúngicas se activan con el incremento de temperatura. Se produce la formación de dextrinas. Por encima de 70°C son destruidas.

3. El almidón del grano de trigo tiene una temperatura óptima de gelatinización próxima a 65-70°C. El almidón gelatinizado es soporte de la estructura de la miga, contribuyendo a la textura del pan.
4. El gluten va coagulando a la vez que los alveolos se dilatan por efecto del calor sus efectos condicionan, así mismo, la textura de la miga del pan.
5. El gas producido por la levadura y el proveniente de la evaporación provoca la expansión de la pieza. La presión producida en el interior de la masa realiza la ruptura de la superficie por la parte más débil de la misma (cortes),
6. A partir de 100°C la corteza empieza a perder en primer lugar la humedad y se vuelve rígida, siguiendo un progresivo secado y pérdida de humedad que se acentúa a partir de los 140°C hasta llegar a los 220°C (temperatura de la corteza a la salida del horno).
7. El calentamiento a temperatura por encima de 100°C en un medio ácido poco hidratado como la periferia de la masa, origina una hidrólisis importante del almidón.

Grafico N° 12
Fenómenos que se producen en la masa durante la cocción



Fuente: Callejo González, María Jesús. (2002). Industria de Cereales y derivados. Pág. 237

2.5.3. Tipos de Hornos

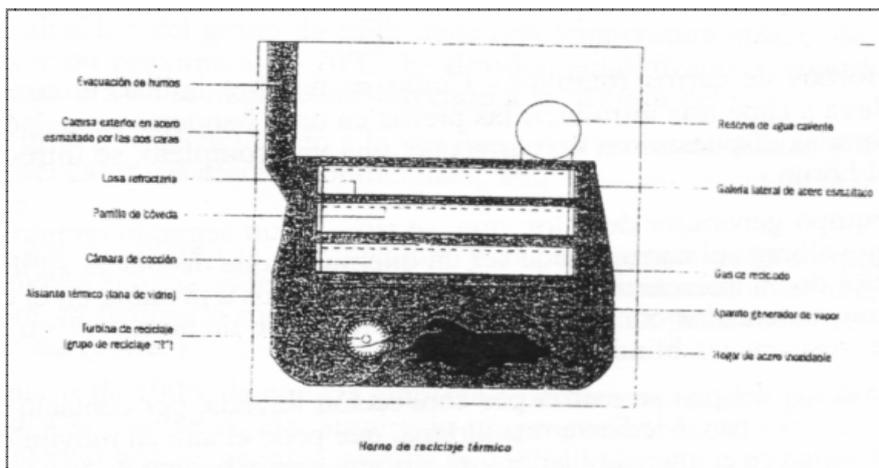
Entre los diferentes tipos de hornos que se pueden usar para la cocción del pan, se citarán los más difundidos.

2.5.3.1. Hornos de solera fija metálicos:

- **Hornos de reciclaje térmico.-** Este tipo de hornos, que presentan una inercia térmica baja, está muy extendido. Esta tecnología apareció en 1930. Se trata de una versión moderna de los hornos más primitivos denominados morunos o de mampostería. Son hornos metálicos, ligeros. Generalmente con 2, 3 o 4 soleras.

En la parte baja se localiza el hogar, equipado con un quemador de aire forzado. Una turbina asegura la circulación de los productos de combustión en torno a las cámaras; los gases de la combustión serán parcialmente reciclados, otra parte se eliminará por la chimenea. En uno o varios dispositivos integrados en el horno, se lleva a cabo la producción de vapor.

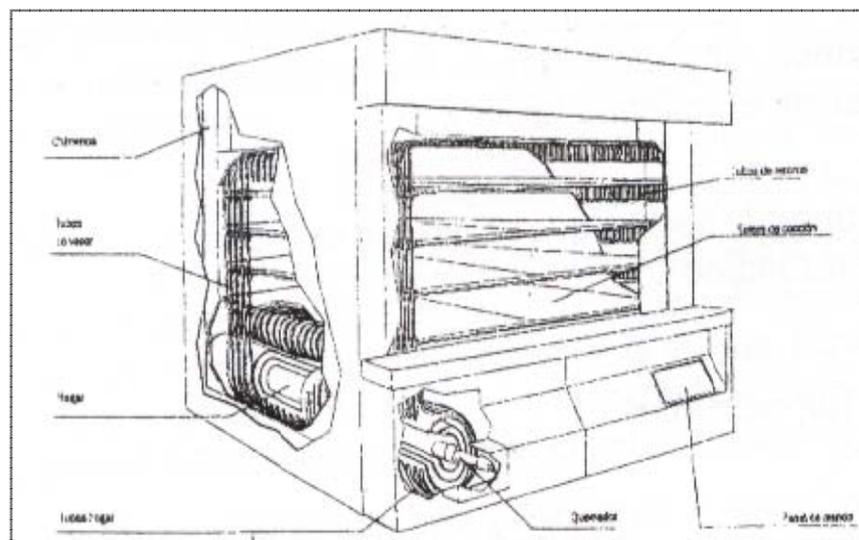
Gráfico N° 13
Hornos de Reciclaje Térmico



Fuente: Callejo González, María Jesús. (2002). Industria de Cereales y derivados. Pág. 233

- **Hornos de tubos de vapor.-** Dotados de 2 a 4 soleras de cocción, el calentamiento de las cámaras de cocción se realiza por medio de tubos de vapor de forma anular. Estas tienen un bucle que rodea el hogar y ramales situados en torno a las cámaras de cocción, por las que sube el vapor formado por la ebullición del agua que, al arrancar el quemador se encuentra en el bucle. Su inercia es media y la potencia necesaria del orden de 8 kw/m^2 de superficie de cocción. El vapor cede su energía calorífica y se condensa, retornando por gravedad hasta el bucle por el segundo ramal vertical de los tubos. Su inercia es media.

Gráfico N° 14
Hornos de tubos de vapor



Fuente: Callejo González, María Jesús. (2002). Industria de Cereales y derivados. Pág. 234

- **Hornos eléctricos.-** Con cámaras independientes de cocción, en cuyo interior se encuentran las resistencias. La subida de temperatura es muy rápida. Potencia instalada entre 4 y 5 kw/ m^2 .

¹² Callejo González, María Jesús. (2002). Industria de Cereales y derivados. AMV, Mundi Prensa Ediciones. Primera Edición. Madrid (España).

Gráfico N° 15
Hornos eléctricos



Fuente: www.horval-hornos.com

- **Hornos de circulación de aceite.-** Funcionan por el sistema de calefacción central. El aceite, que tiene la propiedad de no degradarse hasta temperaturas de 300°C, se calienta en una caldera independiente del horno y se bombea caliente a los radiadores situados por encima y por debajo de las cámaras de cocción.

Entre sus ventajas está su excelente rendimiento térmico y la homogeneidad de la cocción (Muy pequeña diferencia de temperatura del aceite a la entrada y la salida de los radiadores). Se fabrica tanto en versión de solera fija como de carros y túnel.

2.5.3.2. Hornos de carros rotativos

Como su nombre indica, la cocción se lleva a cabo tras introducir las piezas en unas bandejas acanaladas perforadas dispuestas en un carro que, una vez completo, se introduce en el horno.

¹³ www.horval-hornos.com

El equipo generador de calor, que se sitúa en un segundo recinto adosado al que alberga el carro, puede ser un quemador que despliega su llama en el interior de un intercambiador de tubos mantenidos a presión, en el caso de los hornos calentados con fuel o con gas. En el caso de hornos eléctricos, se trata de resistencias blindadas.

La cocción del pan se realiza por convección forzada, por contacto directo entre el aire y el pan. Mediante una turbina, que pone el aire en movimiento, el aire se calienta en el intercambiador y se introduce en el recinto de cocción a través de unas aperturas laterales, para ser posteriormente reciclado. Unos canales metálicos fijados sobre la pared trasera del recinto del horno, permiten que el agua chorree, produciendo vapor por evaporación del agua.

Su consumo es de aproximadamente 5kw/5 kg de pan. La potencia térmica instalada es de 160 kw para un horno de 2 carros de 80x80, cuando se utiliza gas o fuel.

Gráfico N° 16
Hornos de carros rotativos



Fuente: www.horval-hornos.com

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Aspectos metodológicos del estudio

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizará en la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo, ubicado en Santo Domingo de los Colorados, Vía Chone margen derecho Km 4 ½ a un kilómetro.

3.1.2. Tipo de investigación

a.- Experimental: Esta investigación es de carácter experimental a través de la cual se modificara la concentración de enzima como variable independiente y su posterior medición de las propiedades reológicas de la harina y modificaciones organolépticas del pan como variables dependientes.

b.- Correlacional: La presente investigación es de carácter correlacional, descriptivo, puesto que se va a caracterizar el comportamiento de la enzima xilanasa en diferentes tipos de harina y diferentes concentraciones.

3.1.3. Métodos de investigación

La investigación se apoya en el método científico porque esta formulado de una manera lógica y estructurada que respalda los objetivos propuestos para lo cual es necesario apoyarse en el método inductivo y estadístico.

a.- Método Inductivo

Por que veremos los fenómenos particulares con el propósito de llegar a conclusiones generales.

b.- Método Estadístico

Es estadístico porque se basa en tabulación, cálculo y ordenamiento de datos para encontrar los mejores resultados obtenidos en las encuestas, y por el diseño experimental.

3.1.4. Fuentes y técnicas de investigación

Para la recolección de datos necesarios, y llevar a cabo esta investigación utilizaremos:

- Fuentes secundarias tales como: libros, folletos, revistas.
- Técnicas como: la revisión de literaturas, revisión de documentos, consultas a expertos, trabajo de campo, Internet, fichas bibliográficas y herramientas estadísticas.

3.2. Materiales, equipos y materia prima para cada uno de los procesos en el laboratorio.

3.2.1. Materiales

- Termómetro
- Probeta
- Matraz
- Pipeta
- Cuchara
- Moldes para hornear
- Cuchillo
- Bolillo

3.2.2. Equipos

- Baño maría
- Espectrofotómetro
- Equipo de filtración
- Horno
- Cámara de fermentación
- Batidora eléctrica
- Balanza
- Cronometro

3.2.3. Materia prima

- Harina de trigo
- Agua
- Sal
- Azúcar
- Manteca
- Enzima liofilizada

3.3. Caracterización de harinas

En esta investigación se trabajo con tres tipos de harina:

- a. Harina Ya
- b. Harina Super 4
- c. Harina de uso general

Las harinas se adquieren en el mercado local y corresponde a las marcas: harina Ya, harina Super 4 y harina de uso general, las mismas que se someten a un proceso de caracterización para evaluar su comportamiento.

Cuadro N° 2
Caracterización de harinas

PARÁMETRO	HARINA YA	HARINA SUPER 4	HARINA DE USO GENERAL
	%	%	%
HUMEDAD	8,2	12,5	9,4
PROTEINA	21	15,4	17,8
CENIZA	1,2	1	1,2
ACIDEZ	0,08	0,1	0,12
GRASA	3,6	2,8	2,4
FIBRA	2	1,7	1,6
PH	5,65	5,86	5,73

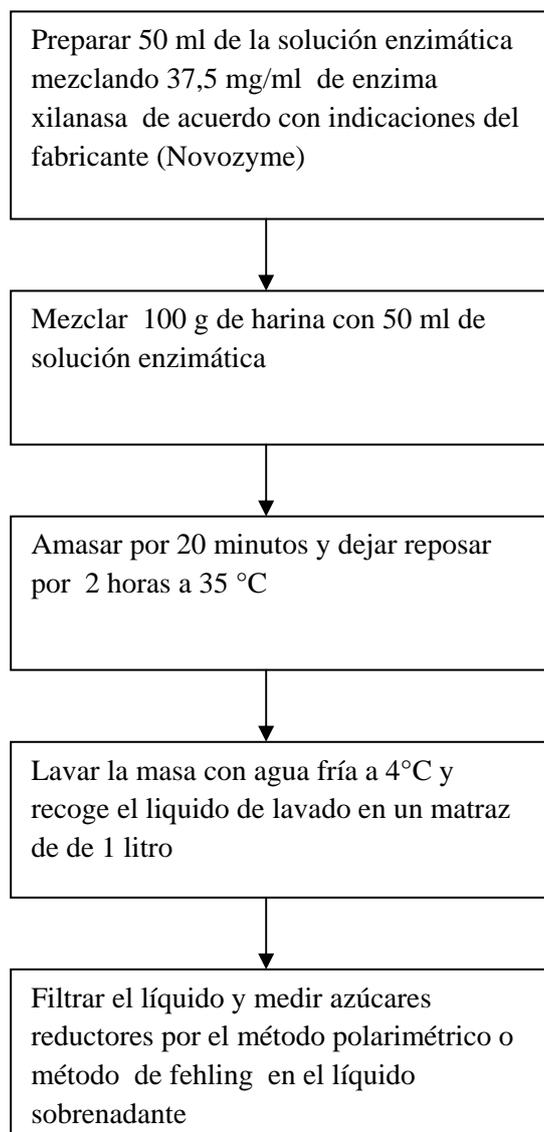
Fuente: Reyes Darwin/UTE 2008

3.4. Evaluación de la actividad enzimática de la enzima xilanasa

3.4.1 Ensayo de evaluación: según rouau y moreau (7)

Las enzimas se pueden inhibir o perder actividad si están contaminadas con bacterias, hongos, metales tóxicos, por presencia de inhibidores en la harina, por almacenamiento prolongado en condiciones desfavorables que la desnaturalizan, como alta temperatura o gases tóxicos, por esta razón la primera etapa de este trabajo consiste en medir el grado de hidrólisis que sufren muestras de harina patrón (harina sin aditivos) y comparar con harinas del mercado local en presencia de una dosificación exacta de enzima xilanasa y facilitar su acción hidrolítica manteniendo condiciones favorables de temperatura, pH y tiempo, parámetros que están fijados por la empresa que procesa este producto. El procedimiento se indica en el siguiente diagrama:

3.4.1.1. Diagrama de flujo Actividad xilanólítica



Los resultados se expresan en el cuadro N° 3

Cuadro N° 3
Ensayo de evaluación de la Actividad xilanólítica

TIPO DE HARINA	AZÚCARES REDUCTORES	AZÚCARES REDUCTORES
	MASA SIN ENZIMA BLANCO	MASA CON ENZIMA XILANASA
Harina Ya	0,22 %	3,43 %
Harina Super 4	1,22 %	4,72 %
Harina de Uso General	1,76 %	4,56 %

Fuente: Darwin Reyes, UTE 2008

3.4.1.2. Descripción del ensayo

3.4.1.3. Preparación de la solución enzimática

La enzima liofilizada y mantenida a 7 °C se pesa aseptícamente en un recipiente tarado de vidrio en una cantidad de 1,875 g para mezclar con 50 ml de agua atemperada a 35 °C se homogeniza y se mantiene en reposo por un tiempo de 10 a 15 minutos para su disolución e hidratación total.

3.4.1.4. Pesada y amasado de la harina

Aparte se pesa en una balanza técnica 100 g de las siguientes harinas:

- Harina Ya
- Harina Super 4
- Harina de uso general

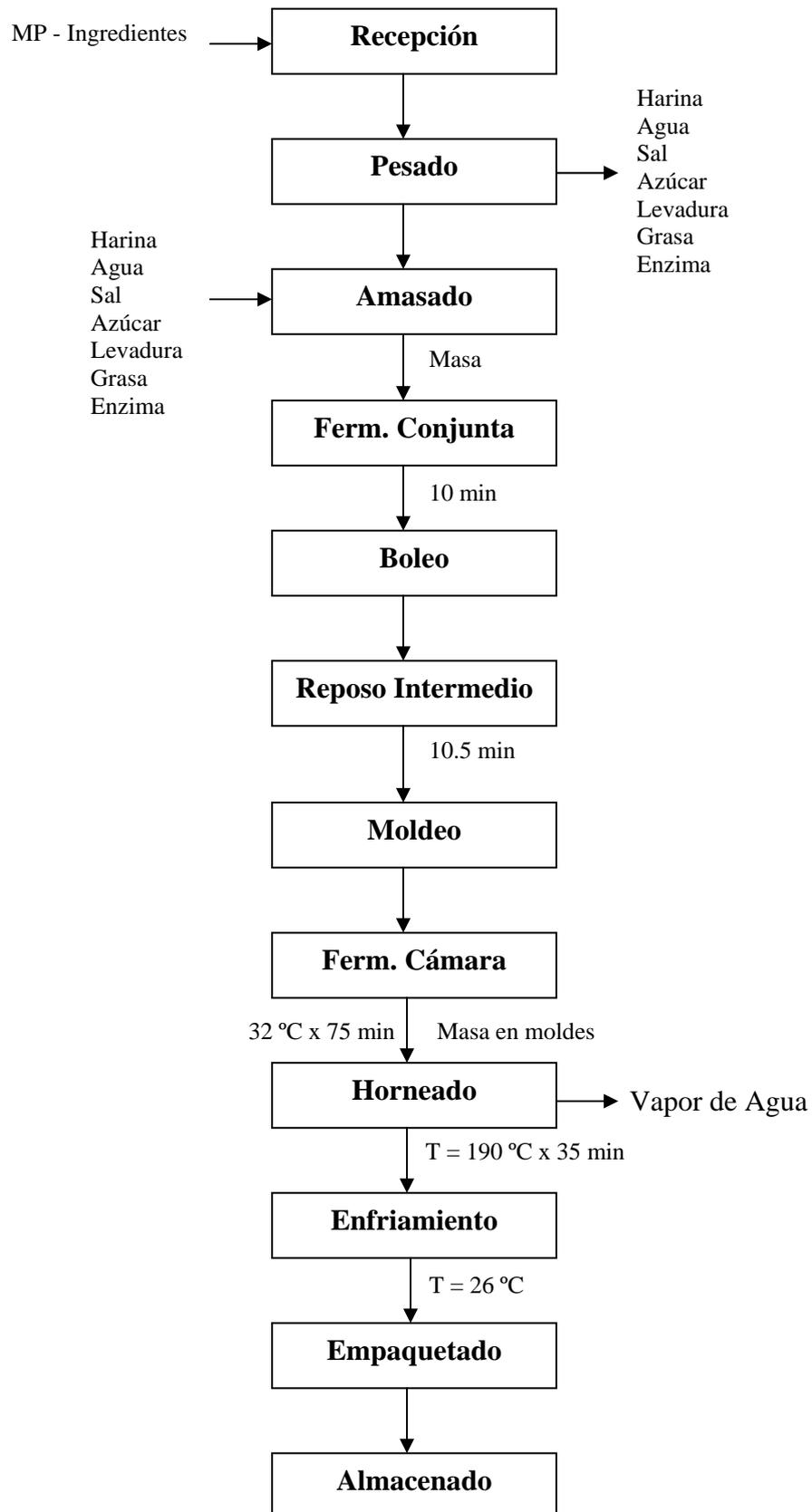
Y se mezcla progresiva y lentamente con la solución enzimática preparada en las mismas condiciones que el patrón hasta formar una masa elástica y bien amasada. Posteriormente se deja reposar la masa por 2 horas a 35 °C, para que las enzimas actúen en forma hidrolítica desdoblando azúcares simples especialmente pentosanos terminales.

3.4.1.5. Lavado y filtrado

La masa tratada con la enzima se lava con agua helada para detener la hidrólisis y se recoge el líquido de lavado que arrastra azúcares solubles que pueden ser cuantificados previo una filtración para eliminar residuos de almidón insoluble.

Para minimizar la solubilidad e interferencia del almidón es crítico mantener la temperatura por debajo de 10 °C que es el rango de temperatura en que el almidón es poco soluble.

3.5. Diagrama de flujo cualitativo para la elaboración de pan molde a nivel de laboratorio



3.5.1. Descripción del proceso

3.5.1.1. Recepción

Se receipta toda la materia prima que esté en buen estado especialmente la harina que no tenga impurezas, no debe contener insectos ni ningún otro contaminante, debe ser de color blanco o marfil.

3.5.1.2. Pesado

Se pesa la materia prima para la preparación del producto a desarrollarse, con el fin de tener los pesos respectivos para así poder sacar los balances.

3.5.1.3. Amasado

- Colocar en el recipiente de la mezcladora los ingredientes secos (harina, sal, azúcar, grasa, levadura y enzima).
- Adicionar agua a la mezcla seca.
- Poner en funcionamiento la mezcladora en velocidad media e iniciar la cuenta con el cronometro.
- Tomar un pedazo de masa, extenderla y ver si la película que se forma (liga) es transparente y fuerte, caso contrario se amasa un poco más y se hace de nuevo la prueba.
- Sacar la masa de la mezcladora y colocarla en la mesa de trabajo.

El crecimiento de la masa: si se sube demasiado, el pan se colapsa al meterlo al horno; si sube muy poco, el pan es pequeño, denso, duro y la miga no tiene textura en forma de panal.

3.5.1.4. Fermentación Conjunta

Se procedió a cubrir la masa con tela plástica y se la dejó reposar por 10 minutos.

3.5.1.5. Boleo

Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la estructura de la masa.

3.5.1.6. Reposo Intermedio

Dejar reposar la masa por 10.5 minutos, su objetivo es dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante el boleado.

3.5.1.7. Formación

- Formar bastones cuidando de expulsar todo el gas y procurando dar tres vueltas al enrollado, la parte del corte irá como asiento de la masa al ponerlo en el cajetín.
- Colocar la masa en el centro del cajetín sin pegarlo a las paredes.

3.5.1.8. Fermentación Cámara

Colocar los cajetines dentro de la cámara que debe estar a 30-32 °C por 75 minutos.

3.5.1.9. Horneado

Colocar los cajetines en el horno a una temperatura de 190 °C por 35 minutos hasta obtener un producto deseado con determinadas características, como es el sabor, color, aroma y la corteza, así como la textura de la miga y de la corteza.

3.5.1.10. Enfriamiento

Desmoldar los cajetines y dejar enfriar por el lapso de dos horas.

3.5.1.11. Empaquetado

Después del horneado se retiró los moldes del horno, para luego dejar en reposo por el lapso de dos horas tiempo para reducir la temperatura del pan a 26 °C y así ayudarnos a una mejor manipulación para un fácil empaquetado y etiquetado del producto final.

Los materiales de empaque idóneos son el papel suave y las bolsas de celofán o polietileno que muchas veces se fabrican especialmente para pan.

Las bolsas generalmente se amarran con un nudo en lugar de sellarlas con calor. No se recomienda empacar pan caliente en bolsas de plástico porque el vapor se condensa dentro de las bolsas, lo que humedece el producto e induce el crecimiento de mohos.

El peso de la unidad de pan está determinado por el peso de la pieza de masa, el que debe mantenerse uniforme en todas las hornadas.

3.5.1.12. Almacenado

Los productos obtenidos, se almacenaron en lugares de ambiente fresco a temperatura no mayor a los 18°C, para prolongar su vida útil. El principal problema de estos productos durante el almacenamiento es el moho, por lo que deben almacenarse en lugares secos, bien ventilados y frescos.

Cuando el pan se deja al aire libre se seca, convirtiéndose en un producto duro, no apto para comer.

3.6. Control de calidad del Pan

3.6.1. Análisis Bromatológica del Pan

Cuadro N°4
Análisis Bromatológica del Pan

Análisis	%
Humedad	11,40
Proteína	14,17
Ceniza	1,13
Grasa	29,99
Fibra	3,86

Fuente: Darwin Reyes, UTE 2008

3.6.2. Análisis físico o sensorial del Pan

Cuadro N° 5
Análisis físico o sensorial del pan

Propiedades	Resultados
Aspecto	Pardeado
Olor	Aromático propio
Presentación Comercial	Unidades a granel

Fuente: Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical “Leopoldo Izquieta Pérez” – Santo Domingo

3.6.3. Análisis microbiológico del Pan

3.6.3.1. Análisis microbiológico del Pan con 0 días de almacenamiento.

Cuadro N° 6
Análisis microbiológico del Pan con 0 días de almacenamiento

PARAMETRO DE IDENTIFICACION	METODOLOGIA	RESULTADOS	CRITERIO MICROBIOLÓGICO
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas	Recuento directo en placa (1:10)	< 2	< 100
Investigación de mohos y levaduras	Petrifilm	< 2	Ausencia
Investigación de enterobacterias	Recuento en placa 24-48	< 2	Ausencia
Investigación de E. Coli	Petrifilm	< 2	Ausencia
Recuento de staphylococcus	Petrifilm	< 2	Ausencia

Fuente: Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical “Leopoldo Izquieta Pérez” – Santo Domingo

Discusión del análisis microbiológico

Se obtuvo como resultado del análisis microbiológico del pan, la ausencia de mohos, levaduras, enterobacterias, staphylococcus, E. Coli., debido a que no tuvo ningún día de almacenamiento, por lo tanto la muestra analizada no contiene bacterias indicadoras de contaminación orgánica, además la temperatura de horneado es suficiente para la desnaturalización total de los microorganismos.

3.6.3.2. Análisis microbiológico del Pan a los 15 días de almacenamiento.

Cuadro N° 7
Análisis microbiológico del Pan a los 15 días de almacenamiento

PARÁMETRO DE IDENTIFICACION	METODOLOGIA	RESULTADOS	CRITERIO MICROBIOLÓGICO
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas (Colonias / ml)	Recuento directo en placa (1:10)	220	$< 1 \times 10^3$ *
Investigación de mohos y levaduras (Colonias / ml)	Petrifilm	5	< 100
Investigación de estafilococcus aureus (Colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2
Investigación de E. Coli (Colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2 *
Recuento de enterobacterias totales (Colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2 *

Fuente: Instituto Nacional de Higiene y Medicina Tropical “Leopoldo Izquieta Pérez” – Santo Domingo

Discusión del análisis microbiológico

Luego de los 15 días de almacenamiento se obtuvo como resultado del análisis microbiológico del pan, las siguientes características; se identificó un aumento de 220 (colonias / ml), de bacterias aerobias mesófilas, pero este aumento nos indica una lenta reproducción de bacterias considerando que el tiempo de almacenamiento es largo para un alimento perecible más aun considerando que la humedad del ambiente hidrata la masa al ser un buen absorbente de humedad, en cuanto a la presencia de mohos, levaduras, coliformes y recuento de enterobacterias el resultado está muy por debajo del límite máximo permisible, indicado por las normas INEN.

3.7. Diseño experimental

3.7.1. Determinación del mejor tratamiento

Para evaluar la eficiencia de la enzima xilanasa sobre la masa panaria se consideró como variables independientes el tiempo que tarda en romperse la masa elástica cuando es sometida a un contrapeso que estira la masa después de haber sido sometida a un proceso bioquímico de maduración de la masa con la enzima a 37 °C por un tiempo de 45 minutos, tiempo requerido para que la masa libere pentosanos externos dejando en libertad a la proteína fibrosa del gluten.

Se consideró también como variable tres tipos o marcas diferentes de harina que varía generalmente en su composición proteica y contenido de almidón parámetros que influyen directamente en las propiedades reológicas debido a que la proteína confiere elasticidad y pardeamiento del pan.

Variabes independientes:

- Cantidad de enzima xilanasa (mg)
- Tipos de harinas

Como indicadores de medición del proceso de degradación enzimática se utilizaron dos parámetros que evalúan la transformación bioquímica de la harina estas son:

- Tiempo que tarda la masa en romperse (segundos)
- Distancia máxima que se estira la masa antes de cortarse (cm)

Se aplicó un diseño de arreglo factorial A*B: (A x B x N° de réplicas = 2x3x2) que da un total de 12 tratamientos para cada parámetro en un mismo tiempo, además se trabajó en cada ensayo con un testigo que no contiene enzima para evaluar la diferencia.

Cuadro N° 8
Factores y niveles de estudio

FACTOR	NIVELES
A = Cantidad de enzima xilanasa	a1 0,2 mg a2 0,8 mg
B = Tipo de harina	b1 Harina Ya b2 Super 4 b3 Uso general

Fuente: Reyes Darwin/UTE 2008

- **Hipótesis alternativa (Hi):** La cantidad de enzima y el tipo de harina si influyen en el comportamiento reológico de la masa panaria.
- **Hipótesis Nula (Ho):** La cantidad de enzima y el tipo de harina no influyen en el comportamiento reológico de la masa panaria.

3.7.2. Combinación de los tratamientos experimentales

Cuadro N° 9
Combinación de los tratamientos experimentales

Notación del Tratamiento	Cantidad De Enzima Xilanasa	Tipo de Harina
A ₁ B ₁	0,2 mg	Harina Ya
A ₁ B ₂	0,2 mg	Super 4
A ₁ B ₃	0,2 mg	Uso general
A ₂ B ₁	0,8 mg	Harina Ya
A ₂ B ₂	0,8 mg	Super 4
A ₂ B ₃	0,8 mg	Uso general

Fuente: Reyes Darwin/UTE 2008

3.7.3. Resultados de los análisis realizados

Tabla N° 1

Análisis de varianza de bloques completamente al azar para datos de tiempo de estiramiento de la proteína

ADEVA PARA PRUEBAS REOLOGICAS DE TRES TIPOS DE HARINAS

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
tiempo	18	1.00	1.00	1.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	196495.72	7	28070.82	2947.93	<0.0001
factor A	77224.50	1	77224.50	8109.92	<0.0001
factor B	97027.11	2	48513.56	5094.77	<0.0001
repeticiones	40.11	2	20.06	2.11	0.1725
factor A*factor B	22204.00	2	11102.00	1165.90	<0.0001
Error	95.22	10	9.52		
Total	196590.94	17			

Análisis

En la tabla del ADEVA se observa que la interacción AxB es altamente significativa, es decir se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula que indica que si hay variación en el tiempo de estiramiento de la masa antes de romperse, si se modifica la cantidad de enzima y el tipo de harina en la evaluación de la propiedad reológica de la elasticidad. Esto se debe a que si bien el peso es el mismo la cantidad de pentosanos hidrolizados es diferente y por lo tanto a mayor cantidad de enzima la masa es más débil y el gluten se fragmenta más rápido.

Al haber diferencias altamente significativas entre los niveles del factor A cantidad de enzima se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos, y se acepta la hipótesis

alternativa de diferencias significativas, es decir la cantidad de enzima sí influyen en el tiempo necesario de estiramiento del gluten antes de romperse.

Para el factor B las diferencias son altamente significativas por la misma razón de que el tipo de harina si influye en los tiempos de estiramiento por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos.

Las repeticiones no resultaron con diferencias significativas es decir los ensayos se realizaron en las condiciones similares y los resultados tienden a seguir un comportamiento semejante si se repite el experimento.

El coeficiente de variación es de 1.19%. Este resultado confirma comportamiento similar de datos porque se trabaja en condiciones semejantes

PRUEBA DE TUKEY

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.24113

Error: 9.5222 gl: 10

factor A	Medias	n	
2.00	193.56	9	A
1.00	324.56	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 4.88415

Error: 9.5222 gl: 10

factor b	Medias	n	
1.00	189.17	6	A
2.00	227.50	6	B
3.00	360.50	6	C

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

factor a	factor b	Medias	n	
2.00	1.00	125.00	3	A
2.00	2.00	204.33	3	B
1.00	2.00	250.67	3	C
2.00	3.00	251.33	3	C
1.00	1.00	253.33	3	C
1.00	3.00	469.67	3	D

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas para el factor A cantidad de enzima, se procedió a realizar la prueba de significación de Tukey al 5%. En esta prueba se obtuvo tres rangos de significación. El primer rango corresponde a la cantidad de enzima de 0.2 mg /kg de masa con un tiempo promedio de ruptura de 324 segundos. El segundo rango corresponde a la cantidad de enzima de 0,8 mg con un valor promedio de tiempo de ruptura de 193 segundos. El menor tiempo de estiramiento antes de romperse corresponde a la interacción A2B1 es decir contenido de enzima de 0,8 mg y harina marca Ya, con un tiempo promedio de 125 segundos estos resultados indican que a mayor cantidad de enzima mayor ruptura de xilanos resultando además que la harina Ya presenta , mayor facilidad para la actividad enzimática.

Tabla N° 2
Análisis de varianza de bloques completamente al azar para datos de distancia de estiramiento del gluten

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Extensibilidad	18	0.97	0.95	3.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	14.75	7	2.11	46.95	<0.0001
Factor A	0.16	1	0.16	3.58	0.0879
Factor B	14.37	2	7.18	160.04	<0.0001
Repetición	0.06	2	0.03	0.64	0.5459
Factor A*Factor B	0.17	2	0.08	1.87	0.2044
Error	0.45	10	0.04		
Total	15.20	17			

Análisis

En la tabla del ADEVA se observa que la interacción AxB no es significativa, es decir se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula que indica que no hay variación significativa en la extensibilidad del gluten antes de romperse, si se modifica la cantidad de enzima y el tipo de harina en la evaluación de la propiedad reológica de la elasticidad, es decir la enzima tiene similar comportamiento con todas las harinas

Al no haber diferencias altamente significativas entre los niveles del factor A cantidad de enzima se acepta la hipótesis nula de igualdad de tratamientos, y se rechaza la hipótesis alternativa de diferencias significativas, es decir la cantidad de enzima no influyen en el tiempo necesario de estiramiento del gluten antes de romperse, esto se explica debido a que la elasticidad es propiedad exclusiva de la proteína y la enzima modifica los pentosanos y oligosacáridos solubles.

Para el factor B las diferencias son altamente significativas por la misma razón de que el tipo de harina si influye en la extensibilidad, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos.

Las repeticiones no resultaron con diferencias significativas es decir los ensayos se realizaron en las condiciones similares y los resultados tienden a seguir un comportamiento semejante si se repite el experimento.

El coeficiente de variación es de 3.13%. Este resultado confirma comportamiento similar de datos porque se trabaja en condiciones semejantes.

PRUEBA DE TUKEY

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 0.33534

Error: 0.0449 gl: 10

Factor B	Medias	n	
1.00	5.53	6	A
3.00	7.12	6	B
2.00	7.63	6	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas para el factor B tipo de harina, se procedió a realizar la prueba de significación de Tukey al 5%. En esta prueba se obtuvo tres rangos de significación. El primer rango corresponde a la harina marca Ya con una extensibilidad promedio antes de romperse de 5,53 cm. El segundo rango corresponde a la harina marca Super 4 con una extensibilidad promedio antes de romperse de 7,63 cm y el tercer rango corresponde a la harina de uso general con una extensibilidad

promedio antes de romperse de 7,12 cm, es decir esta harina tiene un gluten más elástico propiedad que favorece para elaborar un pan más voluminoso.

Las interacciones entre contenido de enzima y tipo de harina indican que a mayor cantidad de enzima mayor es la degradación sobre los xilanos y esto afecta al gluten en su propiedad elástica.

Tabla N° 3
Análisis de varianza para evaluar la capacidad de absorción de agua

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CPAC. ABSORCION	36	0.99	0.98	1.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
HORAS	2013.02	1	2013.02	1551.28	<0.0001
ENZIMA	571.14	2	285.57	220.07	<0.0001
TIPO DE HARINA	55.25	2	27.63	21.29	<0.0001
REPETICIONES	3.61	1	3.61	2.78	0.1136
HORAS*ENZIMA	117.74	2	58.87	45.37	<0.0001
HORAS*TIPO DE HARINA	43.52	2	21.76	16.77	0.0001
ENZIMA*TIPO DE HARINA..	37.67	4	9.42	7.26	0.0013
HORAS*ENZIMA*TIPO DE ..	96.92	4	24.23	18.67	<0.0001
Error	22.06	17	1.30		
Total	2960.94	35			

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas entre los niveles del factor A (horas de maduración) se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos, y se acepta la hipótesis alternativa de diferencias significativas, es decir el tiempo de maduración de la masa si influye en la capacidad de absorción de agua.

Para el factor B (Cantidad de enzima) las diferencias son altamente significativas por la razón de que si influye la cantidad de enzima en la capacidad de absorción de agua

durante la maduración de la masa con la enzima, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos.

Para el factor C (tipo de harina) las diferencias son altamente significativas por la razón de que si influye el tipo de harina en la capacidad de absorción de agua de la masa en maduración, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de tratamientos.

Las repeticiones no resultaron con diferencias significativas es decir los ensayos se realizaron en las condiciones similares y los resultados tienden a seguir un comportamiento semejante si se repite el experimento.

En la tabla del ADEVA se observa que la interacción (horas x cantidad de enzima) es altamente significativa, es decir se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula que indica que si hay variación en la capacidad de absorción de agua, si se modifica el tiempo de maduración de la masa y cantidad de enzima , esto se debe a las continuas modificaciones bioquímicas que ocurre cuando catalizadores altamente específicos como son las enzimas entran en contacto con los carbohidratos, a mayor cantidad de enzima mayor transformación.

Se observa también que la interacción (horas x tipo de harina) es altamente significativa, es decir se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula que indica que si hay variación en la capacidad de absorción de agua, si se modifica el tiempo de maduración de la masa y el tipo de harina, esto se debe a las continuas modificaciones bioquímicas que ocurren en la masa.

Se observa además que la interacción (cantidad de enzima x tipo de harina) es altamente significativa, es decir se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula que indica que si hay variación en la capacidad de absorción de agua, si se modifica la cantidad de enzima y el tipo de harina, esto se debe a la acción enzimática que ocurren en la masa.

Se observa además que la interacción (horas x cantidad de enzima x tipo de harina) es altamente significativa, es decir se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula que indica que si hay variación en la capacidad de absorción de agua, si se modifican las tres variables, se observa que la capacidad de absorción es muy dependiente del tiempo de maduración, capacidad de absorción de agua y el tipo de harina.

El coeficiente de variación es de 1.60%. Este resultado confirma comportamiento similar de datos porque se trabaja en condiciones semejantes

PRUEBA DE TUKEY PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE ABSORCION DE AGUA

HORAS	Medias	n	
1.00	78.89	18	A
2.00	63.93	18	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas para el factor horas de maduración de la masa, se procedió a realizar la prueba de significación de Tukey al 5%. En esta prueba se obtuvo dos rangos de significación. El primer rango corresponde a las 2 horas de maduración, con una capacidad promedio de absorción de agua de 78.89. El segundo rango corresponde a las 12 horas de maduración, con una capacidad promedio de absorción de agua de 63.93, es decir a mayor tiempo menor capacidad de retención de agua, el almidón se solubiliza y el gluten libera el agua absorbida.

ENZIMA	Medias	n	
3.00	66.18	12	A
2.00	72.21	12	B
1.00	75.84	12	C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas para el factor: cantidad de enzima, se procedió a realizar la prueba de significación de Tukey al 5%. En esta prueba se obtuvo tres rangos de significación. El primer rango corresponde a la cantidad de enzima de 0.2 mg /kg de masa con una capacidad promedio de absorción de 75.84. El segundo rango corresponde a la cantidad de enzima de 0,8 mg con una capacidad promedio de absorción de agua de 72.21 y el tercer rango corresponde a un valor de 66.18. Estos resultados indican a mayor cantidad de enzima hay mayor liberación de azúcares especialmente pentosanos responsables de retener el agua, debilitando la capacidad de absorción de agua.

TIPO DE HARINA	Medias n	
2.00	69.68 12	A
1.00	72.08 12	B
3.00	72.48 12	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Análisis

Al haber diferencias altamente significativas para el factor C tipo de harina, se procedió a realizar la prueba de significación de Tukey al 5%. En esta prueba se obtuvo tres rangos de significación. El primer rango corresponde al tipo de harina Ya con una media de capacidad de absorción de 72.08, el segundo de significación corresponde a la harina marca super 4 con un rango de significación de de 69.68 y el tercer valor corresponde a la harina de uso general con una media de 72.48, es decir mayor capacidad de absorción de agua corresponde a la harina de uso general según este tratamiento.

HORAS	ENZIMA	Medias n	
2.00	3.00	56.43 6	A
2.00	2.00	64.85 6	B
2.00	1.00	70.52 6	C
1.00	3.00	75.93 6	D
1.00	2.00	79.57 6	E
1.00	1.00	81.17 6	E

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Análisis

En la interacción horas de maduración y cantidad de enzima se observa que el tratamiento a1b1 que corresponde a las 2 horas y 0,2 mg de enzima presenta mayor capacidad de absorción lo que demuestra que en estas condiciones no existe mayor solubilidad o hidrólisis del almidón por lo tanto tiene mayor capacidad para retener agua esta masa.

HORAS	TIPO DE HARINA	Medias	n				
2.00	2.00	60.95	6	A			
2.00	1.00	64.42	6		B		
2.00	3.00	66.43	6		B		
1.00	2.00	78.40	6				C
1.00	3.00	78.53	6				C
1.00	1.00	79.73	6				C

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Análisis

En la interacción horas de maduración y tipo de harina se observa que el tratamiento a1c1 que corresponde a las 2 horas de maduración y harina marca Ya, presenta mayor capacidad de absorción lo que demuestra que este tipo de harina no presenta mayor solubilidad o hidrólisis del almidón por lo tanto tiene mayor capacidad para retener agua cuando se forma la masa.

ENZIMA	TIPO DE HARINA	Medias	n						
3.00	2.00	63.63	4	A					
3.00	1.00	67.18	4		B				
3.00	3.00	67.75	4		B				
2.00	2.00	69.83	4		B	C			
2.00	3.00	72.50	4			C	D		
2.00	1.00	74.30	4				D	E	
1.00	1.00	74.75	4				D	E	F
1.00	2.00	75.58	4					E	F
1.00	3.00	77.20	4						F

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Análisis

En la interacción cantidad de enzima y tipo de harina se observa que el tratamiento b1c3 presenta mayor capacidad de absorción con un valor en porcentaje de 77.20 lo que demuestra que a menor cantidad de enzima (0.2 mg) la harina no sufre mayor

transformación bioquímica este efecto se evidencia con mayor fuerza para el caso de la harina de uso general.

HORAS	ENZIMA	TIPO DE HARINA	Medias	n								
2.00	3.00	2.00	51.00	2	A							
2.00	3.00	1.00	56.10	2		B						
2.00	2.00	2.00	60.75	2			C					
2.00	3.00	3.00	62.20	2			C					
2.00	2.00	3.00	65.15	2			C					
2.00	1.00	1.00	68.50	2				D	E			
2.00	2.00	1.00	68.65	2				D	E			
2.00	1.00	2.00	71.10	2					E	F		
2.00	1.00	3.00	71.95	2					E	F	G	
1.00	3.00	3.00	73.30	2						F	G	
1.00	3.00	2.00	76.25	2							G	H
1.00	3.00	1.00	78.25	2								H
1.00	2.00	2.00	78.90	2								H
1.00	2.00	3.00	79.85	2								H
1.00	2.00	1.00	79.95	2								H
1.00	1.00	2.00	80.05	2								H
1.00	1.00	1.00	81.00	2								H
1.00	1.00	3.00	82.45	2								H

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Análisis

En la interacción horas de maduración, cantidad de enzima y tipo de harina se observa que el tratamiento a1b1c3 presenta mayor capacidad de absorción con un valor en porcentaje de 82.45, lo que demuestra que a menor tiempo de maduración (2 horas), menor cantidad de enzima (0.2 mg) y con la harina de uso general no hay mayor biodegradación de los pentosanos por lo tanto la masa puede retener de mejor manera el agua ligada a las moléculas aumentando en eficiencia su capacidad de absorción.

3.8. Formulaciones para determinar la mejor cantidad de enzima xilanas necesaria para la elaboración de pan molde.

La aceptación de la mejor cantidad de enzima xilanas se realizó en base a tres formulaciones denominándolas de la siguiente forma:

- Formulación 1: 0,2 mg de enzima xilanas.
- Formulación 2: 0,4 mg de enzima xilanas.
- Formulación 3: 0,8 mg de enzima xilanas.

3.8.1. Formulaciones:

Cuadro N° 10
Formulaciones de cantidad de enzima xilanasa necesaria para el pan

Formulación 1		Formulación 2		Formulación 3	
0.2 mg. Enzima Xilanasa		0.4 mg. Enzima Xilanasa		0.8 mg. Enzima Xilanasa	
Ingredientes	Peso gr.	Ingredientes	Peso gr.	Ingredientes	Peso gr.
Harina	226.79	Harina	226.79	Harina	226.79
Agua	138.8	Agua	138.8	Agua	138.8
Sal	3.426	Sal	3.426	Sal	3.426
Azúcar	13.70	Azúcar	13.70	Azúcar	13.70
Levadura	2.74	Levadura	2.74	Levadura	2.74
Grasa	6.85	Grasa	6.85	Grasa	6.85

Fuente: Reyes Darwin/UTE 2008

3.8.2. Determinación de la mejor formulación:

Con la finalidad de aplicar la propuesta en esta investigación se elabora el pan molde para saber su aceptabilidad con lo cual se realiza la siguiente encuesta a 20 personas, el formato de la encuesta se puede apreciar en el anexo N° 4

CAPITULO IV

CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de las encuestas

En los siguientes cuadros se puede apreciar los resultados de las encuestas en base al color, olor, sabor y consistencia del pan molde.

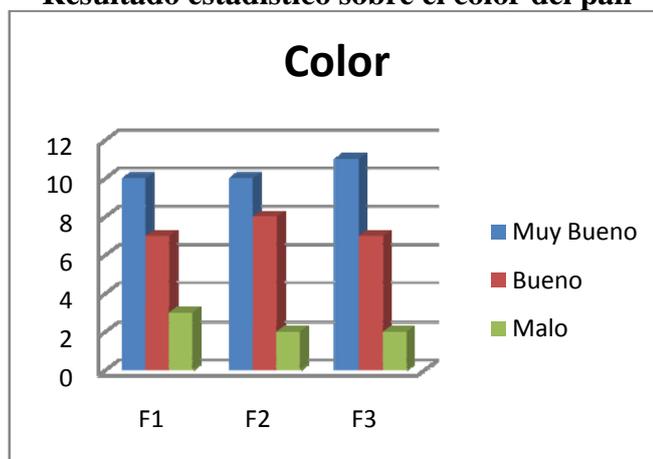
4.1.1. Color

Cuadro N° 11
Puntuaciones del color del pan

Color			
	F1	F2	F3
Muy Bueno	10	10	11
Bueno	7	8	7
Malo	3	2	2

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Gráfico N° 17
Resultado estadístico sobre el color del pan



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Análisis del gráfico N° 17

En el gráfico N° 17 se puede observar una mínima diferencia, entre las tres formulaciones, por lo que la cantidad de enzima en cuanto al color no va a variar mucho.

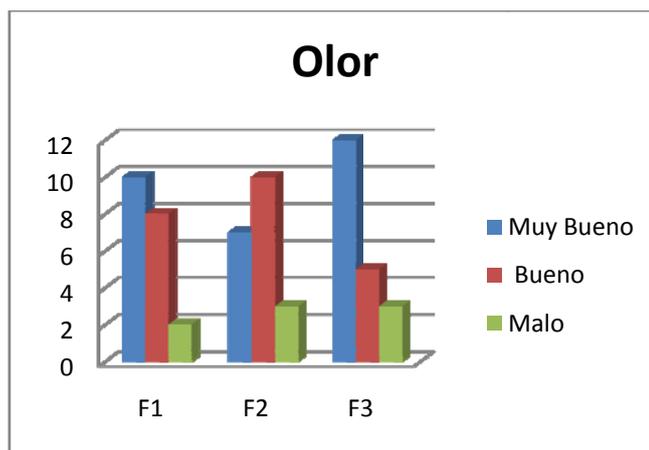
4.1.2. Olor

Cuadro N° 12
Puntuaciones del olor del pan

Olor			
	F1	F2	F3
Muy Bueno	10	7	12
Bueno	8	10	5
Malo	2	3	3

Fuente: Darwin Reyes/UTE/2008

Gráfico N° 18
Resultado estadístico sobre el olor del pan



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Análisis del gráfico N° 18

La mejor alternativa de las encuestas sobre el olor del pan, se concluye como muy bueno, en el caso de la formulación 3 la cual contiene 0.8 mg de enzima ya que posee mayor aceptación para el consumo.

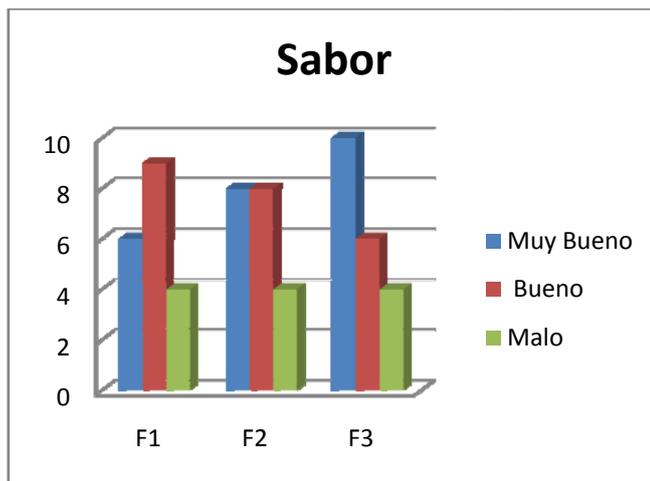
4.1.3. Sabor

Cuadro N° 13
Puntuaciones del sabor del pan

Sabor			
	F1	F2	F3
Muy Bueno	6	8	10
Bueno	9	8	6
Malo	4	4	4

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Gráfico N° 19
Resultado estadístico sobre el sabor del pan



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Análisis del gráfico N° 19

En el gráfico N° 19 se puede observar una mayor aceptación en la formulación 3 en cuanto al sabor del pan, la cual contiene 0.8 mg de enzima con una valoración de muy bueno, siendo importantes las valoraciones de F1 y F2 como buenos.

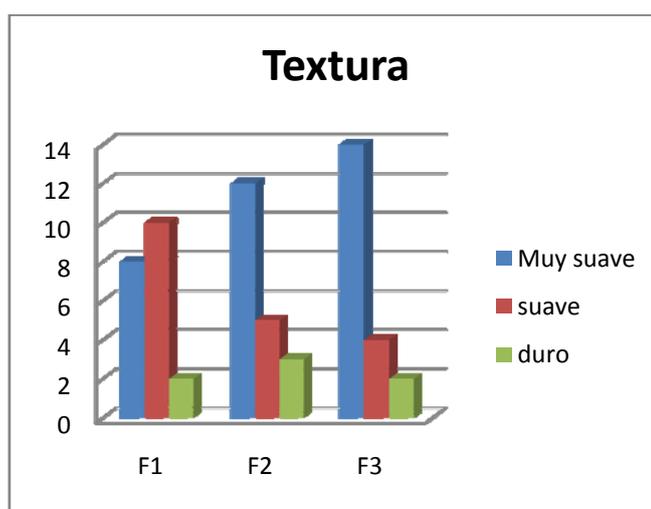
4.1.4. Textura

Cuadro N° 14
Puntuaciones de la textura del pan

Textura			
	F1	F2	F3
Muy suave	8	12	14
suave	10	5	4
duro	2	3	2

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Gráfico N° 20
Resultado estadístico sobre la textura del pan



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Análisis del gráfico N° 20

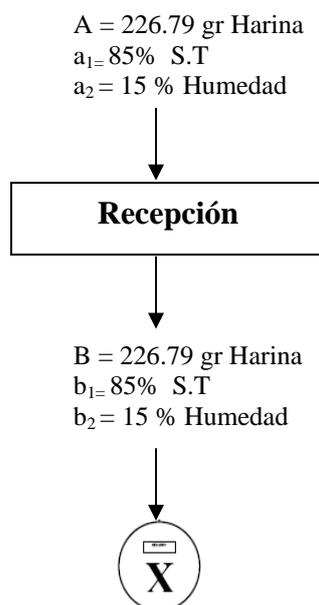
La mejor alternativa de las encuestas sobre la textura del pan, se concluye como muy bueno, en el caso de la formulación 3 la cual contiene 0.8 mg de enzima ya que posee mayor aceptación para los catadores.

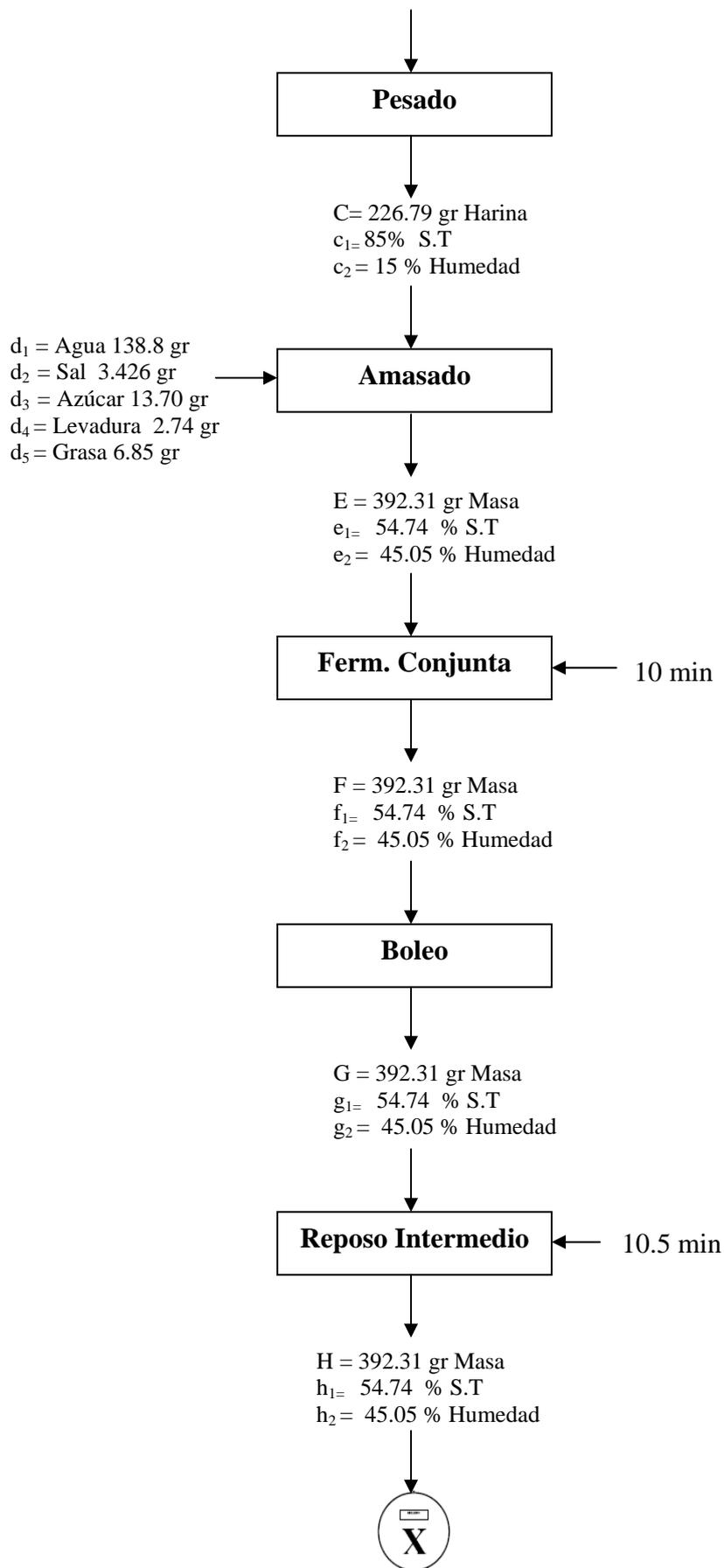
4.1.5. Elección de la mejor formulación de enzima xilanasa para la elaboración del pan.

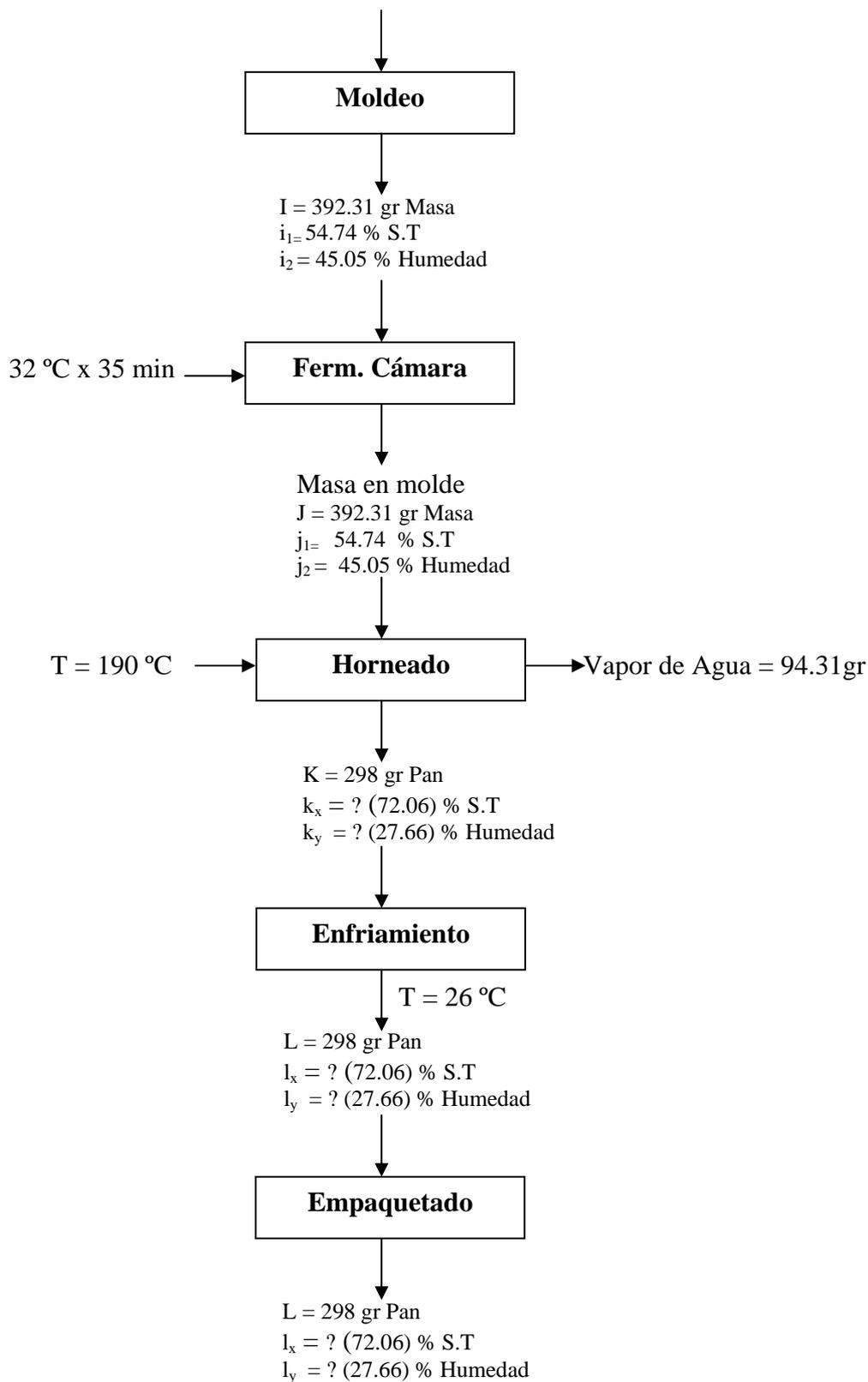
Considerando los resultados de las encuestas se establece que la mejor formulación es la 3 la cual contiene: 0.8 mg de enzima xilanasa cuya valoración fue considerada como muy buena y la que mayor aceptación posee para el consumidor.

4.2. Cálculos y resultados del balance de materia para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.

4.2.1. Diagrama de flujo cuantitativo para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.







4.2.2. Balance de materia para la elaboración del pan mediante la adición de enzima xilanasa a nivel de laboratorio.

Balance de materia en recepción

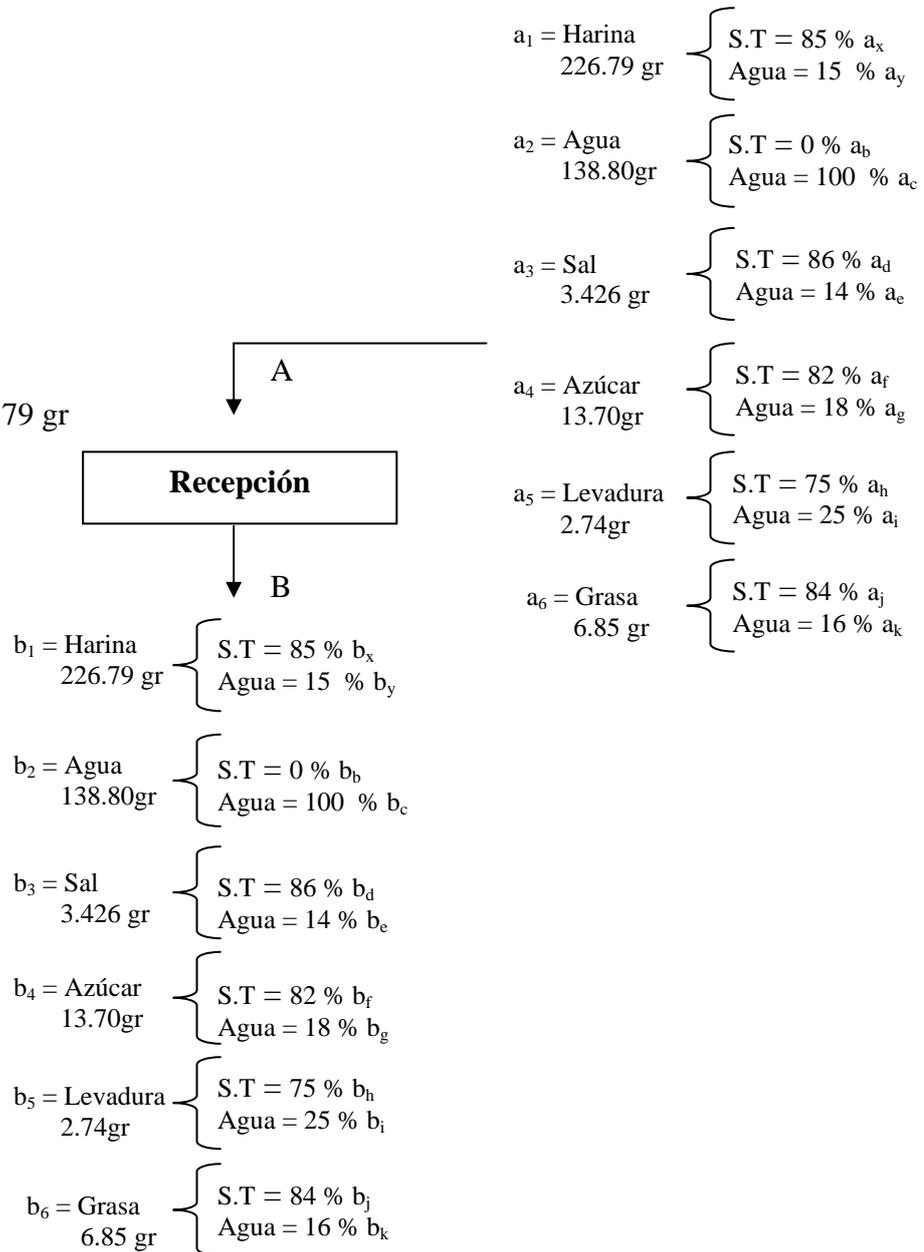
Base de cálculo

226,79 gr

Balance Total

$$A = B$$

$$226,79 \text{ gr} = 226,79 \text{ gr}$$

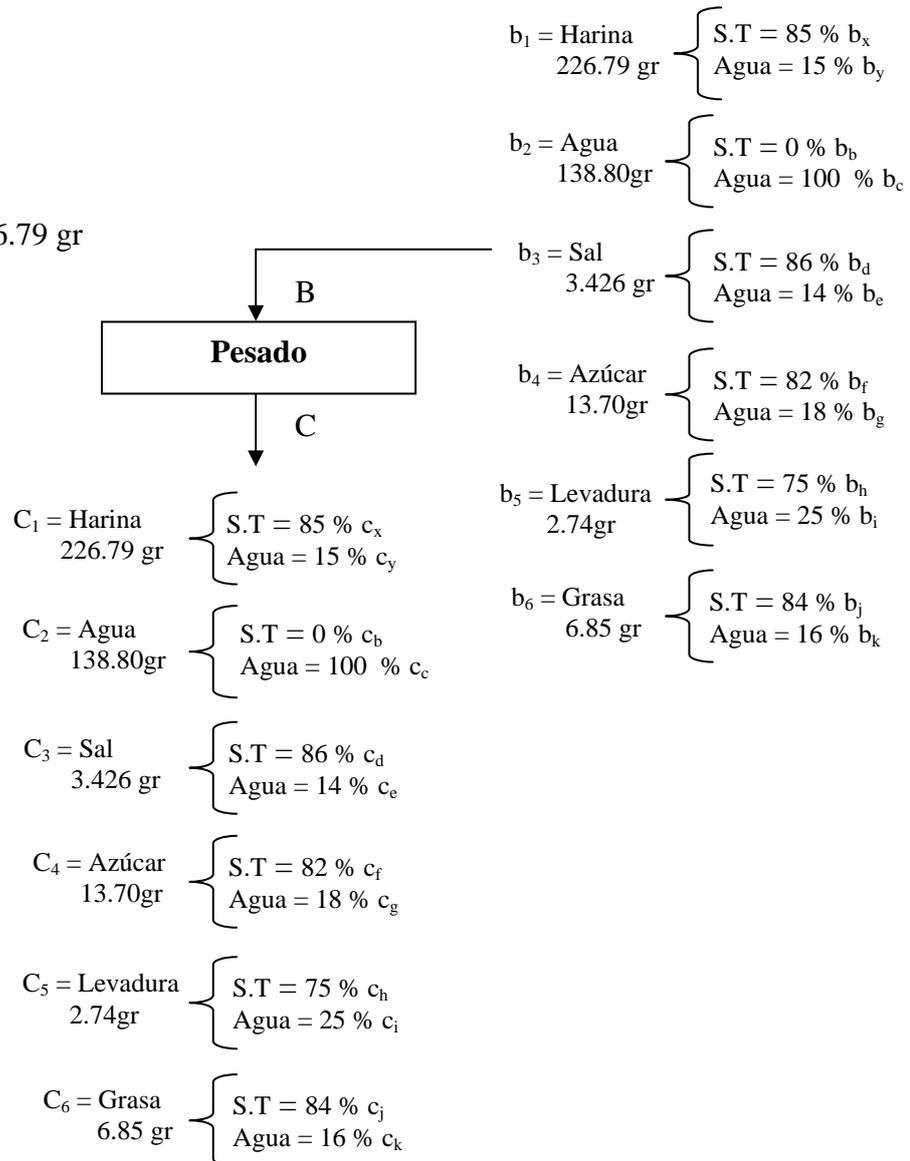


Balance de materia en pesado

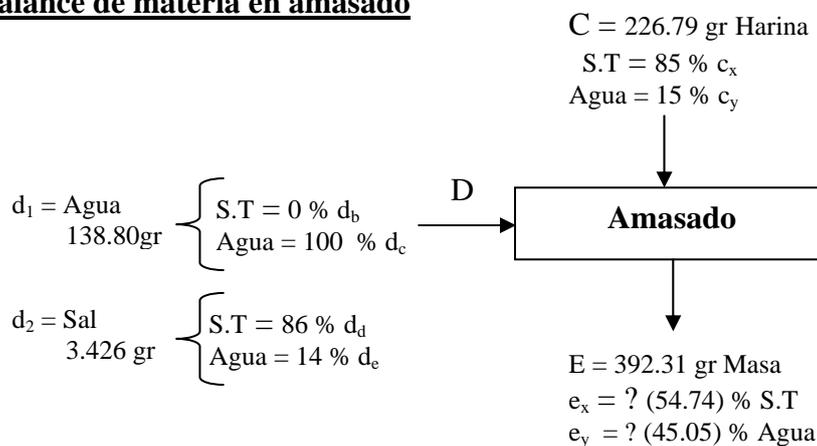
Balance Total

$$B = C$$

$$226.79 \text{ gr} = 226.79 \text{ gr}$$



Balance de materia en amasado



$$d_3 = \text{Azúcar} \begin{cases} \text{S.T} = 82 \% c_f \\ \text{Agua} = 18 \% c_g \end{cases}$$

$$d_4 = \text{Levadura} \begin{cases} \text{S.T} = 75 \% d_h \\ \text{Agua} = 25 \% d_i \end{cases}$$

$$d_5 = \text{Grasa} \begin{cases} \text{S.T} = 84 \% d_j \\ \text{Agua} = 16 \% d_k \end{cases}$$

Balance Total

$$\mathbf{C + D = E}$$

$$\mathbf{E = 226.79 + 165.52}$$

$$\mathbf{E = 392.31 \text{ gr}}$$

Balance Parcial

$$\mathbf{D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}$$

$$\mathbf{D = 138.8 + 3.426 + 13.70 + 2.74 + 6.85}$$

$$\mathbf{D = 165.52 \text{ gr}}$$

Balance de Agua

$$\mathbf{Ee_y = d_1d_c + d_2d_e + d_3d_g + d_4d_i + d_5d_k + Cc_y}$$

$$\mathbf{C_yE = (138.8 \times 100) + (3.426 \times 14) + (13.70 \times 12) + (2.74 \times 25) + (6.85 \times 16) + (226.79 \times 15)}$$

$$\mathbf{Ee_y = 13880 + 47.96 + 164.40 + 68.5 + 109.6 + 3401.85}$$

$$\mathbf{e_y = 17672.31 / 392.31}$$

$$\mathbf{e_v = 45.05 \% \text{ Humedad}}$$

Balance de Sólidos Totales

$$\mathbf{Ee_x = d_1d_b + d_2d_d + d_3d_f + d_4d_h + d_5d_j + Cc_x}$$

$$\mathbf{Ee_x = (138.8 \times 0) + (3.426 \times 86) + (13.70 \times 82) + (2.74 \times 75) + (6.85 \times 84) + (226.79 \times 85)}$$

$$\mathbf{Ee_x = 13880 + 47.964 + 164.4 + 68.5 + 109.6}$$

$$\mathbf{e_x = 21476.09 / 392.31}$$

$$\mathbf{e_x = 54.74 \% \text{ Sólidos Totales}}$$

Balance de materia en Fermentación Conjunta

Balance Total

$$E = F$$

$$392.31 \text{ gr} = 392.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$e_y = f_y$$

$$45.05 \text{ gr} = 45.05 \text{ gr}$$

Balance de Sólidos Totales

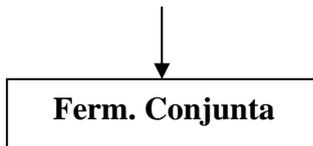
$$e_x = f_x$$

$$54.74 \text{ gr} = 54.74 \text{ gr}$$

$$E = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$e_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$e_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$



↓

$$F = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$f_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$f_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$

Balance de materia en Boleo

Balance Total

$$F = G$$

$$392.31 \text{ gr} = 392.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$f_y = g_y$$

$$45.05 \text{ gr} = 45.05 \text{ gr}$$

Balance de Sólidos Totales

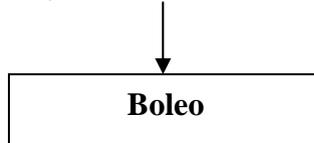
$$f_x = g_x$$

$$54.74 \text{ gr} = 54.74 \text{ gr}$$

$$F = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$f_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$f_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$



↓

$$G = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$g_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$g_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$

Balance de materia en Reposo Intermedio

Balance Total

$$G = H$$

$$392.31 \text{ gr} = 392.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$g_y = h_y$$

$$45.05 \text{ gr} = 45.05 \text{ gr}$$

Balance de Sólidos Totales

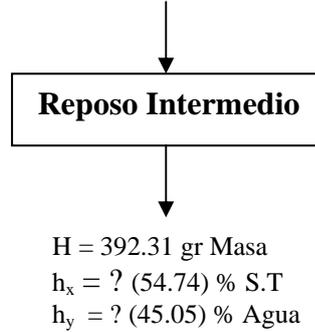
$$g_x = h_x$$

$$54.74 \text{ gr} = 54.74 \text{ gr}$$

$$G = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$g_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$g_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$



Balance de materia en Moldeo

Balance Total

$$H = I$$

$$392.31 \text{ gr} = 392.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$h_y = I_y$$

$$45.05 \text{ gr} = 45.05 \text{ gr}$$

Balance de Sólidos Totales

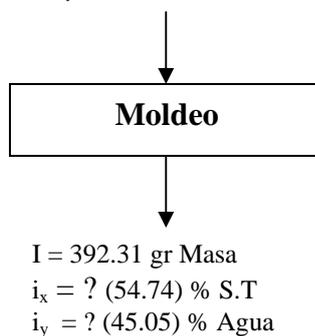
$$h_x = i_x$$

$$54.74 \text{ gr} = 54.74 \text{ gr}$$

$$H = 392.31 \text{ gr Masa}$$

$$h_x = ? (54.74) \% \text{ S.T}$$

$$h_y = ? (45.05) \% \text{ Agua}$$



Balance de materia en Fermentación Cámara

Balance Total

$$I = J$$

$$392.31 \text{ gr} = 392.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

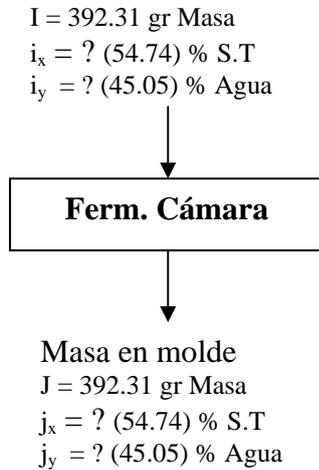
$$i_y = j_y$$

$$45.05 \text{ gr} = 45.05 \text{ gr}$$

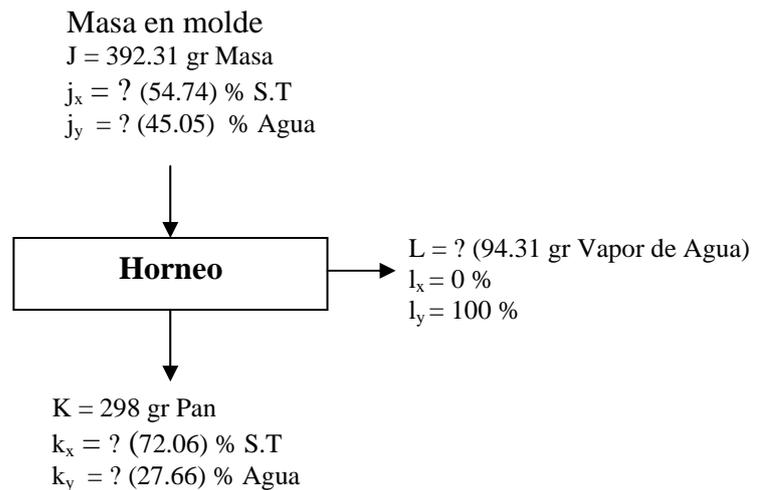
Balance de Sólidos Totales

$$i_x = j_x$$

$$54.74 \text{ gr} = 54.74 \text{ gr}$$



Balance de materia en Horneado



Balance Total

$$J = K + L$$

$$392.31 \text{ gr} = 298 \text{ gr} + L$$

$$L = 392.31 \text{ gr} - 298 \text{ gr}$$

$$L = 94.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$J = K + L$$

$$K = J - L$$

$$Kk_y = Jj_y - Ll_y$$

$$Kk_y = (392.31 \times 45.05) - (94.31 \times 100)$$

$$Kk_y = 17673.56 - 9431$$

$$k_y = 8242.57 / 298$$

$$k_y = 27.66 \%$$

Balance de Sólidos Totales

$$J = K + L$$

$$Jj_x = Kk_x + Ll_x$$

$$Kk_x = (392.31 \times 54.74) + (94.31 \times 100)$$

$$Kk_x = 21475.05 / 298$$

$$k_x = 72.06 \%$$

Balance de materia en el Enfriamiento**Balance Total**

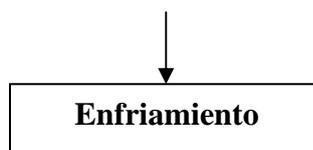
$$K = L$$

$$298 \text{ gr} = 298 \text{ gr}$$

$$K = 298 \text{ gr Pan}$$

$$k_x = ? (72.06) \% \text{ S.T}$$

$$k_y = ? (27.66) \% \text{ Agua}$$



↓

$$L = 298 \text{ gr Pan}$$

$$l_x = ? (72.06) \% \text{ S.T}$$

$$l_y = ? (27.66) \% \text{ Agua}$$

Balance de materia en el Empaquetado

Balance Total

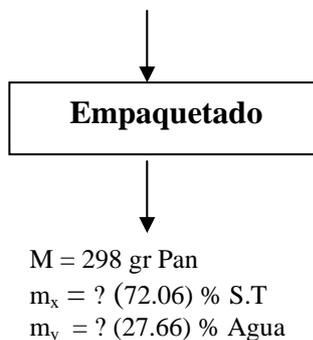
$$L = M$$

$$298 \text{ gr} = 298 \text{ gr}$$

$$L = 298 \text{ gr Pan}$$

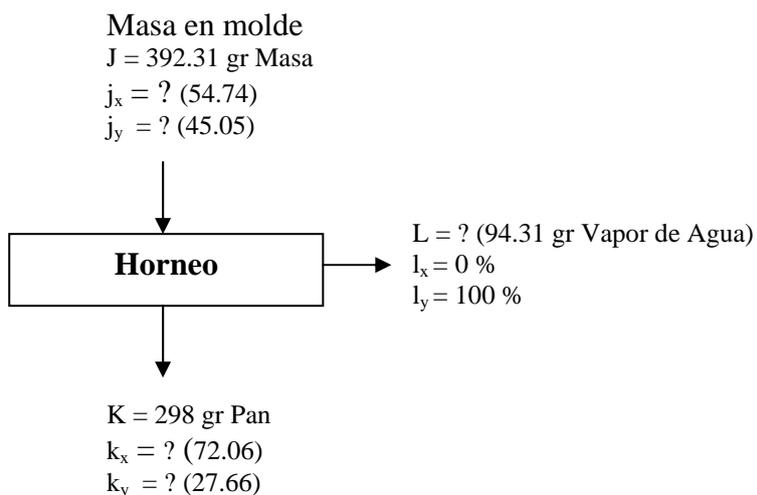
$$l_x = ? (72.06) \% \text{ S.T}$$

$$l_y = ? (27.66) \% \text{ Agua}$$



4.3. Balance de energía en el Horneado a nivel de laboratorio.

Balance de materia experimental:



Balance Total

$$J = K + L$$

$$392.31 \text{ gr} = 298 \text{ gr} + L$$

$$L = 392.31 \text{ gr} - 298 \text{ gr}$$

$$L = 94.31 \text{ gr}$$

Balance de Agua

$$J = K + L$$

$$K = J - L$$

$$Kk_y = Jj_y - Ll_y$$

$$Kk_y = (392.31 \times 45.05) - (94.31 \times 100)$$

$$Kk_y = 17673.56 - 9431$$

$$k_y = 8242.57 / 298$$

$$k_y = 27.66 \%$$

Balance de Sólidos Totales

$$J = K + L$$

$$Jj_x = Kk_x + Ll_x$$

$$Kk_x = (392.31 \times 54.74) + (94.31 \times 100)$$

$$Kk_x = 21475.05 / 298$$

$$k_x = 72.06 \%$$

4.3.1. Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor a nivel laboratorio

4.3.1.1. Cantidad de calor teórico experimental

Los valores de Cp del agua y de sólidos son tomados del libro Fundamentos de la Ing. de Alimentos, BATTY Pág. 104.

$$928\text{seg} * \frac{1\text{min}}{60\text{seg}} * \frac{1\text{hoo}}{60\text{min}} = 0,25\text{h}$$

$$\frac{0.298\text{kg}}{0,25\text{h}} = 1,192 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\frac{0.09431\text{kg}}{0,25\text{h}} = 0,377 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

Cp del producto = M H2O * Cp H2O + M sólidos * Cp sólidos

$$cp = 0,72 * 1,38 + 0,27 * 4,18$$

$$cp = 2,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$Qs = m * cp * \Delta T$$

$$Qs = 1,192 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (122,5 - 26)^\circ\text{C}$$

$$Qs = 243,85 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$QL = Mv * hfg_{63^\circ\text{C}}$$

$$QL = 0,377 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2181,27 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$QL = 822,86 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$QT = (Qs + QL)1.10$$

$$QT = (243,85 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 822,86 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}) 1,10$$

$$QT = 1173,38\text{kJ} * \frac{1000\text{J}}{1\text{KJ}} = \frac{1173381\text{J}}{928\text{ s}}$$

$$QT = 1264,41\text{ W}$$

4.3.1.2. Calor práctico que absorbe el producto

$$ET = V * Amp * Tim$$

$$ET = 120V * 7,5Amp * 928seg$$

$$ET = 900J * \frac{1 KJ}{1000J} * 928Seg$$

$$ET = 835,2KJ$$

4.3.1.3. Calor total de las paredes.

- Calor que disipan las paredes laterales.

$$Ts = 66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T\alpha = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tf = \frac{Ts + T\alpha}{2}$$

$$Tf = \frac{66 + 26}{2}$$

$$Tf = 46 \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15 = 319,15^\circ\text{K}$$

Cálculo de coeficiente isobárico

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{1}{319,15} = 0,00313$$

Propiedades del aire a 319.15 °K

A 319,15 °K las propiedades del aire para la transferencia de calor por convección según BATTY, en la tabla C9. p. 306, son:

$$\mu = 2,03 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\rho = 1,0704 \frac{kg}{m^3}$$

$$Pr = 0,7014$$

$$k = 0,0280 \frac{W}{m \cdot ^\circ\text{C}}$$

Grashof

$$Gr = \frac{g \beta (Ts - T\alpha) \rho^2 L^3}{\mu^2}$$

$$Gr = \frac{9,8 * 0,00313 * (66 - 26) * 1,0704^2 * 0,22^3}{(2,03 * 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 36,3 * 10^6$$

$$Gr * Pr = 25,4 * 10^6$$

$$\text{LogGr} * \text{Pr} = 7,40$$

$$\text{Nu} = 0,14(\text{Gr} * \text{Pr})^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 0,14(25,4 * 10^6)^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 40,92$$

$$h = \frac{\text{Nu} * k}{L}$$

$$h = \frac{40,92 * 0,0280}{0,22}$$

$$h = 5,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = b * a$$

$$A = 0,22 * 0,185$$

$$A = 0,0407\text{m}^2$$

$$Q = h * A * \Delta T$$

$$Q = 5,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 0,0407\text{m}^2 * (66 - 26)^\circ\text{C}$$

$$Q = 8,46 * 2 = 16,92\text{W} * \frac{\text{j}}{\text{s}} * \frac{928\text{seg}}{0,25\text{h}} * \frac{1\text{kJ}}{1000\text{j}}$$

$$Q = 62,8 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} //$$

- **Calor que disipan la pared frontal.**

$$T_s = 79,5^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 26^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$T_f = \frac{79,5 + 26}{2}$$

$$T_f = 52,75^\circ\text{C} + 273,15 = 325,9^\circ\text{K}$$

Cálculo de coeficiente isobárico

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{1}{325,9} = 0,00306$$

Propiedades del aire a 325.9 °K

A 325,9 °K las propiedades del aire para la transferencia de calor por convección según BATTY, en la tabla C9. p. 306, son:

$$\mu = 2,04 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

$$\rho = 1,0556 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Pr} = 0,7005$$

$$k = 0,0288 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_s - T_\alpha) \rho^2 L^3}{\mu^2}$$

Grashof

$$\text{Gr} = \frac{9,8 * 0,00306 * (79,5 - 26) * 1,0556^2 * 0,27^3}{(2,04 * 10^{-5})^2}$$

$$\text{Gr} = 84,55 * 10^7$$

$$\text{Gr} * \text{Pr} = 592,2 * 10^7$$

$$\text{LogGr} * \text{Pr} = 9,77$$

$$\text{Nu} = 0,14(\text{Gr} * \text{Pr})^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 0,14(592,2 * 10^7)^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 251,39$$

$$h = \frac{\text{Nu} * k}{L}$$

$$h = \frac{251,39 * 0,0288}{0,27}$$

$$h = 26,81 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = b * a$$

$$A = 0,27 * 0,175$$

$$A = 0,047\text{m}^2$$

$$Q = h * A * \Delta T$$

$$Q = 26,81 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 0,047\text{m}^2 * (79,5 - 26)^\circ\text{C}$$

$$Q = 67,41\text{W} * \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{928\text{seg}}{0,25\text{h}} * \frac{1\text{kJ}}{1000\text{J}}$$

$$Q = 250,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} //$$

- Calor que disipan la pared posterior.

$$T_s = 80,75^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 26^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$T_f = \frac{80,75 + 26}{2}$$

$$T_f = 53,37^\circ\text{C} + 273,15 = 326,52^\circ\text{K}$$

Cálculo de coeficiente isobárico

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{1}{326,52} = 0,00306$$

Propiedades del aire a 326.52 °K

A 326,52 °K las propiedades del aire para la transferencia de calor por convección según BATTY, en la tabla C9. p. 306, son:

$$\mu = 2,04 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

$$\rho = 1,0540 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Pr} = 0,7004$$

$$k = 0,02884 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

Grashof

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_s - T_\alpha) \rho^2 L^3}{\mu^2}$$

$$\text{Gr} = \frac{9,8 * 0,00306 * (80,75 - 26) * 1,0540^2 * 0,37^3}{(2,04 * 10^{-5})^2}$$

$$\text{Gr} = 222,0 * 10^7$$

$$\text{Gr} * \text{Pr} = 1,55 * 10^7$$

$$\text{LogGr} * \text{Pr} = 7,19$$

$$\text{Nu} = 0,14(\text{Gr} * \text{Pr})^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 0,14(1,55 * 10^7)^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 34,71$$

$$h = \frac{\text{Nu} * k}{L}$$

$$h = \frac{34,71 * 0,02884}{0,37}$$

$$h = 2,70 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = b * a$$

$$A = 0,375 * 0,18$$

$$A = 0,0675\text{m}^2$$

$$Q = h * A * \Delta T$$

$$Q = 2,70 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 0,0675\text{m}^2 * (80,75 - 26)^\circ\text{C}$$

$$Q = 9,97\text{w} * \frac{\text{j}}{\text{s}} * \frac{928\text{seg}}{0,25\text{h}} * \frac{1\text{kJ}}{1000\text{j}}$$

$$Q = 37,008 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} //$$

- **Calor que disipan la pared superior.**

$$T_s = 71,75^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 26^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$T_f = \frac{71,75 + 26}{2}$$

$$T_f = 48,87^\circ\text{C} + 273,15 = 322,02^\circ\text{K}$$

Cálculo de coeficiente isobárico

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{1}{322,02} = 0,00310$$

Propiedades del aire a 322.02 °K

A 322,02 °K las propiedades del aire para la transferencia de calor por convección según BATTY, en la tabla C9. p. 306, son:

$$\mu = 2,04 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

$$\rho = 1,0646 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Pr} = 0,701$$

$$k = 0,0286 \frac{\text{w}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

Grashof

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_s - T_\alpha) \rho^2 L^3}{\mu^2}$$

$$\text{Gr} = \frac{9,8 * 0,00310 * (71,75 - 26) * 1,0646^2 * 0,34^3}{(2,04 * 10^{-5})^2}$$

$$\text{Gr} = 178,04 * 10^7$$

$$\text{Gr} * \text{Pr} = 1,24 * 10^7$$

$$\text{LogGr} * \text{Pr} = 7,09$$

$$\text{Nu} = 0,14(\text{Gr} * \text{Pr})^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 0,14(1,24 * 10^7)^{0,333}$$

$$\text{Nu} = 32,22$$

$$h = \frac{\text{Nu} * k}{L}$$

$$h = \frac{32,22 * 0,0286}{0,34}$$

$$h = 2,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = b * a$$

$$A = 0,34 * 0,22$$

$$A = 0,0748\text{m}^2$$

$$Q = h * A * \Delta T$$

$$Q = 2,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 0,0748\text{m}^2 * (71,75 - 26)^\circ\text{C}$$

$$Q = 11,09\text{W} * \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{928\text{seg}}{0,25\text{h}} * \frac{1\text{kJ}}{1000\text{J}}$$

$$Q = 41,16 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} //$$

- **Calor que disipa la pared inferior.**

$$T_s = 81^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 26^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$T_f = \frac{81 + 26}{2}$$

$$T_f = 53,5^\circ\text{C} + 273,15 = 326,65^\circ\text{K}$$

Cálculo de coeficiente isobárico

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{1}{326,65} = 0,00306$$

Propiedades del aire a 326.65 °K

A 326,65 °K las propiedades del aire para la transferencia de calor por convección según BATTY, en la tabla C9. p. 306, son:

$$\mu = 2,04 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

$$\rho = 1,0537 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Pr} = 0,7004$$

$$k = 0,0288 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

Grashof

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_s - T_\alpha) \rho^2 L^3}{\mu^2}$$

$$\text{Gr} = \frac{9,8 * 0,00306 * (81 - 26) * 1,0537^2 * 0,36^3}{(2,04 * 10^{-5})^2}$$

$$\text{Gr} = 205,3 * 10^7$$

$$\text{Gr} * \text{Pr} = 1,43 * 10^7$$

$$\text{LogGr} * \text{Pr} = 7,15$$

$$Nu = 0,14(Gr * Pr)^{0,333}$$

$$Nu = 0,14(1,43 * 10^7)^{0,333}$$

$$Nu = 33,79$$

$$h = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h = \frac{33,79 * 0,0288}{0,36}$$

$$h = 2,70 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$A = b * a$$

$$A = 0,36 * 0,21$$

$$A = 0,0756m^2$$

$$Q = h * A * \Delta T$$

$$Q = 2,70 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C} * 0,0756m^2 * (81 - 26)^\circ C$$

$$Q = 11,22w * \frac{j}{s} * \frac{928 \text{ seg}}{0,25h} * \frac{1kj}{1000j}$$

$$Q = 41,64 \frac{kJ}{h} //$$

$$Q_{Ingresa} = ET$$

$$Q_{Ingresa} = QID + QF + QA + QS + QI + QP$$

$$QP = Q_{Ingresa} - QID - QF - QA - QS - QI$$

$$QP = 835,2 - 62,8 - 250,22 - 37,08 - 41,16 - 41,64$$

$$QP = 402,8 \frac{kJ}{h} //$$

4.3.1.4. Eficiencia del secado.

$$E = 100 - \left(\frac{\text{valor teorico}}{\text{valor practico}} * 100 \right)$$

$$E = 100 - \left(\frac{402,8}{1173,38} * 100 \right)$$

$$E = 65,67\%$$

4.3.1.5. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.

$$A = 0,055m^2$$

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$U = \frac{QT}{A * \Delta T}$$

$$U = \frac{1264,41w}{0,055m^2 * (122,5 - 26)^\circ C}$$

$$U = 238,56 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

4.3.2 Curva de secado

Cuadro N° 15
Datos experimentales para la curva de secado

Tiempo(h)	Muestra(Kg)	Kg de Agua	Agua Perdí. Hum.	Velocidad Kg H ₂ O / Hr m ²
0,16	0,338	0	0	0
0,33	0,316	0,022	0,02	2,5
0,5	0,308	0,008	0,03	3,4
0,66	0,298	0,01	0,04	4,5

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Datos y cálculos a nivel de laboratorio

Producto húmedo: 40,2 %

Producto seco: 29,8 %

Peso inicial de agua

Peso inicial de agua = Peso % de agua + Peso agua de la masa seca

Peso % de agua = Peso % agua muestra húmeda – Peso muestra seca

Peso % de agua = 0.402 Kg. – 0.298 Kg.

Peso % de agua = 0.104Kg de agua

Peso de agua de masa seca

Peso de agua de masa seca = peso masa seca x % de agua

Peso de agua de masa seca = 0.298 x 27.66 %

Peso de agua de masa seca = 0.0824 Kg. de agua

Peso inicial de agua = 0.104 + 0.0824

Peso inicial de agua = 0.1864 Kg. de agua

Peso de la muestra seca

Peso de la muestra seca = Peso de la muestra seca – peso del agua de la muestra seca

Peso de la muestra seca = 0.298 Kg de muestra seca – 0.0824 Kg. de agua de la muestra seca

Peso de la muestra seca = 0.2156 Kg. de MS

Porcentaje de humedad inicial

$$\% \text{ Humedad inicial del producto} = \frac{\text{Peso inicial de agua}}{\text{Peso de muestra húmeda}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad inicial del producto} = \frac{0.1864 \text{ Kg}}{0.402 \text{ Kg}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad inicial del producto} = 46.36 \%$$

Porcentaje de la humedad final

$$\% \text{ Humedad final del producto} = \frac{\text{Peso de agua de muestra seca}}{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{peso de agua}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad final del producto} = \frac{0.0824 \text{ Kg de agua}}{0.402 \text{ kg} - 0.104 \text{ Kg de agua}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad final del producto} = 27.65 \%$$

4.3.2.1 Pérdida de humedad total

XT = Peso inicial del agua – Pérdida de humedad

Cuadro N° 16
Pérdida de humedad total (XT)

Tiempo (h)	XT	Perdida de humedad	Humedad Total (Kg de agua)
0,16	XT1= 0,1864	0	0,1864
0,33	XT2 = 0,1864	0,022	0,1644
0,5	XT3 = 0,1864	0,03	0,1564
0,66	XT4 = 0,1864	0,04	0,1464

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

4.3.2.2. Contenido de humedad

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{humedad total XT}}{\text{masa total seca}}$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{0,1864 \text{ kg}}{0,2156 \text{ kg}} = 0,86 \text{ kg}$$

Cuadro N°17
Contenido medio de humedad

Tiempo (h)	XT	Perdida de Humedad (Kg Agua/Kg MS)	Contenido medio de (Kg de Agua/Kg MS)
10	XT1= 0,1864	0,2156	0,86
20	XT2= 0,1644	0,2156	0,76
30	XT3 = 0,1564	0,2156	0,72
40	XT4 = 0,1464	0,2156	0,67

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

4.3.2.3. Velocidad de secado

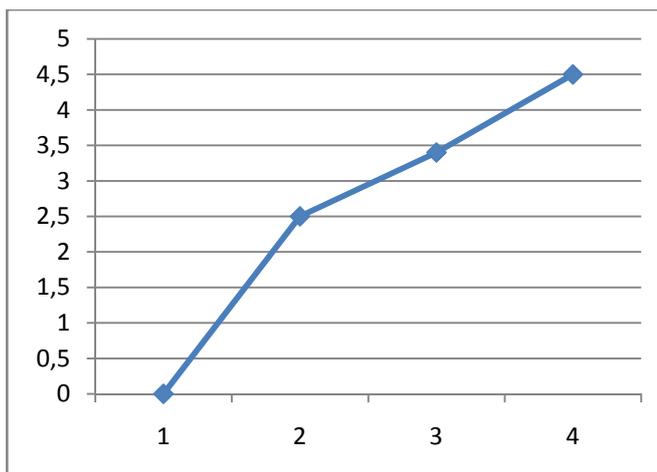
$$V = \frac{XT1 - XT2}{Tiempo(hrs) * A(m^2)}$$

Cuadro N° 18
Velocidad de secado

Tiempo	X	Formula	Velocidad de secado Kg. H2O/h m2
0,16	V1 =	$\frac{XT1 - XT2}{T (h)* A (m^2)}$	0
0,33	V2 =	$\frac{XT1 - XT2}{T (h)* A (m^2)}$	2,5
0,5	V3 =	$\frac{XT1 - XT2}{T (h)* A (m^2)}$	3,4
0,66	V4 =	$\frac{XT1 - XT2}{T (h)* A (m^2)}$	4,5

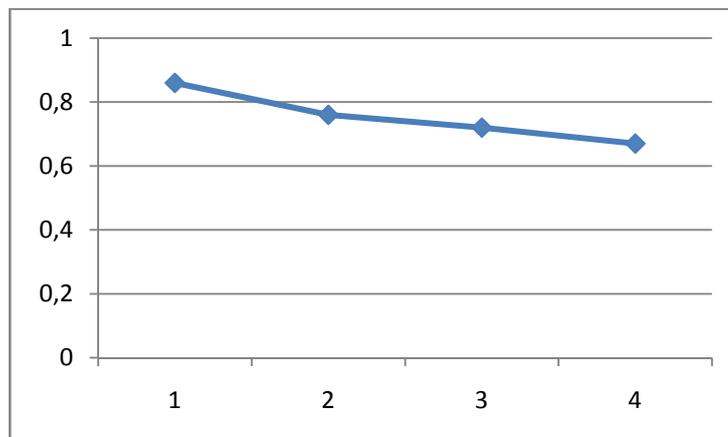
Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Gráfico N° 21
Velocidad de Secado Vs Tiempo



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

Gráfico N° 22
Curva de Secado



Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

4.3.3. Rendimiento

4.3.3.1. Rendimiento del producto, pan molde.

Aplicando el balance de materia se observa que se tiene un excelente rendimiento del pan del 75.9 %. Es importante conocer los datos con los que se ha trabajado para obtener el resultado como se detalla a continuación:

Cuadro N° 19
Rendimiento del producto

Gramos de Masa que entran = 392.31

Gramos de Pan que salen = 298

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Gramos de Pan}}{\text{Gramos de Masa}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{298}{392.31} \times 100$$

Rendimiento = 75.9 %

Fuente: Reyes Darwin /UTE/2008

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

Durante la presente investigación se ha demostrado que la aplicación de la enzima xilanasa, si influye en las propiedades organolépticas y reológicas de la masa panaria y el pan, esto se demuestra por las siguientes conclusiones:

- La extensibilidad o distancia máxima de estiramiento de la masa panaria no se modifica mayormente si se incrementa la cantidad de enzima xilanasa en el rango de 0,2 -0,8 mg / kg de harina, esto se debe a que la enzima no produce transformaciones o modificaciones bioquímicas en la proteína (gluten) sino libera y solubiliza moléculas simples de carbohidratos como son las hexosas terminales y en mayor grado los pentosanos.
- El tiempo que tarda el gluten en romperse si se ve afectado se observa por ejemplo que la harina de uso comercial se estira más lentamente a cantidades bajas de enzima (0,2 mg) produce una disminución en promedio de 10 segundos en el tiempo de estiramiento y una cantidad más alta de enzima (0,8 mg) produce una disminución en promedio de 228 segundos en el tiempo de ruptura, es decir a medida que la cantidad de enzima se incrementa se acorta el tiempo de estiramiento, esto se debe a que gran parte de los carbohidratos se solubilizan perdiendo la estructura macromolecular y dejando más expuesto el gluten que cede fácilmente a la acción de un contrapeso de estiramiento.
- La capacidad de absorción de agua es otra propiedad física que se ve afectado por la presencia de enzima a mayor cantidad de enzima (0,8 mg) disminuye la capacidad de retención esta disminución es más baja aún si el tiempo de

maduración de la masa es de 12 horas, por ejemplo para la harina super 4 con 2 horas de maduración, presenta mayor diferencia que las demás observamos que esta capacidad disminuye en un 2 % al adicionar 0,2 mg de enzima y en un 6 % al adicionar 0,8 mg de enzima si la masa se deja por un tiempo mayor 12 horas la disminución es más significativa del 10 % hasta el 30 %. Esto confirma que la harina pierde la estructura macromolecular que mantiene o retiene el agua ligada, este efecto puede ser desfavorable porque el pan no mantiene la consistencia adecuada. Por lo que no es conveniente adicionar cantidades altas de enzima ni tiempos de maduración demasiados elevados.

- Lo mismo sucede con la relación porcentaje de gluten y porcentaje de almidón a medida que se incrementa la cantidad de enzima aumenta la capacidad de hidrólisis enzimática de los carbohidratos, esto disminuye el porcentaje de almidón y aumenta el porcentaje de gluten que impone sus propiedades elásticas a la masa.
- El pan tiende a mejorar sus propiedades organolépticas y reológicas con cantidades progresivamente mayores de enzima, esto se debe a que la liberación de azúcares favorece el pardeamiento químico de la superficie de dorado del pan dando mayor aroma y caramelización del mismo, la mayor presencia de gluten por disminución de almidón favorece la elasticidad y proporciona suavidad y firmeza al pan, al mismo tiempo eleva el valor nutricional por la presencia de mayor cantidad de enzima.
- Debido a la baja actividad acuosa del pan es un producto estable que limita el crecimiento bacteriano por lo que las bacterias patógenas no crecen en este medio como lo demuestra los análisis microbiológicos realizados.

5.2 Recomendaciones:

- Utilizar enzima xilanasa en cantidades limitadas caso contrario se pierde consistencia y se forma muchos agujeros en el proceso de fermentación.
- Utilizar combinado xilanasa y amilasa para masas bastante fuertes de alto contenido de amilopectina de esta manera se afloja o se suaviza con mayor rapidez por la acción de las 2 enzimas que hidrolizan hexosas y pentosas.
- No utilizar tiempos de maduración muy largos porque económicamente no es rentable y no se consigue mejorar las propiedades reológicas.
- Es necesario realizar formulaciones para la elaboración de pan que a mas de harina de trigo contengan harinas de materia prima de la zona (almidón de yuca, harina de garbanzo, harina de plátano, entre otros) que modificada enzimáticamente permitan obtener panes de optima calidad nutritiva y organoléptica.
- Para desarrollarse un eficiente proceso de fermentación se debe controlar los factores que permiten mantener la actividad de enzima especialmente la temperatura a la que tiene mayor actividad que es de 37°C
- Para garantizar la inocuidad y las condiciones higiénicas elementales el pan se debe almacenar en fundas de polietileno grado alimenticio, y almacenar en una área limpia y seca.

BIBLIOGRAFÍA

- Batty J, Clair./ (1990). Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos. Compañía Editorial Continental. México.
- Badui D, Salvador./ (1999). Química de los Alimentos. Edit. Pearson Educación. México.
- Biblioteca de consulta Microsoft Encarta.2007.
- Catalán Calvo, Manuel.(1971).Tecnología de los Cereales. Editorial Acriba Zaragoza, España.
- Callejo González, María Jesús. (2002). Industria de Cereales y derivados. AMV, Mundi Prensa Ediciones. Primera Edición. Madrid (España).
- Colección Terranova. 1995. Enciclopedia Agropecuaria, Ingeniería y Agroindustrias. Tomo I y II. Editores Terranova. Bogotá – Colombia
- Guanoquiza Y, Ketty. Elaboración de crema dulce deshidratada de zapallo mediante el estudio de tiempo y temperatura, variedad de zapallo y porcentaje de estabilizante, en la universidad tecnológica equinoccial, santo domingo 2007.
- González Z, Mayra. “Diseño de una planta piloto para la elaboración de harina de quinua, y su aplicación en la industria de la panificación para el consumo humano, ute, 2006”
- Lomas Esteban, María del Carmen. Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos, España: Edit. Acribia 2002. 229 pág. Ilust.
- Miralbés, Carles. (2000). Enzimas en panadería. Montagud Editores, S.A. Barcelona (España).

- Manual de Análisis de Alimentos, del “Laboratorio de Química”. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Perry, Robert. 1992. Manual del Ingeniero Químico. Sexta Edición. México.
- Perry, Jhon. Phd. 1979. Manual del Ingeniero Químico. Tomo II. Editorial a Hispanoamérica. México.
- Reyes, Rómulo. Mejía, Melecio. (2006). Panadería y Pastelería. Ediciones Mirbet. Primera edición. Lima (Perú).
- Terranova./ (1995). Enciclopedia Agropecuaria, Producción Agrícola Tomo II. Terranova Editores, Ltda. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.
- <http://www.sica.gov.ec>
- <http://www.Enzima - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht>
- <http://www.CETECE centro tecnológico Portal, intranet CETECE.mht>
- <http:// www.BIO-CAT • Para Panaderías Enzymes, Food grade enzymes3.mht>
- <http://www.HISTORIA DE LAS ENZIMAS.mht>
- <http://www.Requisitos para Calidad.mht>
- <http://www.molineria y panadería.com>
- <http://www.grupomolinerio.com>

ANEXOS

ANEXO I

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Análisis Bromatológicos

Determinación de la acidez titulable.

Objeto.

Esta norma establece el método para determinar el contenido de acidez en las harinas de origen vegetal.

Terminología.

Acidez titulable.- Es la acidez de la harina de origen vegetal expresada convencionalmente como ácido sulfúrico y determinada mediante procedimientos normalizados.

Resumen.

Se titula la acidez con una solución estandarizada de hidróxido de sodio, usando fenolftaleína como indicador.

Instrumental.

- Matraz erlenmeyer con tapón esmerilado, de 100 cc.
- Matraz erlenmeyer, de 50 cc.
- Pipetas, de 10 y de 25 cc.
- Bureta, de 25 cc, con divisiones de 0,05 cc ó de 0,1 cc.

Reactivos.

- Solución 0,02 N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada.
- Solución indicadora de fenolftaleína. Disolver 0,1 g de fenolftaleína en 100 cc de alcohol etílico de 60 % (V/V).
- Alcohol etílico de 90 % (V/V). Neutralizado.

Preparación de la muestra.

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

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

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

Procedimiento.

- La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.
- Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 5 g de la harina de origen vegetal y transferir al matraz erlenmeyer de 100 cc.
- Agregar lentamente 50 cc de alcohol de 90 % (V/V) neutralizado, tapar el matraz erlenmeyer y agitar fuertemente.
- Dejar en reposo durante 24 horas, agitando de vez en cuando.
- Tomar con la pipeta una alícuota de 10 cc del líquido claro sobrenadante y transferir al matraz erlenmeyer de 50 cc; agregar 2 cc de la solución indicadora de fenolftaleína.
- Agregar lentamente y con agitación la solución 0,02 N de hidróxido de sodio, hasta conseguir un color rosado que desaparece poco a poco.
- Continuar agregando la solución hasta que el color rosado persista durante 30 s.
- Leer en la bureta el volumen de solución empleada, con aproximación a 0,05 cc.

Cálculos.

La acidez titulable en harinas de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente.

$$A = \frac{490 \text{ NV}}{m(100 - H)} \times \frac{V_1}{V_2}$$

Siendo:

A = contenido de acidez en las harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa de ácido sulfúrico.

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cc.

V = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cc.

V₁ = volumen del alcohol empleado, en cc.

V₂ = volumen de la alícuota tomada para la titulación en cc.

m = masa de la muestra, en g.

H = porcentaje de humedad en la muestra.

Errores de método.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,05 %; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Informe de resultados.

Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación aproximada a centésimas. En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición con especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. Deben incluirse todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

Determinación de la proteína.

Objeto.

Esta norma establece el método para determinar el contenido de proteína en las harinas de origen vegetal.

Terminología.

Proteína.- Es la cantidad de nitrógeno total, expresado convencionalmente como contenido de proteína y determinado mediante procedimientos normalizados.

Resumen.

Se determina el contenido de proteína en harinas de origen vegetal mediante el método Kjeldahl y se multiplica el resultado por un factor para expresarlo como proteína.

El factor para convertir el contenido de nitrógeno a proteínas se indica en la Tabla 1.

Instrumental.

- Aparato Kjeldahl, para digestión y destilación.
- Matraz Kjeldahl, de 650 a 800 cc.
- Matraz Erlenmeyer, de 500 cc.
- Bureta, de 50 cc.
- Probeta, de 50 y 200 cc.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.
- Parafina o piedra pómez.

Reactivos.

- Acido sulfúrico concentrado, con densidad 1,84 g/cc a 20°C, exento de nitrógeno.
- Solución 0,1 N de ácido sulfúrico, debidamente estandarizada.
- Solución concentrada de hidróxido de sodio, (Soda Kjeldahl). Disolver 450 g de hidróxido de sodio sólido en agua destilada y diluir la solución hasta 1000 cc. La densidad relativa de la solución final debe ser mayor de 1,36 g/cc a 25°C.
- Solución 0,1 N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada.
- Sulfato de potasio o sulfato de sodio y sulfato de cobre, anhidros exentos de nitrógeno.
- Granallas de zinc, reactivo para análisis.
- Solución alcohólica de rojo de metilo. Disolver 1 g de rojo de metilo en 200 cc de alcohol etílico al 95 % v/v.

Preparación de la muestra.

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

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

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

Procedimiento.

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

- Pesar, con aproximación al 0,1 mg, de 0,7 g a 2,2 g de la muestra y transferir al matraz Kjeldahl.
- Agregar 15 g de la mezcla catalizadora sulfato de cobre, sulfato de potasio (o sulfato de sodio) anhidros (ver Anexo A) y 25 cc de ácido sulfúrico concentrado.
- Agitar cuidadosamente el matraz y colocarlo en la hornilla del aparato Kjeldahl. Calentar suavemente hasta que no se observe formación de espuma y luego aumentar el calentamiento, rotando el matraz frecuentemente durante la digestión, hasta que el contenido del matraz se presente cristalino e incoloro; continuar el calentamiento durante dos horas y dejar enfriar.
- Agregar aproximadamente 200 cc de agua destilada, enfriar la mezcla hasta una temperatura inferior a 25°C y añadir trocitos de parafina o granallas de zinc para evitar proyecciones durante la ebullición.
- Inclinar el matraz con su contenido y verter cuidadosamente por sus paredes, para que se formen dos capas, 50 cc de la solución concentrada de hidróxido de sodio (o mayor cantidad, si fuere necesario, para alcanzar un alto grado de alcalinidad).
- Conectar el matraz Kjeldahl al condensador mediante la ampolla de destilación. El extremo de salida del condensador debe sumergirse en 50 cc de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico contenido en el matraz erlenmeyer de 500 cc, a la que se ha agregado unas gotas de la solución de rojo de metilo.
- Agitar el matraz Kjeldahl hasta mezclar completamente su contenido y calentar.
- Destilar hasta que todo el amoníaco haya pasado a la solución ácida contenida en el matraz erlenmeyer, lo que se logra después de destilar por lo menos 150 cc.
- Antes de retirar el matraz erlenmeyer, lavar con agua destilada el extremo del condensador y titular el exceso de ácido contenido en el matraz erlenmeyer con la solución 0,1 N de hidróxido de sodio.
- Realizar un solo ensayo en blanco con todos los reactivos, sin la muestra y siguiendo el mismo procedimiento descrito para cada determinación o serie de determinaciones.

Cálculos.

El contenido de proteína en muestras de harina de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$P = (1,40) (F) \frac{(V_1N_1 - V_2N_2) - (V_3N_1 - V_4N_2)}{m(100 - H)}$$

Siendo:

P = contenido de proteínas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.

V₁= volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico, empleado para recoger el destilado de la muestra, en cc.

N₁= normalidad de la solución de ácido sulfúrico.

V₂= volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio, empleado en la titulación, en cc.

N₂= normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

V₃= volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado del ensayo en blanco, en cc.

V₄= volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio empleado en la titulación del ensayo en blanco, cc.

m = masa de la muestra, en g.

H = porcentaje de humedad en la muestra.

F = factor para convertir el contenido de nitrógeno a proteínas, cuyo valor para cada harina se indica en la Tabla 1.

TABLA 1. FACTOR DE CONVERSION DE NITROGENO A PROTEINA

HARINA DE	FACTOR F
TRIGO	5,7
MAIZ	6,25
ARROZ	6,25
SOYA	6,25
AVENA	6,25
CENTENO	6,25
YUCA	6,25
CEBADA	6,25
HABA	6,25

Errores de método.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,10 %; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Informe de resultados.

Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación. En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. Deben incluirse todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

Determinación de la fibra cruda.

Objeto.

Esta norma establece el método para determinar el contenido de fibra cruda en harinas de origen vegetal.

Terminología.

Fibra cruda.- Es el residuo insoluble obtenido después del tratamiento de la muestra de harina de origen vegetal y determinada mediante procedimientos normalizados.

Resumen.

Digerir la muestra sin grasa con solución de ácido sulfúrico, lavar y nuevamente digerir con solución de hidróxido de sodio, lavar, secar y pesar. Calcinar hasta destrucción de la materia orgánica. La pérdida de peso después de la calcinación es el contenido de fibra cruda en la muestra.

Instrumental.

- Estufa, con regulador de temperatura, ajustada a $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Desecador, con sulfato de calcio anhidro u otro deshidratante adecuado.
- Aparato de extracción tipo soxhlet u otro similar.
- Capsula de porcelana o de sílice.
- Mufla con regulador de temperatura ajustada a $600 \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- Embudo de 12 cm de diámetro, con una tela de algodón de tejido fino (tela de lino) por filtración.
- Matraz erlenmeyer de 1000 cc.

- Filtro de succión, compuesto de crisol gooch, colocado sobre un frasco de succión conectado a una trampa, y éste, a su vez, a cualquier aparato para efectuar el vacío. Debe estar dotado de una válvula para romper el vacío.
- Pipeta volumétrica, de 25 cc.
- Aparato de digestión, compuesto por un condensador adaptado a la boca del balón de precipitación de 600 cc, con diámetro de 82 mm y altura de 151 mm, y una plancha eléctrica de calentamiento con regulador de temperatura ajustado en tal forma que eleve la temperatura de 200 cc de agua, desde 25°C hasta la ebullición durante 15 ± 2 min.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.

Reactivos.

- Eter anhidro.
- Solución 0,255 N de ácido sulfúrico.
- Solución 0,313 N de hidróxido de sodio.
- Alcohol etílico al 95 % (puede usarse alcohol metílico o alcohol isopropílico)
- Antiespumante, apropiado, a base de silicones.
- Perlas de vidrio.
- Asbesto preparado.

Preparación de la muestra.

Las muestras para el ensayo deben estar acondicionadas en recipientes herméticos, limpios, secos (vidrio, plástico u otro material inoxidable), completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire. La cantidad de muestra de la harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativo y no debe exponerse al aire mucho tiempo. Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que la contiene.

Procedimiento.

La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada. Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 3 g de muestra y transferir a un dedal de porosidad

adecuada, tapar con algodón, colocar en la estufa calentada a $130 \pm 2^\circ\text{C}$, por el tiempo de una hora.

Transferir al desecador el dedal que contiene la muestra, dejar enfriar hasta temperatura ambiente.

Colocar en el aparato de Soxhlet y llevar a cabo la extracción de la grasa, con una cantidad suficiente de éter anhidro; el tiempo de extracción será de cuatro horas, si la velocidad de condensación es de 5 a 6 gotas por segundo, o por un tiempo de 16 h, si dicha velocidad es de 2 a 3 gotas por segundo.

Sacar el dedal con la muestra sin grasa, dejar en el medio ambiente para que se evapore el solvente, colocarlo en la estufa y llevar a una temperatura a 100°C , por el tiempo de dos horas. Transferir al desecador y dejar enfriar a la temperatura ambiente.

Pesar, con aproximación al 0,1 mg, aproximadamente 2 g de la muestra desengrasada y transferir al balón de precipitación de 600 cc, con mucho cuidado.

Agregar aproximadamente 1 g de asbesto preparado, 200 cc de solución hirviendo, 0,255 N de ácido sulfúrico, una gota de antiespumante diluido a perlas de vidrio.

Colocar el balón de precipitación y su contenido en el aparato de digestión, dejar hervir durante 30 min exactos, girando el balón periódicamente, para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.

Filtrar a través de la tela de tejido fino puesta en el embudo, el que, a su vez, se coloca en el erlenmeyer de 1000 cc, lavar el residuo con agua destilada caliente, hasta que las aguas de lavado no den reacción ácida.

Colocar el residuo en el balón de precipitación, agregar 200 cc de solución 0,313 N de hidróxido de sodio hirviendo, colocar en el aparato de digestión y llevar a ebullición durante 30 min exactos.

Filtrar a través de la tela de tejido fino, lavar el residuo con 25 cc de la solución 0,255 N de ácido sulfúrico hirviendo, hasta que las aguas de lavado no den reacción alcalina.

El residuo es transferido cuantitativamente al crisol de Gooch que contiene asbesto, y previamente pesado, agregar 25 cc de alcohol etílico poco a poco y filtrar aplicando el vacío.

Colocar el crisol Gooch y su contenido en la estufa calentada a $130 \pm 2^\circ\text{C}$ por el tiempo de dos horas, transferir al desecador, dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar.

Colocar el crisol con la muestra seca en la mufla e incinerar a una temperatura de $500 \pm 50^\circ\text{C}$, por el tiempo de 30 min; enfriar en desecador y pesar.

Realizar un solo ensayo en blanco con todos los reactivos, sin la muestra y siguiendo el mismo procedimiento descrito a partir del séptimo punto para cada determinación o serie de determinaciones.

Cálculos.

El contenido de fibra cruda en muestras de harina de origen vegetal se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$F_c = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{m} \times 100$$

Siendo:

F_c = contenido de fibra cruda, en porcentaje de masa.

m = masa de la muestra desengrasada y seca, en g.

m_1 = masa de crisol conteniendo asbesto y la fibra seca, en g.

m_2 = masa de crisol conteniendo asbesto después de ser incinerada, en g.

m_3 = masa de crisol del ensayo en blanco conteniendo asbesto, en g.

m_4 = masa de crisol del ensayo en blanco conteniendo asbesto, después de ser incinerado, en g.

Errores de método.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,1 %; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Informe de resultados.

Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación, aproximada a centésimas. En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. Debe incluirse, además, todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

Determinación de grasa.**Objeto.**

Esta norma establece el método para determinar el contenido de grasa o extracto etéreo en harinas de origen vegetal.

Resumen.

El contenido de materia grasa es extraído de una muestra de harina de origen vegetal mediante un solvente orgánico.

Instrumental.

- Estufa, con regulador de temperatura, ajustado a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Desecador, con cloruro de calcio anhidro u otro deshidratante adecuado.
- Aparato de extracción, tipo Soxhlet u otro similar.

- Plancha eléctrica de calentamiento.
- Pincel.
- Dedal de Soxhelt de porosidad adecuada.
- Vaso de precipitación.
- Espátula de acero inoxidable.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.

Reactivos.

Éter anhidro.- Preparar lavando éter etílico comercial con dos o tres porciones de agua; agregar hidróxido de sodio o hidróxido de potasio sólidos y dejar en reposo hasta que toda el agua sea extraída del éter. Transferir a un frasco que previamente ha sido limpiado con cuidado y agregar pequeños pedazos de sodio metálico; cuando ya no se observe desprendimiento de hidrógeno guardar el éter deshidratado sobre sodio metálico en el mismo frasco, sin ajustar la tapa.

Arena purificada con ácido y calcinada, con un tamaño de grano entre 0,1 y 0,3 mm.

Preparación de la muestra.

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

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

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

Procedimiento.

La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

Lavar el balón del aparato Soxhlet y secarlo en la estufa calentada a $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, por el tiempo de 1 hora. Transferir al desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg, cuando haya alcanzado la temperatura ambiente.

En el dedal de Soxhlet, pesar, con aproximación al 0,1 mg 2,35 g de la muestra de harina, mezclar íntimamente con la espátula, limpiando esta con el pincel.

Colocar algodón hidrófilo en la parte superior del dedal a manera de tapa e introducir en la estufa calentada a $130\pm 5^{\circ}\text{C}$, por el tiempo de 1 hora y, luego transferir el dedal con su contenido al desecador y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.

Colocar el dedal y su contenido en el aparato Soxhlet, agregar suficiente cantidad de éter anhidro y extraer durante cuatro horas, si la velocidad de condensación es de 5 a 6 gotas por segundo, o durante 16 h, si dicha velocidad es de 2 a 3 gotas por segundo.

Terminada la extracción, recuperar el disolvente por destilación en el mismo aparato y eliminar los restos de disolvente en baño María.

Colocar el balón que contiene la grasa, durante 30 min, en la estufa calentada a $100\pm 5^{\circ}\text{C}$; enfriar hasta temperatura ambiente en el desecador y pesar.

Repetir el calentamiento por períodos de 30 min, enfriando y pesando, hasta que la diferencia entre los resultados de dos operaciones de pesaje sucesivas no exceda de 0,2 mg.

Cálculos.-

El contenido de grasa en muestras de harina de origen vegetal, en porcentaje de masa sobre base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$G = \frac{(m_2 - m_1)}{m(100 - H)} \times 100$$

Siendo:

G = contenido de grasa en la harina de origen vegetal, en porcentaje de masa.

m = masa de la muestra, en g.

m_1 = masa del balón vacío, en g.

m_2 = masa del balón con grasa, en g.

H = porcentaje de humedad en la muestra.

Errores de método.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,2 %; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Informe de resultados.

Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación. En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. Deben incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.

Determinación de la ceniza.

Objeto.

Esta norma establece el método para determinar el contenido de ceniza en las harinas de origen vegetal.

Terminología.-

Ceniza.- Es el residuo obtenido después de incinerar la muestra, dentro de las condiciones descritas en la presente norma.

Resumen.-

Incinerar la muestra a 565 – 535°C y pesar el residuo que corresponde a las cenizas en las harinas de origen vegetal.

Instrumental.

- Crisol de porcelana, o de otro material inalterable a las condiciones del ensayo.
- Mufla, con regulador de temperatura, ajustado a 565 – 535°C.
- Desecador, con cloruro de calcio u otro deshidratante adecuado.
- Pinza, para la cápsula.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.

Preparación de la muestra.

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

La cantidad de muestra de harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativa y no debe exponerse al aire mucho tiempo.

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

Procedimiento.

- La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.
- Calentar el crisol de porcelana vacío en la mufla ajustada a 565-535°C, durante 30 minutos. Enfriar en el desecador y pesar con aproximación al 0,1mg.
- Transferir el crisol y pesar, con aproximación al 0,1 mg, 5 g de la muestra.
- Colocar el crisol con su contenido cerca de la puerta de la mufla abierta y mantenerla allí durante pocos minutos, para evitar pérdidas por proyección del material, lo que podría ocurrir si el crisol se introduce directamente a la mufla.
- Introducir el crisol a la mufla a 565-535°C hasta obtener cenizas de un color gris claro. No deben fundirse las cenizas.
- Sacar de la mufla el crisol con la muestra, dejar enfriar en el desecador y pesar tan pronto haya alcanzado la temperatura ambiente, con aproximación al 0,1 mg.
- Repetir la incineración por período de 30 minutos, enfriando y pesando hasta que no haya disminución en la masa.

Cálculos.

El contenido de ceniza en muestras de harinas de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$C = \frac{100 (m_3 - m_1)}{(100 - H) (m_2 - m_1)}$$

Siendo:

C = contenido de ceniza en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.

m_1 = masa del crisol vacío, en g.

m_2 = masa del crisol con la muestra, en g.

m_3 = masa del crisol con las cenizas, en g

H = porcentaje de humedad en la muestra.

Errores de método.

La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,01 %; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

Informe de resultados.

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

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

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

Determinación de azúcares reductores (Prueba de fehling)**Objeto.-**

Esta norma establece el método para determinar Azúcares reductores por un método químico

Terminología.-

Se entiende como azúcar reductor los azúcares simples que poseen mutarrotación e interaccionan con la luz produciendo un ángulo de desvío que es proporcional con su actividad óptica.

Resumen.-

Los azúcares reductores reacción en caliente y en medio alcalino con las sales de cobre formando un precipitado de óxido de cobre que puede tomarse como punto final en un proceso volumétrico de titulación, para interpretar los resultados es necesario estandarizar una solución de concentración conocida de glucosa (0,5%)

Instrumental.-

- Equipo de titulación
- Probeta graduada, de 250 cc.
- Matraz erlenmeyer, de 250 cc.
- Plancha de calentamiento, con regulador de temperatura.
- Matraz aforado de 100 cc.
- Piceta o frasco lavador.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.

Reactivos.-

Licor a de fehling. Disuélvanse 69.3 g de sulfato de cobre penta.hidratado en agua y disuélvase a 1 litro

Licor b de fehling. Disuélvasen 100 g de hidróxido de sodio y 345 g de tartrato de sodio y potasio ($\text{KNaC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) en agua y dilúyanse a 1 litro

Solución de glucosa al 0,5%. Pesar 0,5 g de glucosa y aforar a 100 ml con agua destilada

Preparación de la muestra.-

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

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

Procedimiento.-

La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

La muestra hidrolizada se procede a regular el pH 6-7 si este ha sido modificado, se filtra para retener sólidos en suspensión y el licor filtrado se enrasa en la bureta

En un matraz erlenmeyer o vaso de boca ancha se coloca 5 ml de solución de fehling (a), 5 ml de solución de fehling (b), 40 ml de agua y se procede a titular en caliente agregando 1 ml cada 5 segundos hasta que el color se desvanezca en este instante agregar 1 ml de solución al 1% de azul de metileno y se termina la titulación hasta que la solución tome un color pardo rojizo o color ladrillo.

Cálculos.-

El contenido de azúcares reductores totales, se calcula considerando el consumo de la solución patrón de glucosa con la misma cantidad de reactivo de fehling.

$$AR = \frac{a \times V}{W}$$

a= título de licor de fehling

V = volumen de la solución azucarada

W = gramos de muestra

Resultados del análisis microbiológico del pan molde elaborado con enzima xilanasa

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y MEDICINA TROPICAL
LEOPOLDO IZQUIETA PEREZ - DIRECCION MUNICIPAL DE SALUD
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS



Pag.: 1 de 2

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME TECNICO ANALISIS MICROBIOLOGICO DE PAN

Oficio N° CCALM122 -07-09

Tipo de análisis	:	Microbiológico
Producto	:	PAN
Código	:	CCALM-122
Solicitante	:	Sr. Darwin Reyes
Dirección	:	Avda. Chone Km 4 1/2
Fecha de recepción	:	10 de junio del 2009
Número de muestras recibidas	:	(2) unidades representativa de lote
Fecha de Análisis	:	10 de junio del 2009

DESCRIPCION DEL PRODUCTO:

Presentación del producto	:	Aromático
Fecha de procesamiento	:	09 de junio del 2009
Descripción del proceso	:	formulacion –amasado-horneado
Número de unidades	:	2 unidad representativas de un lote
Formas de conservación	:	ambiente
Registro sanitario	:	ensayo de investigación
Peso neto	:	298 g por unidad



Resultados del análisis microbiológico del pan molde elaborado con enzima xilanasa

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y MEDICINA TROPICAL
LEOPOLDO IZQUIETA PEREZ - DIRECCION MUNICIPAL DE SALUD
SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS



Pag.: 2 de 2

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

ANALISIS FISICO:

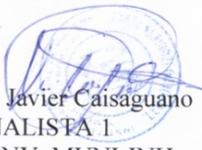
Aspecto : pardeado
Olor : aromático propio a producto pardeado
Presentación comercial : unidades a granel

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO DE IDENTIFICACION	METODOLOGIA	RESULTADOS	CRITERIO MICROBIOL
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas	Recuento directo en placa (1:10)	< 2	< 100
Investigación de mohos y levaduras	Petrifilm	< 2	Ausencia
Investigación de enterobacterias	Recuento en placa 24-48 horas	< 2	Ausencia
Investigación de E.coli	Petrifilm	< 2	Ausencia
Recuento de staphylococcus aureus	Petrifilm	< 2	Ausencia

OBSERVACIONES: La muestra analizadas no contiene bacterias indicadoras de contaminación orgánica

ATENTAMENTE


Dr. Javier Caisaguano
ANALISTA I
CONV. MUNI-INH

Resultados del análisis microbiológico del pan molde elaborado con enzima xilanasa a los 15 días de almacenamiento.

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y MEDICINA TROPICAL
LEOPOLDO IZQUIETA PEREZ - DIRECCION MUNICIPAL DE SALUD
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME TECNICO ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Oficio N° CCALM181 -10 - 09

Tipo de análisis : Microbiológico
Producto : PAN MOLDE DE HARINA YA
0.8 mg de xilanasa fúngica / kg de harina
Código : CCALM- 181
Solicitante : Sr., Darwin Reyes / UTE
Dirección : Vía Chone Km 4 1/2
Fecha de recepción : 29 de octubre del 2009
Número de muestras recibidas : (6) unidad de 300 g c/u
Fecha de Análisis : 12 de noviembre del 2009

DESCRIPCION DEL PRODUCTO:

Presentación del producto : funda de papel
Fecha de elaboración : 29 de octubre del 2009
Formas de conservación : ambiente
Objetivo del análisis : ensayo de evaluación higiénica
Peso neto : promedio 300 g

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO DE IDENTIFICACION	METODOLOGIA	RESULTADOS PAN DE HARINA YA	CRITERIO MICROBIOL
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas (colonias / ml)	Recuento directo en placa (1:10)	320	< 1 x10 ³ *
Investigación de mohos y levaduras (colonias / ml)	Petrifilm	45	< 100
Investigación de estafilococcus aureus (colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2
Investigación de E.coli (colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2 *
Recuento de enterobacterias totales (colonias / ml)	Petrifilm	< 2	< 2 *

OBSERVACIONES: La muestra analizada contiene baja densidad de bacterias

* máximos permisibles norma NTE INEN



ANEXO II
RESULTADOS DEL DISEÑO
EXPERIMENTAL

Elasticidad

0,2 mg de enzima xilanasa.

A. Harina Ya

0,2 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2	0	0	0	2	0	2	0
3	30	3	30	3	30	3	30
3,5	60	3,5	60	3,5	60	3,5	60
3,8	90	3,7	90	3,8	90	3,8	90
3,9	120	4,0	120	4,0	120	3,9	120
4,2	150	4,2	150	4,2	150	4,2	150
4,5	180	4,7	180	4,5	180	4,4	180
4,8	210	5,0	210	4,9	210	4,8	210
5,2	240	5,2	240	5,2	240	5,0	240
5,5	270	5,7	250	5,6	260	5,4	260
ruptura	275	ruptura		ruptura		ruptura	

B. Harina Super 4

0,2 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2,0	0	0	0	2	0	2	0
3,0	30	3	30	3	30	3	30
4,2	60	3,5	60	3,5	60	3,5	60
4,8	90	3,9	90	3,8	90	3,8	90
5,2	120	4,6	120	4,0	120	3,9	120
5,8	150	4,8	150	4,2	150	4,2	150
6,0	180	5,0	180	4,5	180	4,4	180
6,5	210	5,7	210	4,7	210	4,8	210
7,0	240	5,9	240	5,2	240	5,5	240
7,2	255	7,2	250	7,6	252	7,5	252
ruptura		ruptura		ruptura		ruptura	

C. Harina de uso general

0,2 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
3,0	30	3,0	30	3,0	30	3,0	30
3,5	60	3,5	60	3,5	60	3,5	60
3,6	90	3,6	90	3,6	90	3,6	90
3,8	120	3,8	120	3,8	120	3,8	120
3,9	150	3,9	150	3,9	150	4,0	150
4,0	180	4,0	180	4,0	180	4,1	180
4,2	210	4,2	210	4,2	210	4,3	210
4,5	240	4,5	240	4,5	240	4,5	240
4,8	270	4,8	270	5,0	270	4,8	270
5,0	300	5,0	300	5,2	300	5,0	300
5,2	330	5,2	330	5,5	330	5,5	330
5,5	360	5,5	360	6,0	360	5,6	360
5,8	390	6,0	390	6,2	390	5,7	390
6,0	420	6,2	420	6,4	420	6,2	420
6,2	450	6,7	450	6,8	450	6,5	450
6,5	480	7,2	470	7,0	467	6,8	472
se rompe		se rompe		se rompe		se rompe	

0,8 mg de enzima xilanasa.

A. Harina Ya

0,8 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
3	30	3,0	30	3,0	30	3,0	30
3,5	60	3,5	60	3,5	60	3,5	60
3,8	90	4,5	90	4,5	90	4,5	90
3,9	120	5,5	120	5,5	120	5,5	120
4,2	150	se rompe	125	se rompe	125	se rompe	125
4,5	180						
4,8	210						
5,5	240						
5,7	270						
ruptura	275						

B. Harina Super 4

0,8 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
3,0	30	3,1	30	3,1	30	3,1	30
4,2	60	3,8	60	3,8	60	3,8	60
4,8	90	4,3	90	4,3	90	4,3	90
5,2	120	4,9	120	4,9	120	4,9	120
5,8	150	6,0	150	6,5	150	6,6	150
6,0	180	8,2	180	7,8	180	7,5	180
6,8	210	se rompe	208	se rompe	200	se rompe	205
7,2	240						
se rompe	255						

C. Harina de uso general

0,8 mg de xilanasa fúngica por kg de masa tiempo de maduración 45 minutos							
BLANCO		REPETICION - 1		REPETICION - 2		REPETICION - 3	
distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)	distancia (cm)	tiempo(s)
2,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
3,0	30	3,1	30	3,1	30	3,1	30
3,5	60	3,5	60	3,5	60	3,5	60
3,6	90	4,0	90	4,0	90	4,0	90
3,8	120	4,5	120	4,5	120	4,5	120
3,9	150	5,0	150	5,0	150	5,0	150
4,0	180	6,0	180	6,5	180	6,0	180
4,2	210	6,5	210	6,8	210	6,8	210
4,5	240	7,1	240	7,2	240	7,4	240
4,8	270	se rompe	255	se rompe	250	se rompe	249
5,0	300						
5,2	330						
5,5	360						
5,8	390						
6,0	420						
6,2	450						
6,5	480						
se rompe	490						

Capacidad de absorción de agua

tiempo de maceración	HARINA YA							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
horas	blanco-1	blanco-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2
2	82,5	82,2	80,0	82,0	79,9	80,0	78,3	78,2
12	82,2	80,0	70	67,0	68,7	68,6	56,0	56,2

tiempo de maceración	HARINA SUPER 4							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
horas	blanco-1	blanco-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2
2	82,4	82,3	80,1	80,0	79,0	78,8	76,5	76,0
12	82,1	82,0	72,2	70,0	61,0	60,5	50,0	52,0

tiempo de maceración	HARINA DE USO COMERCIAL							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
horas	blanco-1	blanco-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2	repeticion-1	repeticion-2
2	94,7	94,0	84,6	84,5	65,3	65,2	62,4	62,0
12	95,0	92	84,6	83,7	65,3	65,0	62,4	62,0

Porcentaje de gluten

PARAMETRO	HARINA YA							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
REPETICIONES	blanco- 1	blanco-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n- 2
% GLUTEN H.	31,2	31,0	31,8	32,0	30,0	31,0	31,8	32,0
ALMIDON S.	69,3	69,0	68,7	68,0	67,2	66,8	66,5	66,3

H= húmedo

S.= seco

PARAMETRO	HARINA SUPER 4							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
REPETICIONES	blanco- 1	blanco-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n- 2
% GLUTEN H.	35,4	35,2	34,8	34,5	34,9	35,0	35,7	35,8
ALMIDON S.	67,1	67,2	66,5	66,4	66,2	66,1	65,8	66,3

H = húmedo

S.= seco

PARAMETRO	HARINA DE USO COMERCIAL							
	BLANCO		XILANASA 0,2 ppm		XILANASA 0,4 ppm		XILANASA 0,8 ppm	
REPETICIONES	blanco- 1	blanco-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n-2	repeticio n-1	repeticio n- 2
% GLUTEN H.	33,6	32,0	33,0	28,0	34,2	34,0	33,0	33,7
ALMIDON S.	68,2	68,7	67,0	67,2	66,5	66,3	66,2	66,0

H = húmedo

S.= seco

ANEXO III

FOTOGRAFÍAS

Fotografías del proceso de elaboración de pan molde

1. Recepción



2. Pesado



4. Ferm. Coniunta



3. Amasado



6. Reposo Intermedio



5. Boleo



8. Ferm. Cámara



7. Moldeo



10. Enfriamiento



9. Horneado



Diferencia entre el pan elaborado con enzima sin enzima.

Sin Enzima Xilanasa



Con Enzima Xilanasa



ANEXO IV

ENCUESTA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Escuela de Ingeniería Agroindustrial

Encuesta dirigida a los alumnos de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial como herramienta previa a la defensa de tesis.

Por favor analice cada una de ellas y marque con una X la calificación que ud considere.

Color			
Calificación	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Bueno			
Muy Bueno			
Malo			

Olor			
Calificación	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Bueno			
Muy Bueno			
Malo			

Sabor			
Calificación	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Bueno			
Muy Bueno			
Malo			

Textura			
Calificación	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Suave			
Muy Suave			
Duro			

Observaciones y comentarios.....

Gracias por su colaboración

ANEXO V

NORMAS INEN PARA PAN

Norma INEN para Pan

CDU 664

INEN

AL 02.08-401

Norma Ecuatoriana	PAN COMUN REQUISITOS	INEN 95 1979-06 1a. revisión
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe reunir el pan común.</p> <p style="text-align: center;">2. TERMINOLOGIA</p> <p>2.1 Pan común. Es el pan de miga blanca u oscura, elaborado a base de harina de trigo: blanca, semi-integral o integral, agua potable, levadura, sal, azúcar, grasa comestible (animal o vegetal) y aditivos autorizados.</p> <p>2.2 Otros términos relacionados con esta norma están definidos en la Norma INEN 93.</p> <p style="text-align: center;">3. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>3.1 Las materias primas utilizadas en la elaboración del pan común deben sujetarse a las Normas INEN correspondientes.</p> <p>3.2 El pan común debe procesarse en condiciones sanitarias adecuadas, a fin de evitar su contaminación con microorganismos patógenos o causantes de la descomposición del producto.</p> <p style="text-align: center;">4. REQUISITOS DEL PRODUCTO</p> <p>4.1 Componentes. La masa para la cocción del pan común debe prepararse con los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) harina de trigo: blanca, semi-integral o integral, b) agua potable, c) levadura: activa, fresca o seca, d) sal comestible, e) azúcar en cantidad suficiente para ayudar al desarrollo de la levadura, f) grasa comestible (animal o vegetal), g) aditivos autorizados. <p>4.2 Características organolépticas.</p> <p>4.2.1 El pan común debe presentar el sabor y olor característicos del producto fresco y bien cocido. Su sabor no debe ser amargo, ácido o con indicios de rancidez.</p> <p>4.2.2 Corteza. El pan común debe presentar una corteza de color uniforme, sin quemaduras, ni hollín u otras materias extrañas.</p> <p>4.2.3 Miga. La miga del pan común debe ser elástica, porosa, uniforme, no pegajosa ni desmenuzable.</p> <p>4.2.4 Tamaños. El pan común debe fabricarse en forma de panes, palanquetas o moldes, de acuerdo con las formas establecidas en la Norma INEN 94.</p> <p style="text-align: right;">ALMACEN <i>[Firma]</i> (Continúa)</p>		

4.2.5 *Sólidos totales.* El contenido de sólidos totales, determinado de acuerdo con el método descrito en el Anexo A, no debe ser menor del 65^o/o para el pan blanco, del 65^o/o para el pan semi-integral y del 60^o/o para el pan integral.

4.2.6 *Acidez.* La acidez determinada de acuerdo con el método descrito en el Anexo B debe estar entre 5,5 y 6,0 para los tres tipos de panes.

4.2.7 *Humedad.* La humedad determinada de acuerdo con el Anexo A no debe ser mayor del 35^o/o para el pan blanco, del 35^o/o para el pan semi-integral y del 40^o/o para el pan integral.

4.2.8 Para efectos de comercialización, el pan debe venderse al peso, de acuerdo a la siguiente escala de números preferidos: 20g, 30g, 50g, 100g, 200g, 300g, 500g, y 1 000g.

4.2.9 Las tolerancias permitidas en el peso, de acuerdo con el numeral 4.2.8, serán del 10^o/o para panes de hasta 50g de peso y del 5^o/o para los demás.

5. MUESTREO

5.1 Las muestras deben extraerse dentro de las 24h después que el producto haya salido del horno.

5.2 Para la verificación del peso se tomarán muestras de diez a quince unidades, en el caso de panes de hasta 50g de peso individual, y de tres panes en los otros casos. El peso promedio se determinará en cada caso.

6. MARCADO, ROTULADO Y EMBALAJE

6.1 El pan común debe ser envasado en las panaderías en fundas individuales, que contengan un número adecuado que facilite su comercialización.

6.2 Las fundas o envolturas deben ser de papel especial o plástico, resistente a la acción del producto, no deben alterar sus características organolépticas o su composición; además, proporcionarán una adecuada protección ante la contaminación externa.

6.3 Las fundas o envolturas deben marcarse con el peso, precio, número de registro sanitario, designación del producto, marca comercial registrada y otra información complementaria opcional.

(Continúa)