



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA
MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE
HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE
ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA**

Heidy Johana Gómez Chocó

Asesorado por el Ing. MSC Mario Rousselin Sandoval

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA
MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE
HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE
ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

HEIDY JOHANA GÓMEZ CHOCÓ

ASESORADO POR EL ING. MSC MARIO FRANCISCO ROUSSELIN SANDOVAL
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

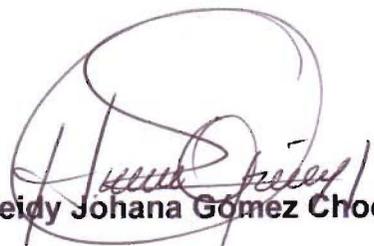
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi informe de ejercicio profesional supervisado de graduación (E.P.S. final), titulado:

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE
LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO,
MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO
Y XILANASA FÚNGICA,**

tema que fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 27 de enero de 2007.



Heidi Johana Gómez Chocó.



MOLSA

GUATEMALA

Guatemala, 10 de julio del 2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Presente

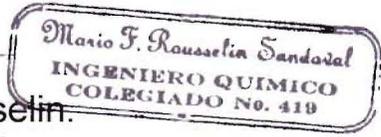
De manera atenta me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como revisor del trabajo de graduación de E.P.S. de la carrera de ingeniería química apruebo el informe final del proyecto titulado **"EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA"** presentado por la estudiante **Heidy Johana Gómez Choco**, con carné No. 199713192.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Msc. Mario Rousselín.
Colegiado No. 419
Gerente de Producción
Molsa Guatemala, S.A.



Mario F. Rousselín Sandoval
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO NO. 419

GERENCIA DE PRODUCCION
MOLSA GUATEMALA, S. A.



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 19 de agosto de 2009.
Ref.EPS.DOC.1162.08.09.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

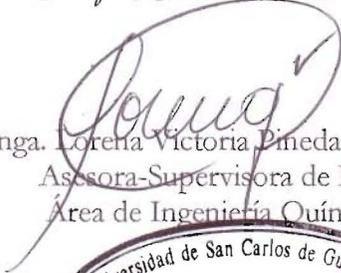
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Heydi Johana Gómez Choco** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **199713192**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Dineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 19 de agosto de 2009.
Ref.EPS.D.492.08.09.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

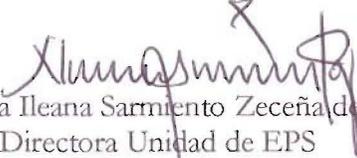
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Heydi Johana Gómez Choco**, quien fue debidamente asesorada por el Ingeniero Mario Rousellin Sandoval y asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del asesor y de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 16 de Septiembre de 2009
Ref. EIQ.483.2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta EPS-160-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **HEIDY JOHANA GÓMEZ CHOCO**, identificada con carné No. **1997-13192**, titulado: **"EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA"** el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Mario Francisco Rousselin, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Gómez Choco** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

Inga. **Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.**
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



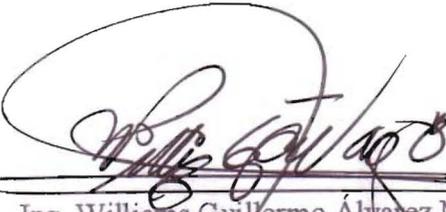
ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S. final) de la estudiante **Heidy Johana Gómez Chocó** titulado: **“EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.



Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE COADYUVANTES EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HARINA DE TRIGO DURO, MEDIANTE UN SISTEMA DE ADITIVOS BROMATO DE POTASIO Y XILANASA FÚNGICA**, presentado por la estudiante universitaria **Heidy Johana Gómez Chocó**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and several vertical strokes.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2009



/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS Por darme la vida, el entendimiento y la fuerza necesaria para alcanzar mis metas.

MIS PADRES Como muestra de agradecimiento por brindarme su amor, consejo y por sus múltiples esfuerzos para mi superación, quienes me apoyaron y me dieron el aliento necesario en todo momento. A mi madre, por su inagotable sacrificio, quien me ha dado la motivación necesaria en todo momento.

MIS HERMANOS Por su cariño y muestras de afecto.

MI FAMILIA Con cariño sincero.

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por los momentos compartidos, por su compañía y muestras de solidaridad.

STEVE ORTÍZ Por su cariño, comprensión e incondicional apoyo.

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por la formación académica y conocimientos brindados.

MOLSA GUATEMALA, S.A.

Por permitirme realizar el trabajo de investigación, en especial al laboratorio de control de calidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV

1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 El trigo	1
1.1.1. Clasificación del trigo	1
1.2 Estructura de un grano de trigo	2
1.2.1 El salvado de trigo	3
1.2.2 El germen o embrión de trigo	4
1.2.3. El endospermo	4
1.2.3.1 Estrato aleurónico	4
1.2.3.2 Endospermo amilífero	4
1.3 Composición química del trigo	5
1.3.1 Humedad del trigo	5
1.3.2 Sales minerales	6
1.3.3. Vitaminas	6
1.3.4 Enzimas	6
1.3.5 Hidratos de carbono	7
1.3.6 Lípidos (grasas)	7

1.3.7	Almidón	7
1.3.7.1	Amilasa	8
1.3.7.2	Amilopectina	9
1.3.8	Azúcares reductores	10
1.3.8.1	Dextrinas	10
1.3.9	Proteínas	11
1.3.9.1	Gluten	12
1.4	Harina dura y suave	14
1.5	Concepto y clasificación de las enzimas	16
1.6	Características de los aditivos utilizados en la harina de trigo para panificación	20
1.6.1	Coadyuvantes de masa para panificación	21
1.6.2	Fortificación e harina de trigo en Guatemala	22
1.7	Aditivos como coadyuvantes en la oxidación de las masas de panificación	22
1.8	El bromato de potasio coadyuvante en harina de trigo para panificación	23
1.8.1	Acción del bromato de potasio en la harina de trigo duro	24
1.9	Legislación del bromato de potasio en Guatemala	31
1.10	Enzimas como coadyuvantes en la harina de trigo para panificación	33
1.10.1	La enzima Xilanasas Fúngicas coadyuvante en harina de trigo para panificación	35
1.10.2	Especificaciones de la enzima Xilanasas Fúngicas	40

1.10.3	Fuente de obtención de Xilanasa Fúngica	41
1.11	Bromato de potasio versus Xilanasa Fúngica	41
1.12	Función fisicoquímica de los ingredientes en la formulación de productos de panificación	44
1.12.1	Ingredientes principales del pan tipo francés.	44
1.12.1.1	Harina	44
1.12.1.2	Agua	46
1.12.1.3	Sal	46
1.12.1.4	Azúcar	48
1.12.1.5	Levadura	50
1.12.1.6	Grasa	52
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	53
2.1	Parámetros de selección	55
2.2	Niveles de dosificación aceptables de aditivos en harinas	62
2.3	Método de evaluación de los coadyuvantes en harinas	63
2.4	Pruebas básicas en trigo y harina	64
2.4.1	Contenido de humedad	65
2.4.2	Contenido de cenizas	65
2.4.3	Contenido proteico	66
2.4.4	Número de caída o Falling number	67
2.4.5	Prueba de gluten húmedo	69
2.4.6	Almidones dañados	70
2.4.7	Determinación de maltosa por reducción de ferricianuro	70
2.5	Pruebas reológicas	70
2.5.1	Prueba de absorción (farinógrafo)	71
2.5.2	Prueba de alveógrafo	73

2.6	Prueba de panificación	76
2.6.1	Método de panificación	76
2.6.1.1	Equipo y materiales	77
2.6.1.2	Procedimiento de panificación	78
2.6.2	Análisis de panificación	82
2.6.2.1	Análisis cuantitativo	82
2.6.2.2	Prueba sensorial de panificación	83
3.	RESULTADOS	89
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	93
4.1	Sustitución parcial de bromato de potasio	93
4.2	Sustitución total de bromato de potasio	97
5.	LOGROS ALCANZADOS	103
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA	111
	ANEXOS	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Clasificación de trigos y producto final	2
2. Composición de un grano de trigo	3
3. Cariópside del trigo	5
4. Fragmento de la molécula de almidón	8
5. Segmento de amilasa	8
6. Polisacárido de amilopectina	9
7. Estructura ramificada de la amilopectina	10
8. Formación de maltosa	11
9. Localización del gluten en el grano de trigo	13
10. Esquema de glutenina	14
11. Factores determinantes de la actividad enzimática	17
12. Pasos que ocurren durante la acción enzimática	18
13. Estructura proteica del gluten	26
14. Efectos en los enlaces disulfúricos durante el amasado	26
15. Red del gluten	27
16. Enlace peptídico	28
17. Enlace disulfuro	28
18. Oxidación de la cisteína	29
19. Ruptura de un enlace disulfuro.	30

20. Glutaciona y disulfuro de glutaciona	30
21. Reducción de la estructura del gluten	30
22. Molécula hidrofílica	35
23. Actividad de la Xilanasa Fúngica sobre los componentes del trigo	36
24. Redistribución del agua en el gluten	37
25. Efecto fortalecedor de la Xilanasa sobre la estructura de gluten	38
26. Efecto fortalecedor de la Xilanasa sobre el gluten	38
27. Alvéolos (celdas de miga de pan)	39
28. Sustitución parcial de bromato de potasio dosificación de aditivos	59
29. Sustitución total de bromato de potasio dosificación de aditivos	60
30. Diagrama de metodología experimental	62
31. Análisis de humedad, horno a 130 °C.	65
32. Análisis de cenizas.	66
33. Determinación del número de caída	68
34. Equipo glutomatic	69
35. Farinógrafo	72
36. Gráficas de absorción	73
37. Alveógrafo	74
38. Gráficas de resistencia de gluten	75
39. Incorporación de ingredientes en amasadora	78
40. Masa en reposo	79
41. Formación de bolitas para pan francés	79
42. Elaboración de pan francés	80
43. Elaboración de pan de molde I	80
44. Elaboración de pan pulman o pan de molde II	81
45. Cámara de fermentación	81
46. Horneo	82

47. Muestras de pan	83
48. Muestras de pan para análisis de panificación	84
49. Formato control de tiempos en el proceso de panificación	86
50. Formato control de análisis cuantitativo de panificación	87
51. Formato control de análisis sensorial de panificación	88
52. Protocolo de presentación y formulación de resultados	89
53. Resultados de absorción	93
54. Resultados del factor P/L	95
55. Resultados de prueba de panificación	96
56. Resultados de absorción	98
57. Resultados de la prueba de alveógrafo	99
58. Resultados de prueba de panificación	100

TABLAS

I.	Requisitos físico-químicos de conformidad de la harina dura, en base a 14% de humedad.	15
II.	Limites de aditivos utilizados en harina de trigo	21
III.	Formulación de fortificación de harina en Guatemala	22
IV.	Especificación del bromato de potasio, para Guatemala	32
V.	Grupos de enzimas	34
VI.	Aspectos negativos y positivos del bromato de potasio y Xilanasa Fúngica.	43
VII.	Ficha técnica especificaciones de calidad para harina dura	45
VIII.	Nivel máximo aceptado de aditivos	58
IX.	Aditivos utilizados en harina de trigo	62
X.	Dosis de aditivos; sustitución parcial de bromato de potasio	63
XI.	Dosis de aditivos; sustitución total de bromato de potasio	63
XII.	Métodos estandarizados de evaluación	64
XIII.	Métodos de evaluación de las propiedades reológicas	71
XIV.	Especificaciones del método de panificación	76
XV.	Formulación estándar de pan desabrido	77
XVI.	Prueba afectiva, grado de satisfacción	83
XVII.	Obtención de resultados en la prueba de panificación	85
XVIII.	Resultados sustitución parcial de bromato de potasio	91
XIX.	Resultados sustitución total de bromato de potasio	92
XX.	Resultados en la prueba de sustitución parcial de bromato de potasio	96
XXI.	Resultados de sustitución total de bromato de potasio	100

LISTA DE SÍMBOLOS

AOAC	Métodos oficiales de análisis de la asociación de análisis químico
CE	Comunidad Europea.
DRA	Dosis recomendada diaria
FAO	Organización mundial para la alimentación y la agricultura.
FDA	Administración de alimentos y medicamentos del gobierno de los Estados Unidos
INS	Sistema numérico internacional para aditivos alimentarios
JECFA	Comité de expertos en aditivos alimentarios y contaminantes.
mg/kg	miligramos por kilogramo.
NGO	Normas Coguanor
°C	Grados centígrados
OMS	Organización Mundial de la Salud
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
Q	Quetzales
RTCA-UAC	Reglamento Técnico Centro Americano - Unión Aduanera Centro Americana

GLOSARIO

Ácido ascórbico	Aditivo alimentario antioxidante (E 300), llamado “Vitamina C”. Es un mejorador en la harina aumentando la retención de gas y la estabilidad de la masa.
Aditivo alimentario	Sustancia que se agrega a los alimentos, tenga o no valor nutricional y cuyo agregado intencional en los alimentos para un propósito tecnológico (incluyendo organoléptico) en la manufactura procesamiento, preparación, tratamiento, empaque, transporte o almacenamiento resulta – o puede resultar (directa o indirectamente)- en su incorporación (o la de algún derivado) como componente del alimento o afectar de algún modo las características de dicho alimento.
Alimento inocuo	Requisito básico de la calidad, con ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas y cualquier otra sustancia que pueda ser nocivo, inofensivo a la salud de los consumidores por contaminación química o biológica y poseer un contenido de nutrientes apropiado.
Alveógrafo	Equipo para análisis de harinas de trigo, determina el comportamiento que va a tener la harina en las diferentes etapas del proceso de panificación, la capacidad de retención de gas de la masa, mide la

fuerza requerida para inflar y reventar una burbuja de masa.

Alveograma: Es una representación gráfica de las características plásticas de una harina en función de la tenacidad, elasticidad y fuerza que muestra una elevada correlación con el contenido proteico de la harina o del grano, mide las propiedades reológicas en la masa.

Amiloglucosidasa Enzima de la familia de las amilasas, disgrega glucosa de amilopectina, amilosa, dextrina y también maltosa, es alimento para la levadura, aumenta la intensidad de fermentación, favorece la reacción de Maillard.

Aminoácido Es un ácido carboxílico que tiene un grupo amino NH_2 , enlazado al átomo C unido a un grupo carboxílico, $-\text{COOH}$.

Aspergillus oryzae Es un tipo de moho que se utiliza para la producción de enzimas, especialmente amilasas y proteasas.

Bromato Se denominan bromatos a las sales de ácido brómico (HBrO_3). Los bromatos son potentes antioxidantes y se utilizan para mejorar la harina.

Bromato potásico	Oxidante potente, pero de acción lenta con muy buen efecto sobre la estabilidad de la masa y el rendimiento de volumen panificado.
Cariópside	Parte del trigo tiene la forma de una nuez alargada, presenta en la parte opuesta una barbilla o pincel, está formada por una capa de cáscara y endospermo.
Cisteína	Es un aminoácido no esencial que como medio de tratamiento de la harina hace las masas extensibles y poco elásticas.
Coadyuvante Tecnológico	Sustancia que no se consume como ingrediente alimenticio en sí, se utiliza intencionadamente en la transformación de materias primas, de productos alimenticios o de sus ingredientes, para cumplir un objetivo tecnológico determinado durante el tratamiento o la transformación final del producto.
Emulsificante	Favorece la unión de las sustancias a las que les gusta el agua (hidrófilas) y las que les gusta la grasa (lipófilas).
Enlace peptídico	Se obtiene cuando se combinan dos aminoácidos, los grupos amino de una molécula se unen al grupo carboxílico de la segunda molécula, con eliminación de agua.

Enzima

Sustancia de naturaleza proteica, es un catalizador biológico, participa en el desarrollo de reacciones de naturaleza bioquímica permitiendo enlazar por breve tiempo determinadas sustancias "sustratos". De este modo, se fomentan reacciones muy específicas de estos sustratos (descomposición, transformación o decantación) que de lo contrario sería necesario suministrar energía o mucho tiempo.

Estabilidad de Fermentación

Llamada también tolerancia de fermentación es la capacidad de la masa para soportar las oscilaciones de las condiciones de fermentación, especialmente una temperatura alta, una larga duración y tolerancia al esfuerzo mecánico, sin pérdida evidente de la estructura (caída de la masa).

Farinógrafo

Mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción de agua necesaria para alcanzar dicha consistencia, permite sacar conclusiones sobre el tiempo de desarrollo de la masa para el tiempo de amasado óptimo, la estabilidad de la masa al amasar, así como el ablandamiento de la masa cuando existe un sobre amasado.

Hemicelulasa

Denominación colectiva de las enzimas, que disocian hemicelulosas, componentes de membranas celulares vegetales.

Hidrocoloides	Denominación colectiva para polímeros naturales y sintéticos, que en agua son solubles o hinchables y que forman soluciones coloidales.
Humedad Superficial	Es el agua no enlazada en la superficie de la masa. El panadero percibe la humedad superficial también como pegajosidad.
Índice de caída	Es una medida de la actividad de la enzima amilasa, y el grado de maduración del grano. Los granos madurados en el reposo de las semillas se caracterizan por su baja actividad (índice de caída más de 300), por el contrario, los granos sin madurar o con problemas para germinar por una gran actividad (índice de caída bajo) y una formación de azúcar extrema.
Índice de gluten	Porcentaje de gluten húmedo que pasa por el elemento especial de la centrífuga al realizar el análisis de gluten. El valor determina si se trata de una calidad de gluten fuerte o débil.
Inocuo	Que no hace daño.
Leudante	Aditivo alimentario o combinaciones de aditivos que liberan gas y aumentan el volumen de la masa.

Método kjeldahl	Método de análisis químico para determinar el porcentaje de proteínas en el trigo y harina por medio de la cantidad de nitrógeno. Se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio, el que se destila y se valora con hidróxido de sodio.
Micronutrientes	Son nutrientes vitales siendo efectivos en cantidades pequeñas y que no puede fabricar el organismo por sí mismo, como minerales y vitaminas.
Organoléptico	Característica de una sustancia que se percibe con los sentidos.
Oxidante	Sustancia que puede absorber electrones y puede desprender oxígeno, sirve para aclarar el color de la harina y de la miga o para estabilizar la miga y mejorar de este modo el procesamiento y volumen panificado.
Pentosanasa	Enzima perteneciente a la familia de las hemicelulasas, que descompone el pentosano. Dado que los pentosanos en la harina de trigo se tratan en su mayor parte de xilano, las pentosanasas efectivas al panificar pertenecen en su mayor parte a la subfamilia de las Xilanasas.
Pentosano	Polímero de pentosas con enlace β -1,4 (azúcares con 5 átomos de carbono, p. ej., xilosa, arabinosa). Los pentosanos de la harina son principalmente

xilanos (cadenas de xilosa) con cadenas laterales de arabinosa. Por este motivo se denominan también como arabinoxilano.

Proteasas

Enzimas que disocian albúmina, destruyen las cadenas de aminoácidos y disocian de este modo proteínas en unidades más pequeñas. En las masas de trigo producen el ablandamiento de las mismas.

Proteínas

Están formadas por aminoácidos, básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Reología

Es el estudio de la deformación, los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos y la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. Las propiedades reológicas básicas son la consistencia, viscosidad, elasticidad y plasticidad.

Reacción de Maillard

Se lleva a cabo en un grupo aldehído o cetona, proveniente de azúcares reductores y grupos amino, de aminoácidos o proteínas formando pigmentos parduscos de componentes de proteína y azúcares (glucosa y maltosa) en la corteza del pan.

Sinergia enzimática

Un compuesto de determinadas enzimas interactúan entre sí, despliegan un efecto que supera al de las

enzimas individuales y pueden regular las propiedades más diversas de un producto panificado.

Sustrato

Compuesto químico que se transforma en un producto en una reacción enzimática.

Xilanasa

Pertenecen al grupo de enzimas de las pentosanasas. Disgrega el xilano existente en la estructura de soporte.

RESUMEN

Evaluar la sinergia de pares aditivos bromato de potasio y Xilanasa Fúngica, para mejorar las propiedades físico-mecánicas (consistencia, viscosidad, elasticidad, plasticidad, etc.) y organolépticas en las harinas de trigo duro para panificación, con el fin de desarrollar una formulación a nivel industrial, evaluando la efectividad del sistema de coadyuvantes bromato de potasio-Xilanasa Fúngica, confirmando con una prueba de análisis sensorial del producto final el “pan”.

Los objetivos de este estudio se basan en la mejora de las cualidades reológicas y físico-mecánicas de la harina de trigo, al mismo tiempo obtener un producto que no solamente cumpla con los estándares de calidad sino que sea un producto inocuo a la salud del consumidor.

El plan de experimentación, con la cual se evaluó el desempeño del sistema de aditivos y en individual bromato de potasio y Xilanasa Fúngica, se baso en lo siguiente:

Primero se realizó una fase de investigación de generalidades para poder desarrollar las formulaciones de harina de trigo (composición química de la harina de trigo, dosis máximas permisibles de los coadyuvantes de la harina de trigo, funcionalidad de cada uno de ellos, etc.).

Para desarrollar las posibles formulaciones se tomó en cuenta las dosis máximas de los aditivos en estudio, en el caso del aditivo alimenticio bromato de potasio, se realizaron pruebas de cero “0” ppm y 35 ppm, (35 ppm es la dosis máxima permisible, según la regulación establecida por el Ministerio de Economía, para cumplir el Reglamento Técnico Centroamericano). En el caso de Xilanasa Fúngica las dosis utilizadas fueron de cero “0” ppm a 400 ppm, estos límites fueron tomados de acuerdo a las dosis recomendadas por el fabricante de dicho aditivo.

Las formulaciones se realizaron de tal manera que para la primera parte del experimento se mantuvo constante la dosis de bromato de potasio a 35 ppm y la dosificación de Xilanasa Fúngica fue aumentándose de cero "0" a 400 ppm. Para la segunda parte se mantuvo constante la dosis de bromato de potasio a Cero "0" ppm y se fueron aumentando las dosificaciones de Xilanasa Fúngica de 0 a 300 ppm.

Después de obtener las posibles formulaciones se tomaron muestras de harina de trigo duro virgen (sin aditivos) las cuales se dividieron en dos partes a una de las muestras se agregaron los aditivos de acuerdo a la formulación, ambas muestras se analizaron de forma simultánea.

Para evaluar la actividad enzimática del aditivo Xilanasa Fúngica y el efecto de oxidación del bromato de potasio ambas muestras fueron reposadas durante 5 días previas a ser analizadas, de acuerdo al plan de evaluación para analizar los efectos favorables de los aditivos en la harina.

Comparando los resultados obtenidos de los distintos análisis físico-mecánicos en harinas de trigo a través de equipos de laboratorio y análisis sensorial de pan, se evaluaron los resultados y se obtuvo un producto que poseía todas las características necesarias y que cumplía con las especificaciones técnicas de una harina dura para panificación.

Los resultados fueron confiables y reproducibles ya que se trabajó con parámetros fijos como temperatura y porcentaje de humedad de laboratorio de 20 °C y 50% respectivamente, de igual forma los procedimientos de evaluación y formulación de panificación fueron constantes, los parámetros variables fueron las dosificaciones de los aditivos en estudio en la harina de trigo duro.

En este trabajo se da a conocer las aplicaciones de las enzimas en la industria de panificación, describiendo los tipos de enzimas que son utilizados y sus beneficios para las etapas de producción en la panificación.

Los objetivos que se pretenden son los de ampliar los campos de aplicación de las enzimas en los alimentos y de los tipos de enzimas que son utilizados en esta industria de molinería específicamente.

Se trabajaron formulaciones distintas con variedad en las proporciones de los aditivos en estudio, buscando en ellas un balance entre el nivel requerido en las propiedades físico-mecánicas requeridas por la industria de panificación y las propiedades organolépticas de la harina, de esta manera se obtuvieron formulaciones que tuvieron mayor aceptación en la prueba de panificación (cualitativa y sensorial) y de igual manera llenaron los requerimientos de calidad de una harina dura.

Se realizó en cada prueba un análisis sensorial para la confirmación de la aceptabilidad del pan, se concluyó que la formulación a nivel industrial desarrollada llenaba los requisitos tanto químicos, físico-mecánicos y organolépticos.

Al tener la composición del producto final se evaluaron los costos de la formulación de harina de trigo a nivel industrial, para que pudiera ser puesto en marcha en un futuro, ya que según estudios recientes el bromato de potasio ha ido en disminución en la dosificación en harinas de trigo y según el RTCA, tiene la tendencia a desaparecer en el año 2010¹ y a ser reemplazado por otro aditivo inocuo a la salud humana.

¹ Tomado del Diario Prensa Libre, Sección de Salud. Guatemala, 7 de junio de 2008.

OBJETIVOS

- **GENERAL:**

Evaluar la sinergia de mezclas de pares aditivos de (KBrO₄ y Enzima) bromato de potasio/Xilanasa Fúngica, para mejorar las propiedades físico-mecánicas, reológicas y organolépticas en las harinas de trigo duro para panificación.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Evaluar mezclas de proporciones de bromato de potasio como agente oxidante, sustituyendo parcial y totalmente dicho aditivo por un aditivo enzimático de principio activo "Xilanasa Fúngica", a harinas de trigo dura, en función de pruebas a nivel de laboratorio.
2. Evaluar la actividad enzimática de la Xilanasa Fúngica y el aporte de dicha enzima en la mejora de las características físico-mecánicas de las harinas de trigo duro mediante ensayos físico-mecánicos, reológicos y organolépticos, midiendo parámetros consecuentes que reflejen la calidad de acabado en las pruebas físico-mecánicas, llamadas pruebas reológicas (alveogramas y farinogramas) y pruebas sensoriales de panificación a nivel de laboratorio.

3. Dar a conocer uno de los campos de aplicación de los aditivos enzimáticos en los alimentos especialmente las aplicaciones de las enzimas en la industria de la panificación describiendo los tipos de enzimas utilizadas y sus beneficios en el tema de calidad y lo más importante en el tema de salud.

INTRODUCCIÓN

El pan es uno de los alimentos básicos más importantes en todo el mundo, debido a su alto contenido de nutrientes y bajo costo. En la actualidad la harina de trigo, principal ingrediente del pan es enriquecida con coadyuvantes que ayudan a mejorar las propiedades fisicoquímicas para obtener un producto de mejor calidad.

En la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se presentará la evaluación de la utilización de coadyuvantes utilizados para la mejora de las propiedades físico-mecánicas de harina de trigo duro para panificación, mediante la utilización de aditivos bromato de potasio y Xilanasa Fúngica, analizando su funcionamiento individualmente como la sinergia entre ambos aditivos.

Actualmente en Guatemala la adición de bromato de potasio esta legislada a un máximo de 35 ppm (35 mg KBrO_3/Kg harina de trigo duro), según la norma COGUANOR NGO 34: 4 .6.1. El tratamiento de la harina con bromato de potasio es utilizado debido a que es un catalizador en la fermentación dando mayor volumen de la pieza de pan, ha sido clasificado por la agencia internacional de investigaciones contra el cáncer como posible sustancia cancerígena en humanos, apoyado por el comité de expertos en aditivos alimentarios de la FAO/ OMS, conclusión originada debido que al utilizar bromato de potasio como agente de tratamiento de la harina se encontró trazas de Bromuro de potasio (KBrO_3^-) a una concentración de 50 ppm.

El siguiente estudio busca evaluar la efectividad de la sustitución parcial de bromato de potasio a una concentración máxima de 35 ppm y la sustitución total de bromato de potasio a cero "0" ppm del mismo, añadiendo aditivos alimenticios enzimáticos que compensen la actividad del bromato de potasio en la harina, con el fin de obtener alimentos inocuos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 El trigo

Es el cereal más importante, ya que provee más nutrientes que cualquier otro alimento en el mundo, el cual contiene una gran cantidad de carbohidratos, proteína, vitaminas y minerales.

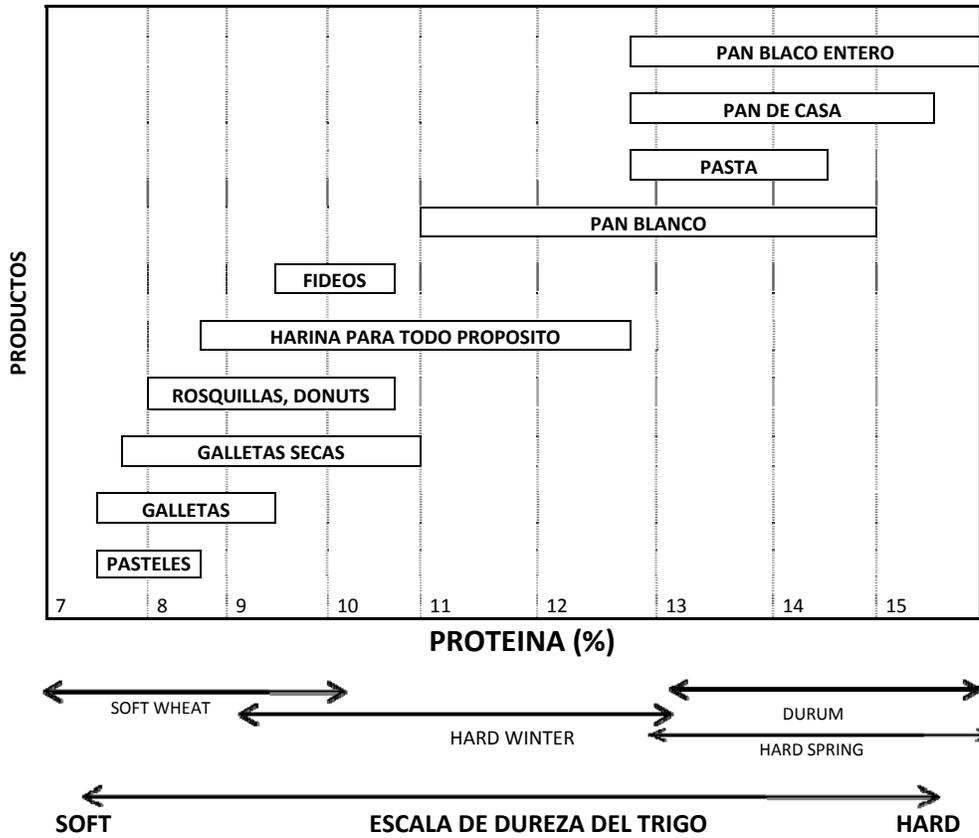
1.1.1 Clasificación del trigo

A nivel general, el trigo se clasifica de acuerdo a la textura del grano la cual puede ser vítrea o harinosa y está relacionada con su forma de fraccionarse en la molienda.

Las siguientes son características necesarias para una especificación del trigo:

- Tiempo de crecimiento: trigo de invierno o winter y trigo de primavera.
- Color del grano de trigo: rojo, blanco, amarillo o ámbar.
- Dureza del grano de trigo: el trigo se clasifica como soft, hard y durum.
- Porcentaje de proteína: de acuerdo a la riqueza proteica las propiedades de la harina son aprovechadas para diferentes productos.

Figura 1. Clasificación de trigos y producto final



Las harinas fuertes o duras como se les conoce comúnmente son fabricadas con trigo duro rojo de invierno (hard red winter) y trigo rojo de verano (hard red spring), utilizados para elaborar pan desabrido.

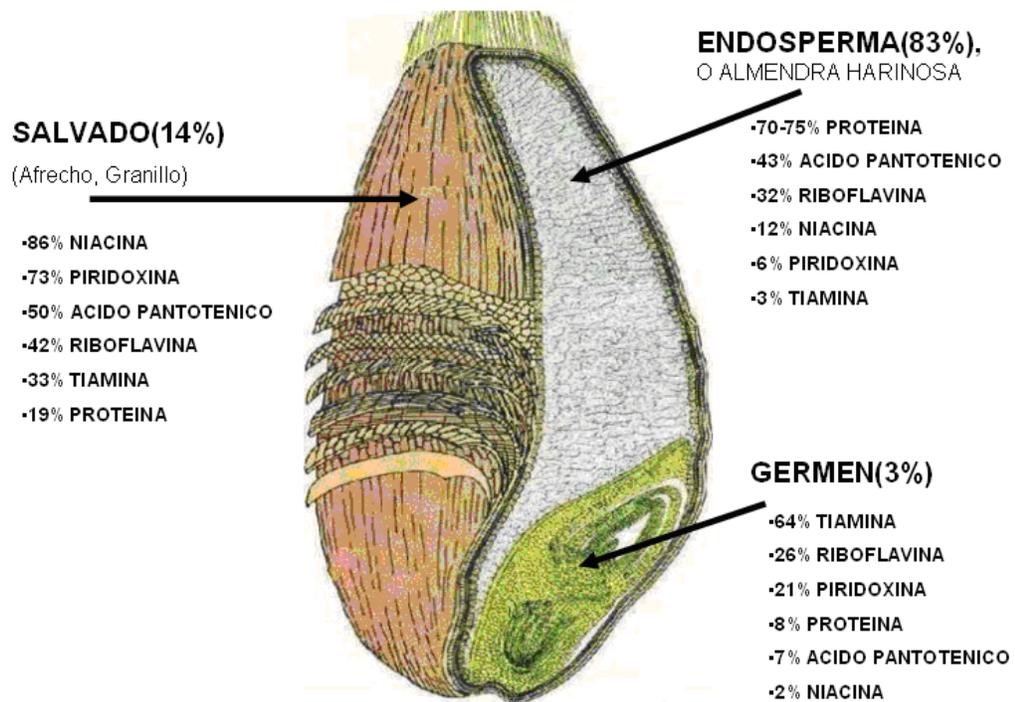
1.2 Estructura de un grano de trigo

Los granos de cereal pueden separarse en tres diferentes partes:

- El salvado

- El germen o embrión
- Endospermo

Figura 2. Composición de un grano de trigo



1.2.1 El salvado de trigo

Consta de las capas más externas de las células del grano “cáscara” que es el 14% de todo el grano, formadas de celulosa, hemicelulosa, hierro, vitaminas solubles en el agua, que incluyen tiamina, niacina y riboflavina, junto con algunas proteínas. Una sola capa de células (llamada “aleurona”) separa el salvado del resto del grano, puede estar incluido en la harina integral.

1.2.2 El germen o embrión de trigo

Constituye el aparato germinativo y forma del 2 al 3% del grano. El germen se separa en gran parte de los productos del trigo para evitar que se enrancien las harinas porque contiene grasas que limitan la conservación.

Las células que forman el germen también contienen proteínas, hierro, niacina, tiamina y riboflavina.

1.2.3 El endospermo

Es la proporción más grande de un grano de trigo y la más importante. Está constituida por el estrato aleurónico y el endospermo amilífero.

1.2.3.1 Estrato aleurónico

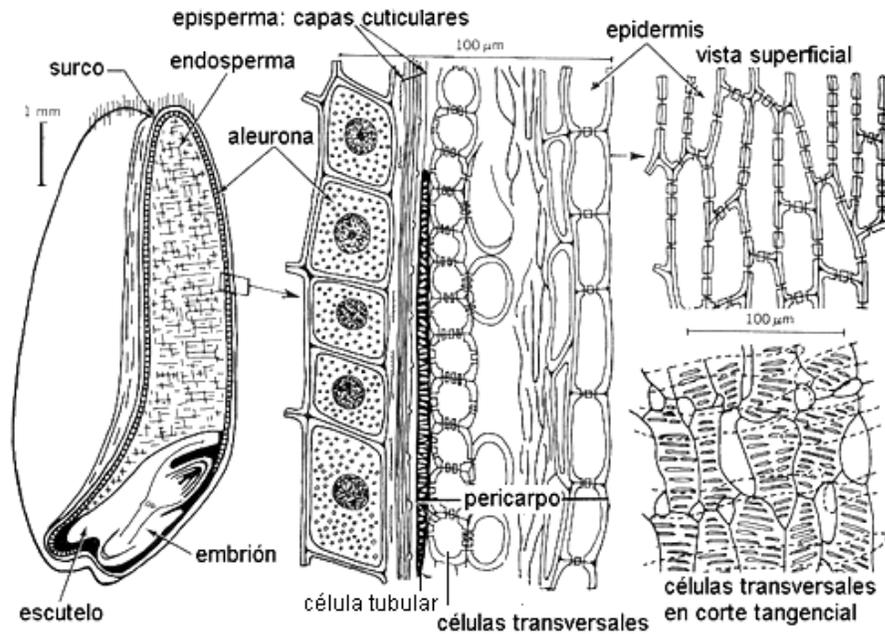
Región del grano rica en proteínas, grasas, sustancias minerales, vitaminas y enzimas, por lo que tiene un valor alimenticio muy elevado. Los gránulos de aleurona están revestidos de una capa de grasa equivalente al 9-10% del peso del grano entero.

1.2.3.2 Endospermo amilífero

Llamado almidón-glutámico, forma la mayor parte del grano alrededor del 80-85% de la cariósida, rico en harina blanca. Constituido por células poliédricas y comprenden una red citoplásmica, en la que se encuentran muchos granos de almidón, de forma y dimensiones que varían según la especie del cereal. El endospermo amilífero es menos rico en proteínas, grasas,

sustancias, minerales, vitaminas y enzimas que el embrión y que el estrato aleurónico pero es la única parte que contiene almidón.

Figura 3. Cariósido del trigo



1.3 Composición química del trigo

El grano maduro del trigo está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados (principalmente proteína), grasas, sales minerales y agua (humedad), junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y otras sustancias.

1.3.1 Humedad del trigo

El trigo contiene un mínimo de 8% y un máximo de 17%.

1.3.2 Sales minerales

Se encuentran en el salvado y capa aleurónica, oscilan entre 1.5 y 2.0%. Un 95% de minerales está formado por sulfatos y fosfatos de magnesio, potasio y calcio KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , en menor cantidad hierro, zinc, manganeso y galio.

1.3.3 Vitaminas

El trigo contiene ciertas vitaminas casi todas localizadas en la capa externa del grano como tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina, ácido pantoténico, ácido fólico, biotina, colina, inositol, tocoferoles y xantofila, precursores de la vitamina A.

1.3.4 Enzimas

Están presentes en pequeña cantidad en la carióspside del grano tienen una importancia fundamental en las características de los productos derivados.

- Diastasa: es la enzima más importante del trigo que está presente en el embrión del grano, está compuesta de α -amilasa y β -amilasa transformándose en dextrina y maltosa permitiendo la fermentación.
- Proteasas: actúan sobre la proteína formando polipéptidos y aminoácidos; tal fenómeno presenta un aspecto negativo desde el punto de vista tecnológico, en los productos de fermentación, ya que no permite la formación del complejo proteico.
- Celulasas que descomponen las paredes celulósicas del trigo.
- Invertasa: presentes en las levaduras que actúan sobre la sacarosa, transformándola en dextrosa y nebulosa.

- Maltasas: transforman la maltosa en dos moléculas de glucosa y que parece encontrarse en la zona interna de la célula de la levadura.
- Oxidasas: dan una coloración parda a la masa.

1.3.5 Hidratos de carbono

Forman aproximadamente un 83% de la materia seca total del trigo. Formados por el 60-68% de almidón, el 6.5% de pentosas, el 2% al 2.5% de celulosa, el 1.5% de azúcares reductores, hemicelulosa y dextrinas.

Los hidratos de carbono se separan en dos partes para ciertos análisis:

- 1) Fibra bruta: Insoluble en el tratamiento de ácidos y álcalis.
- 2) Hidratos de carbono solubles: compuestos nitrogenados, grasas y sustancias minerales.

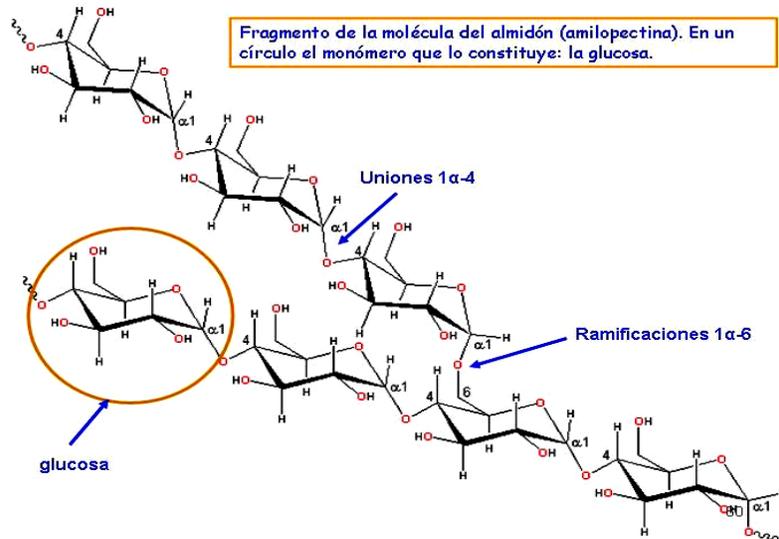
1.3.6 Lípidos (grasas)

Comprenden del 1.5-2% del trigo y están localizados principalmente en el germen, salvado y endospermo. El germen de trigo es particularmente rico en tocoferol llamada vitamina E.

1.3.7 Almidón

Constituye 60% del grano, su importancia tecnológica se debe a su capacidad de absorber agua. Los gránulos de almidón están formados por dos tipos de moléculas, lineales (amilosa) y ramificadas (amilopectina). Están unidos por enlace α 1-4 glucósido de cadena lineal y enlace α 1-6 glucósido de cadena ramificada.

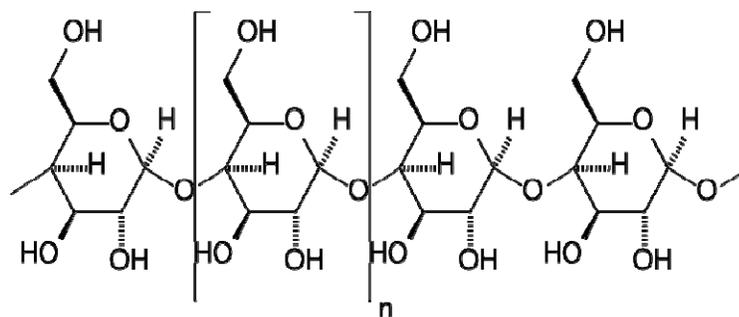
Figura 4. Fragmento de la molécula de almidón.



1.3.7.1 Amilosa

La α -amilasa, rompe la macromolécula de almidón, formando moléculas más pequeñas (dextrinas). Para el tratamiento de la harina, favorece la formación de gas a través de la levadura en la masa y reduce la viscosidad de esta y mejora el tostado en la corteza del pan.

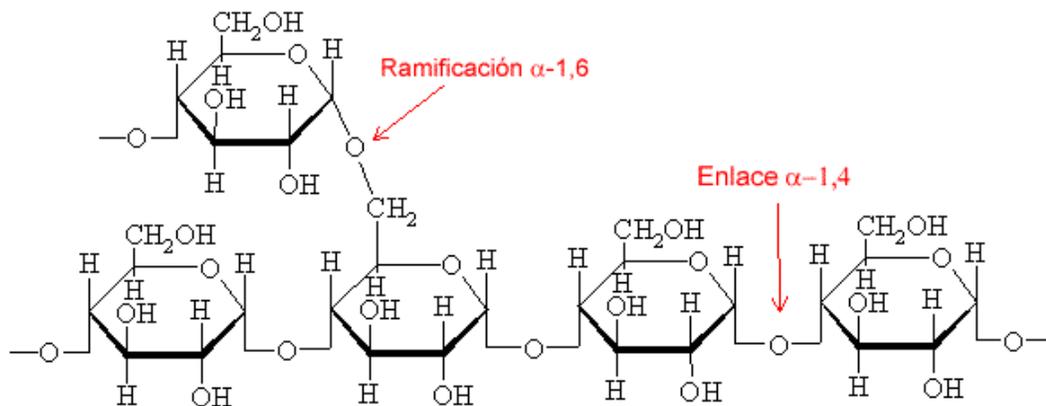
Figura 5. Segmento de amilosa



1.3.7.2 Amilopectina

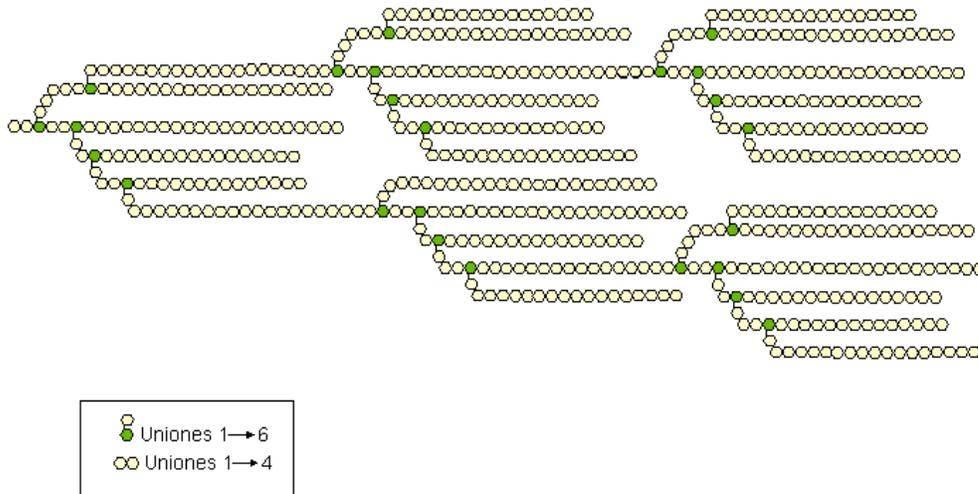
La β -amilasa (exoamilasa) transforma el almidón en maltosa al separar, progresivamente dos unidades moleculares de la parte terminal de la macromolécula de almidón. El azúcar formado por medio de la beta-amilasa puede utilizarlo la levadura en las masas para la fermentación y contribuye al tostado de los productos panificados.

Figura 6. Polisacárido de amilopectina



La amilopectina presenta ramificaciones de enlaces α -D-(1,6), las ramificaciones aparecen cada 20 ó 30 glucosas. Las cadenas de las ramificaciones se ramifican a su vez, formando una estructura "fractal", alrededor de una cadena central, que es la única que tiene un extremo reductor. La molécula presenta ramificaciones por unidades $1^a \rightarrow 6$ entre las moléculas de glucosa.

Figura 7. Estructura ramificada de la Amilopectina.



1.3.8 Azúcares reductores

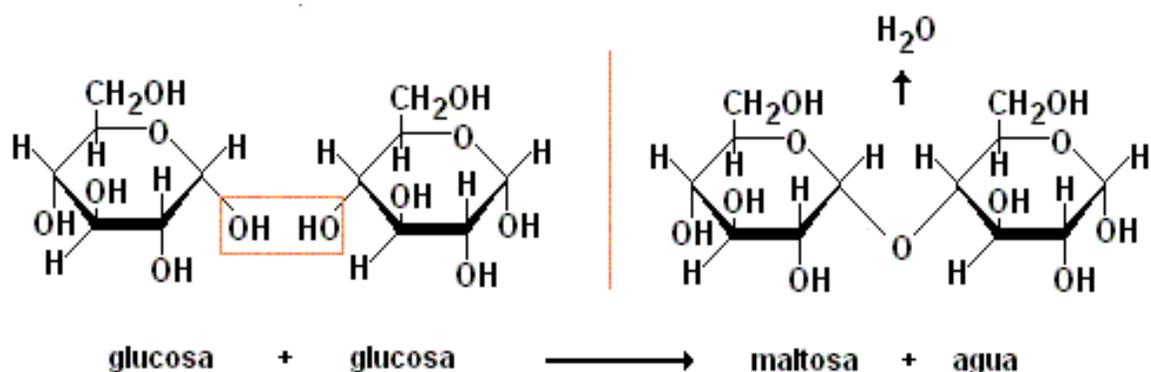
La sacarosa al incorporar una molécula de agua por hidrólisis, se descompone en los monosacáridos que la forman, glucosa y fructosa, que son reductores. Los azúcares reductores permiten la actuación de la fermentación de la masa (harina-agua) con producción de gas, están presentes en cantidades mínimas en el grano recién recogido, pero se va formando paulatinamente la conservación tanto del grano como de la harina.

1.3.8.1 Dextrinas

Moléculas solubles y amorfas, $(C_6H_{10}O_5)_n$, que se forma en la pasta de almidón por la acción de los ácidos, del calor o de enzimas como la diastasa, que transforman el almidón en dextrinas y en maltosa. El primer producto que se forma en esta reacción es el almidón soluble, que a su vez se hidroliza

formando la dextrina. Dos moléculas de α -D-glucosa unidas a través del carbono 1 de una molécula del carbono 4 de la otra (con enlace glucosídico y la eliminación de una molécula de agua) da lugar a la molécula del disacárido maltosa, como se observa:

Figura 8. Formación de Maltosa.



Tres moléculas de glucosa unidas por este tipo de enlace forman una **triosa**. Una cadena de varios residuos de dicha glucosa se denomina una **dextrina**.

1.3.9 Proteínas

Las moléculas de la proteína están formadas por cadenas de aminoácidos unidos entre sí, según enlaces peptídicos, entre el grupo carboxílico (COOH) de un aminoácido y el grupo alfa-amino (NH₂) del vecino. El contenido proteico del grano, referido al contenido en nitrógeno total

determinado por el **método Kjeldahl**, oscila de un mínimo del 7% para un trigo suave y un máximo del 18% para un trigo Durum, con valores medios entre el 10 y el 13% para un trigo para panificación.

Mediante un simple fraccionamiento basado en la solubilidad en agua, la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas; de éstas dos son solubles en una solución salina diluida: una **albúmina**, **lencosina**, con un contenido porcentual respecto al total proteico del 12% y **globulina** con el 5-11%; dos son insolubles en agua y solubles en solventes polares (alcohol y acetona), ambas constituyen entre el 45 y 40% respectivamente, de la totalidad de las proteínas del trigo.

1.3.9.1 Gluten

Es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Se compone de **gliadina** y **glutenina**, que difieren por su solubilidad en alcohol, ácidos y álcalis diluidos.

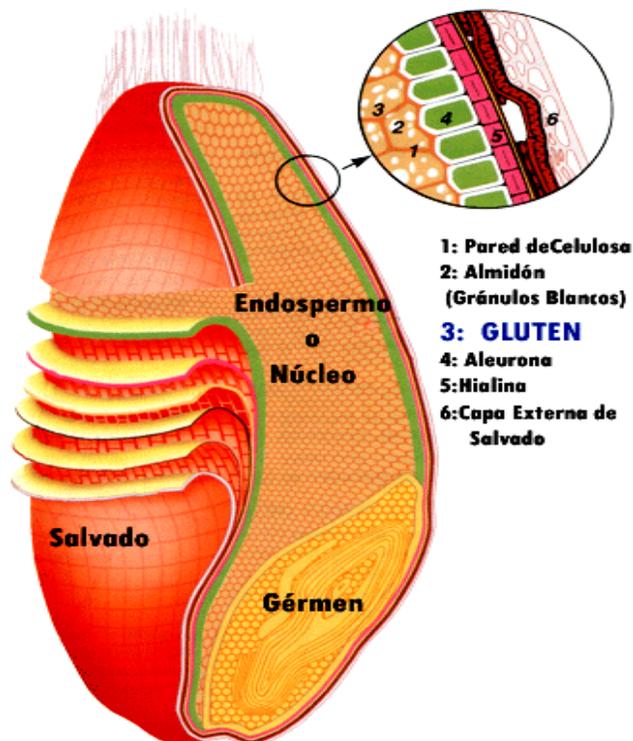
- Glutenina, proteína encargada de la fuerza o tenacidad de la masa.
- Gliadina, proteína responsable de la elasticidad de la masa.

La gliadina y la glutenina en contacto con el agua y las sales se unen con enlaces intermoleculares formando el gluten, este representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la masa obtenida a partir de la harina y del agua. El gluten es elástico y se hincha, propiedad de gran valor en la panificación, esto sucede ya que los planos de deslizamiento están formados por hojillas de lipoproteína interpuestos entre laminas de proteína y cadenas polipeptídicas.

Su elasticidad se debe a los grupos sulfidrilo por oxidación de uniones disulfuro, formando nuevas uniones. Cuando la harina es mezclada con agua en ciertas proporciones el gluten forma una masa elástica coloidal la cual puede

retener el gas producido en la fermentación el cual formará una estructura esponjosa al ser horneada. Inicialmente el gluten existe en la masa en una condición semejante a la de un resorte lo cual proporciona un comportamiento elástico, esta característica de la harina de trigo no se encuentra en otros granos de cereal y permite la fabricación del pan blanco suave.

Figura 9. Localización del gluten en el grano de trigo.

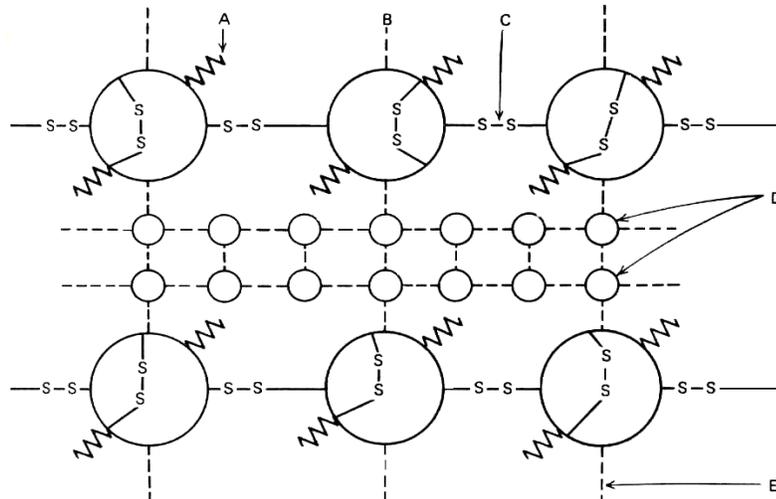


Las proteínas se encuentran en todas las partes del grano, y se encuentra en mayores concentraciones en el embrión, escutelo y capa de aleurona. Como también aumenta el contenido proteico del centro hacia la periferia del endospermo.

Las proteínas de la harina son necesarias para la formación del gluten, las albúminas solubles en el agua y las globulinas solubles en sales. La fracción

de glutenina es la que confiere a la masa del pan sus propiedades elásticas, mientras que las gliadinas son fluidas y pegajosas.

Figura 10. Esquema de glutenina.



A) Sub unidad de glutenina II B) enlace disulfuro intrapolipeptídico C) enlace de disulfuro interpolipeptídico D) Subunidades de glutenina I E) Enlaces secundarios (puentes de hidrogeno e interacciones hidrofóbicas).

1.4 Harina dura y suave

Básicamente existen dos tipos de harina, la harina de trigo duro con un gluten más fuerte y buen retenedor de gas, utilizada principalmente para producir pan de gran volumen y buena textura (pan tipo francés); y la harina de trigo suave utilizada para elaborar pasteles y galletas.

La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea “fuerte” o “suave”. La harina suave es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas flojas, dando panes bajos y de textura deficiente. La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorio, que es en la cual nos centraremos para este estudio.

Tabla I. Requisitos físico-químicos de conformidad de la harina dura, en base a 14% de humedad.

Determinaciones	Especificaciones harina dura
Humedad, en porcentaje en masa (m/m) máximo	14.00 %
Proteínas, en porcentaje en masa (m/m), mínimo	12.50 %
Ceniza en porcentaje en masa (m/m), máximo	1.00 %
Tamaño de las partículas: deben ser tal que el 98% de la harina pase a través de un tamiz No.70 (212 μm).	

Fuente: Referencia Bibliográfica 7

La calidad tecnológica de la harina depende no solo de la composición en aminoácidos del gluten, sino también de la presencia de aminoácidos sulfurados que contienen grupos tiol (-SH) o disulfuros (-S-S).

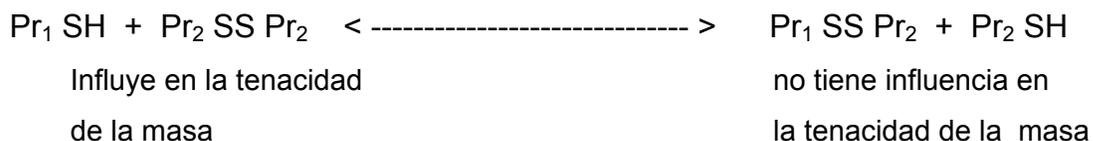
La acción mejorante de los agentes oxidantes se explica sólo sobre una parte de los grupos -SH presentes, llamados precisamente reactivos o libres. También las uniones de disulfuros son importantes para la propiedad de la masa, ya que forman uniones cruzadas con cadenas polipeptídicas y con otras, reaccionando con los grupos tiol, pudiendo intercambiarse y por consiguiente dar movilidad a la estructura relativamente semirrígida de la masa.

Los trigos duros contienen mayor contenido de grupos disulfuro por gramo de sustancia seca respecto a la de trigos blandos.

Existe una relación inversa entre el número de puentes disulfuro y la cantidad de proteína, esto significa que el trigo blando debe contener una mayor cantidad de grupos disulfuro respecto al trigo duro. Esto suministra indicaciones importantes sobre la diferencia de calidad de la harina porque los grupos -S-S

están unidos varias cadenas polipeptídicas en relación al número de uniones. Los grupos tiol están en estrecha relación con la propiedad reológica de la masa, porque los –SH reaccionan facilitando el intercambio de puentes - S-S. Además las reducciones de los grupos disulfuro por parte de los grupos tiol, que se constata en la primera fase del intercambio, causarían una despolimerización de la proteína y por consiguiente una disminución de la fuerza.

En efecto, si se considera Pr₁ la proteína soluble en agua y Pr₂ el gluten, es posible la siguiente reacción:



El contenido de los grupos disulfuros reactivos (unión intercatenaria) aumenta en proporción inversa a la fuerza, por lo que la proteína de la harina más débil tiene una mayor cantidad de esas uniones respecto a las que provienen de harina más fuertes.

1.5 Concepto y clasificación de las enzimas

Las enzimas tienen un gusto refinado, es decir cada una prefiere unas pocas sustancias, muchas veces solamente una molécula, donde solo puede influir en una reacción química determinada. Son catalizadores muy específicos; pueden modificar un único sustrato, es decir pueden modificar un único enlace o un único grupo funcional en una molécula que tenga varias posiciones modificables. Las enzimas tienen como función la catálisis o regulación de la velocidad de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los sistemas

biológicos, disminuyendo la actividad energética. Las propiedades de las enzimas derivan del hecho de ser proteínas y de actuar como catalizadores, suelen ir asociados en cambios en la actividad catalítica.

Las enzimas son denominadas biocatalizadores porque reducen la resistencia a reacciones, disminuyen la actividad energética. De esta forma la reacción no solamente se desarrolla en condiciones más suaves –por ejemplo temperaturas más bajas – sino también más veloces. Son varios los factores que influyen de manea directa sobre la actividad enzimática.

Figura 11. Factores determinantes de la actividad enzimática.



Las enzimas necesitan condiciones ideales para actuar, el agua es importante para el efecto de las enzimas. En el caso de la Xilanasa Fúngica actúa solamente en presencia de agua es decir necesita una mayor actividad de agua para actuar en comparación con otras enzimas.

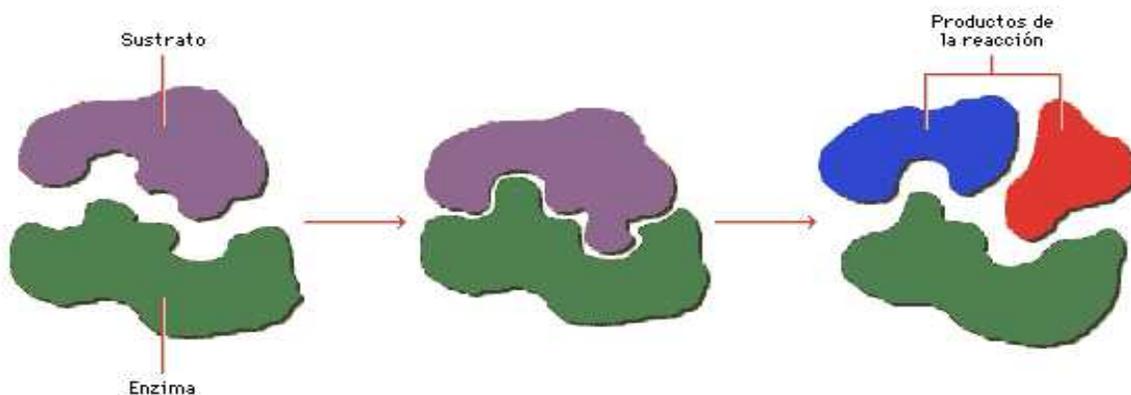
En una reacción catalizada por la enzima, los reactivos se denominan **sustratos** (S), es decir la sustancia sobre la que actúa la enzima. El sustrato es modificado químicamente y se convierte en uno o más **productos** (P). Como esta reacción es reversible se expresa de la siguiente manera:



Pasos que ocurren durante la acción enzimática:

- El sustrato se enlaza a la enzima.
- Ocurren alteraciones químicas que incluyen rompimiento y formación de enlaces.
- La enzima libera el producto de la reacción.

Figura 12. Pasos que ocurren durante la acción enzimática.



La clasificación de las enzimas se realiza de acuerdo con el tipo de reacción de transferencia, el grupo dador y el grupo aceptor, y se reconocen 6 grupos principales:

- 1. Oxidorreductasas:** catalizan reacciones de óxido-reducción.
- 2. Transferasas:** transfieren grupos activos (obtenidos de la ruptura de ciertas moléculas) a otras sustancias receptoras.
- 3. Hidrolasas:** reacciones de hidrólisis o transferencia de grupos funcionales al agua.
- 4. Liasas:** realizan la degradación o síntesis (llamadas sintetasas) de los enlaces denominados fuertes sin ir acoplados a sustancias de alto valor energético.
- 5. Isomerasas:** transferencia de grupos en el interior de la molécula para originar formar isoméricas.
- 6. Ligasas:** forman diversos enlaces acoplados a la ruptura de ATP.

Las enzimas se denominan añadiendo así al nombre del sustrato con el cual reaccionan. La pureza de la enzima se ve reflejada en la *actividad específica* que es el cociente de actividad enzimática (expresada en unidades enzimáticas) y la cantidad total de proteínas.

1.6 Características de los aditivos utilizados en la harina de trigo para panificación

De acuerdo al CODEX ALIMENTARIUS, los aditivos son sustancias que se añaden a la harina para mejorar la calidad de cocción o el color de la misma, estos pueden ser: acondicionadores de masa, mejoradores de harinas y blanqueadores.

De acuerdo a los principios generales del RTCA-UAC, el uso de aditivos alimentarios está justificado únicamente si ello ofrece alguna ventaja, no presenta riesgo para la salud del consumidor y si desempeña una o más de las funciones establecidas por este reglamento y los requisitos señalados a continuación, y sólo cuando estos objetivos no puedan alcanzarse por otros medios que sean económica y tecnológicamente viables:

- Aumentar la calidad de conservación o la estabilidad de un alimento o mejorar sus propiedades sensoriales, a condición de que ello no altere la naturaleza, sustancia o calidad.
- Proporcionar ayuda para la fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, transporte o almacenamiento del alimento, a condición de que el aditivo no se utilice para encubrir los efectos del empleo de materias primas defectuosas o de prácticas (incluidas las no higiénicas) o técnicas indeseables durante el curso de cualquiera de estas operaciones.²

² Tomado REGLAMENTO TECNICO DE ADITIVOS ALIMENTARIOS. Adaptación de la norma Codex Stan 192-1995. (Rev. 6-2005) Norma General de Aditivos Alimentarios

1.6.1 Coadyuvantes de masa para panificación

De acuerdo a la norma Guatemalteca **NGO 34:4.6.1**: los coadyuvantes y fortificantes de masa para panificación: “son sustancias usadas para modificar las propiedades reológicas de la masa así como fortalecer la misma, de manera que se produzca una masa estable, elástica y manejable. También tienen la propiedad de mejorar la consistencia y prolongar la vida útil del producto terminado”. Los coadyuvantes o aditivos alimenticios de masa permitidos para el tratamiento de harina son los siguientes:

Tabla II. Límites de aditivos utilizados en harina de trigo

Agentes permitidos para el tratamiento de la harina	Niveles máximos mg/kg
- Acido L-ascórbico y sus sales de sodio y potasio	300
- Clorhidrato de L- cisteína	90
- Dióxido de azufre (utilizados únicamente en harinas para bizcochos y pastas)	200
- Fosfato mono cálcico	2 500
- Lecitina	2 000
- Cloro (en tortas de alto porcentaje)	2 500
- Dióxido de cloro (para productos de panadería crecidos con levadura)	30
- Peróxido benzoílico	60
- Azodicarbonamida (para pan con levadura)	45
- Bromato de potasio	35

Fuente: Referencia Bibliográfica 7

1.6.2 Fortificación de harina de trigo en Guatemala

A la harina de trigo se le agregan micronutrientes en las proporciones establecidas de acuerdo a los niveles mínimos a alcanzar (mg/kg de harina).

Tabla III. Formulación de fortificación de harina en Guatemala.

Sustancia	Dosificación
Hierro (la fuente de hierro a utilizar es Fumarato Ferroso)	55,0 mg/kg
Tiamina (vitamina B-1)	6,2 mg/kg
Riboflavina (vitamina B-2)	4,2 mg/kg
Niacina	55,0 mg/kg
Acido Fólico	1,8 mg/kg

Fuente: Referencia Bibliográfica 7

1.7 Aditivos como coadyuvantes en la oxidación de las masas de panificación

La harina de trigo cambia sus propiedades panaderas durante el almacenamiento a temperatura ambiente, con un aumento del volumen del pan progresivo, de color más blanco y la estructura celular de la miga se hace más fina y blanda. Estos cambios beneficiosos continúan durante aproximadamente 12 meses, pero después la calidad panadera de la harina de trigo empieza a declinar. Este proceso de maduración natural de la harina no es siempre posible en la elaboración comercial del pan por los altos costos de almacenamiento y variación del periodo de maduración entre un lote de harina y otro.

La introducción de agentes químicos como mejoradores de la harina hizo que el período de maduración resultara innecesario le permitió al panadero superar los problemas de calidad.

1.8 El bromato de potasio coadyuvante en harina de trigo para panificación

El bromato de potasio (KBrO_3) está clasificado por la CE como aditivo alimentario seguro, coadyuvante permitido número E924.³

La sustancia actúa como agente oxidante después de hacer la masa; aumenta la elasticidad y reduce la extensibilidad del gluten. El tratamiento con bromato produce el mismo efecto que el envejecimiento de la harina y permite establecer un período constante de fermentación, debido a que es un catalizador, ya que modifica las proteínas dando lugar a un gluten más elástico, la harina absorbe mayor cantidad de agua lo cual se resume en mayor rendimiento en la masa, retiene más dióxido de carbono dando mayor volumen de la pieza de pan.

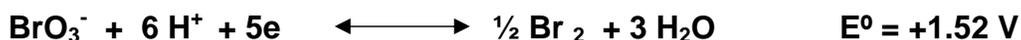
En el proceso de panificación éste actúa durante la fermentación y en la primera etapa del horneado, modificando las proteínas y dando un gluten más elástico, de forma tal, que la masa absorbe mayor cantidad de agua y retiene más dióxido de carbono, obteniéndose así mayor volumen, debido a que el bromato de potasio (KBrO_3) es una sustancia inorgánica compuesta por un átomo de potasio y tres de oxígeno, el residuo que queda en el pan después del horneado es el compuesto bromuro de potasio (KBr), como se muestra en la siguiente reacción química:

³ Referencia 8, Tabla B5, Pág. 522

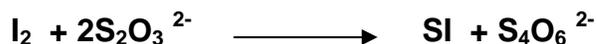
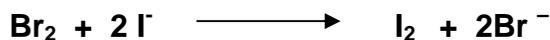
El bromato de potasio es un oxidante fuerte, reduciéndose a ión bromuro:



El potencial del par bromuro:



Después de que la reacción llega a su fin el bromo se determina por medio de la adición de yoduro de potasio, seguida por la titulación del yodo liberado con tiosulfato de sodio (Na_2SO_3).



La rápida reacción del **ioduro de potasio (KI)**, con los grupos sulfhídricos se utiliza para determinar la reactividad de estos últimos en las masas de harina y agua. Los grupos tiol no tienen todos el mismo grado de reactividad, aquellos que han reaccionado se pueden determinar ya que corresponden a los equivalentes de ioduro potásico residual, titulados con tiosulfato, expresados en partes por millón.

1.8.1 Acción del bromato de potasio en la harina de trigo duro

Los agentes oxidantes o maduradores, se agregan a la harina para que la masa tenga las propiedades reológicas deseadas. La masa no debe ser tan

firme ni tan extensible que las burbujas de gas sean incapaces de expandirse, ni tan débiles que la masa se venza fácilmente y libere el gas. Los enlaces de disulfuro en las moléculas de glutenina dan elasticidad a la masa y la hacen capaz de resistir la expansión y que los grupos sulfhidrilos debilitan la masa, rompiendo los enlaces de disulfuro.

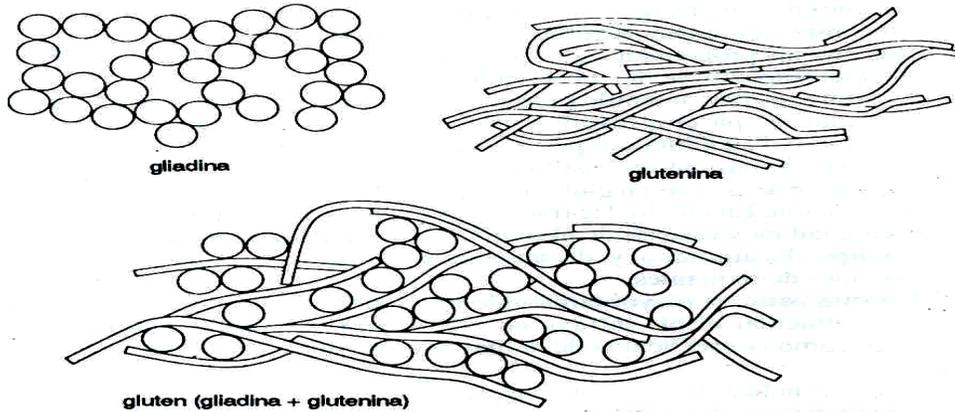
Sería conveniente el intercambio de algunos sulfhidril-disulfuros a medida que la masa se mezcla de manera que las fibrillas de proteína se puedan estirar al alinearse para formar gluten. Sin embargo una vez que el gluten se ha desarrollado, los grupos sulfhidrilos afectan desfavorablemente a la masa por despolimerizar las moléculas que formaron el gluten. Las fuentes de grupos sulfhidrilo en la masa son pequeños péptidos en los constituyentes solubles en el agua de la harina, sustancias liberadas como resultado de la fermentación, leche no calentada, germen de trigo y grupos sulfhidrilos formados por la división mecánica de los enlaces de disulfuro cuando se forma la masa.

El volumen del pan depende principalmente del contenido proteico de la harina, y en especial de las fracciones proteicas que en la fase de amasado dan lugar a la formación del gluten, además las harinas constituidas con fracciones proteicas enriquecidas en gliadina pero escasas en glutenina provocan una reducción apreciable del tiempo de amasado y de absorción de agua y un aumento de las necesidades de oxidantes.

Por otra parte, el mayor contenido en gliadina de las fracciones insolubles, al aumentar el pH influye en el volumen del pan obtenido, que es mayor como consecuencia de la alta concentración de gliadina.

Las proteínas de la gliadina que se encuentran en la harina son responsables del volumen de amasado de la harina por lo que una justa proporción de ambas, dan las condiciones ideales para la harina dedicada a la panificación. El efecto de la estructura proteica del grano se da en las proporciones visco elásticas de las proteínas hidratadas.

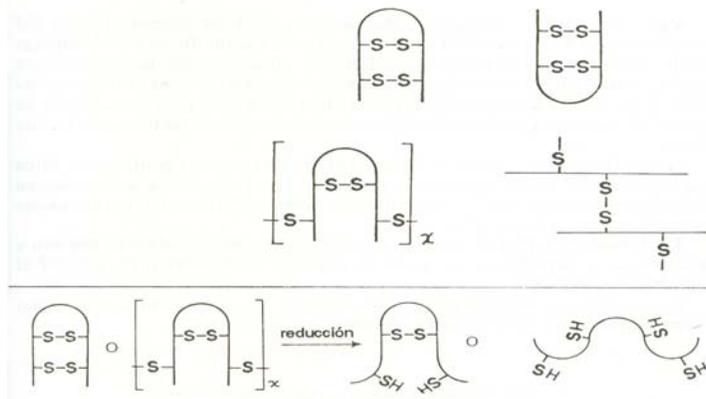
Figura 13. Estructura proteica del gluten



La figura anterior muestra un esquema simple en el que puede destacarse como el predominio de la gliadina o la glutenina y como alternarían el producto final, el gluten.

La molécula del gluten da tenacidad a la masa debido a la amplitud de su superficie y a su capacidad de asociación molecular. Esto evidencia la importancia que tiene el proceso de oxidación, que se produce durante el amasado sobre la reestructuración de los enlaces disulfúricos presentes en las proteínas.

Figura 14. Efectos en los enlaces disulfúricos durante el amasado.



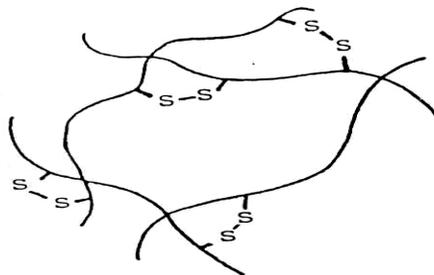
Excesos o defectos en el proceso de oxidación provocan inconvenientes tanto en la masa como en el pan. En general las sustancias oxidantes mejoran la masa, ya que al actuar:

- Refuerzan las propiedades mecánicas del gluten
- Aumentan la capacidad de retención el anhídrido carbónico y por tanto como efecto práctico, dan un pan con mayor volumen y con unos alveolos mejor y más uniformemente distribuidos en la miga.

Para analizar cómo actúa una sustancia oxidante es necesario partir del concepto de la formación del gluten, ya que este es un conjunto de dos fracciones proteicas **gliadina y glutenina**, unidas por enlaces químicos de distinta naturaleza, tanto intermoleculares como intramoleculares, para formar una red con características de elasticidad y retención de gas, características fundamentales de las masas de harina de trigo.

Se puede considerar el gluten como un conjunto de hilos que representan las moléculas de las proteínas. Estos hilos interaccionan entre sí o con sustancias (lípidos y glúcidos) formando puentes que crean una red más o menos densa.

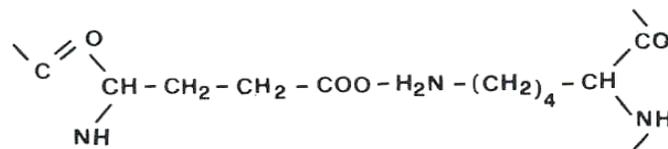
Figura 15. Red del gluten



La densidad y solidez de estos puentes, y la elasticidad de la red van a determinar la capacidad que tiene la masa de fermentar o de retener el

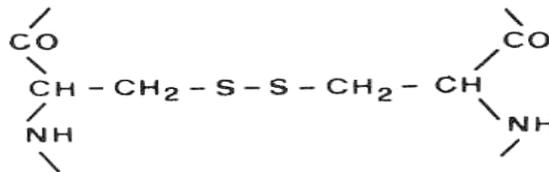
anhídrido carbónico. Los puentes se derivan de los dos tipos de enlaces peptídico como el que se da entre el ácido glutámico y la lisina.

Figura 16. Enlace peptídico



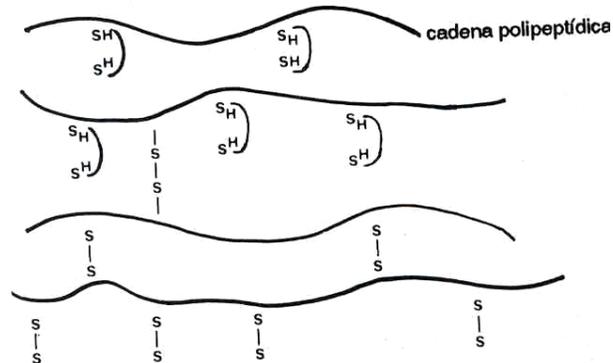
Y el enlace disulfuro que se deriva de la unión de dos moléculas de alfa-amilasa por deshidrogenación.

Figura 17. Enlace disulfuro



Mientras que los enlaces peptídicos dependen del pH del ambiente, la formación de los enlaces disulfuros dependen del potencial de óxido-reducción y en particular de la presencia de oxidantes, que al incrementar la transformación de dos moléculas de cisteína en una molécula de cistina, vuelven a unir de nuevo las mallas glutínicas. En cuanto el bromato de potasio (KBrO₃) se reduce a bromuro (Br⁻), este oxida la cisteína (aminoácido con grupos sulfhídricos) a cistina (aminoácido con grupos disulfuros) aumentando así el numero de puentes disulfuro entre las proteínas.

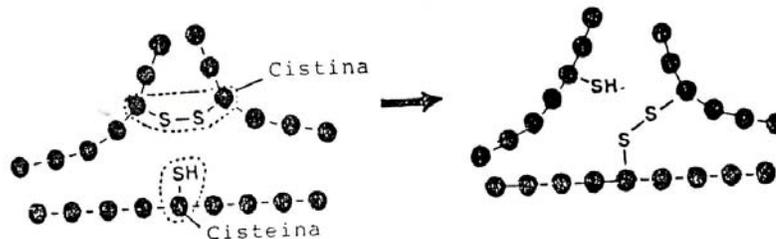
Figura 18. Oxidación de la cisteína



En general los enlaces disulfuro son las uniones intra e inter-moleculares más fuertes, ligando un par de moléculas del aminoácido cisteína para formar otro, la cistina.

Cuando se agrega agua a la harina para preparar la masa, las moléculas proteicas empiezan a hidratarse e hincharse. Bajo la influencia de la energía mecánica durante el amasado, las cadenas proteicas se retuercen lo que ocasiona estiramiento y compresión de la red proteica. Los grupos sulfidrilo libres dentro de la proteína reaccionan con otros grupos sulfidrilo libres para formar nuevos enlaces disulfuro. Es más, los enlaces de disulfuro se parten y una o las dos mitades vuelven a formar otro enlace disulfuro con un grupo sulfidrilo libre. Así se forma una nueva y continua red proteica tridimensional, responsable de la estructura y elasticidad de la masa.

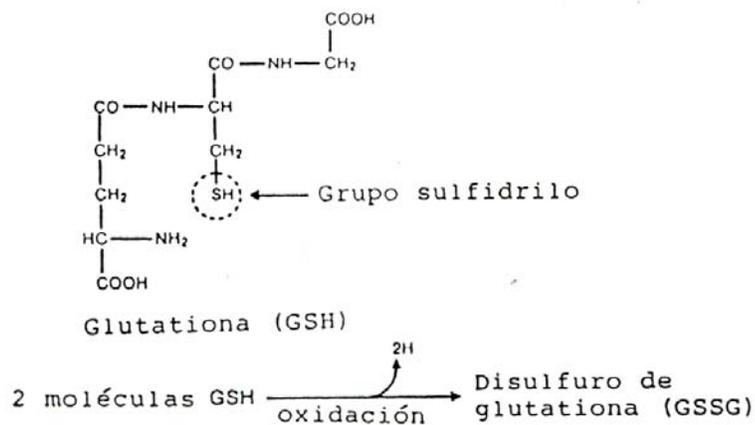
Figura 19. Ruptura de un enlace disulfuro.



Las burbujas de gas se expanden durante la fermentación. La película proteica en las paredes de estas burbujas debe ser capaz de estirarse sin romperse hasta que la masa sea colocada en el horno y comience el horneado.

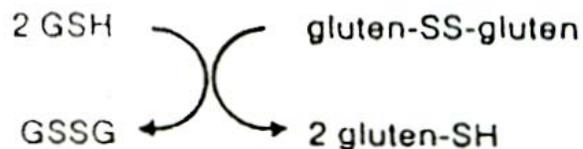
La masa no solo contiene moléculas proteicas de cadena larga como el gluten, sino también proteínas muy cortas o de bajo peso molecular, tales como el tripéptido glutatona.

Figura 20. Glutaciona y disulfuro de glutaciona



En la reducción de la estructura del gluten, la glutaciona reacciona fácilmente con la proteína de cadena larga mediante un intercambio sulfidrilo-disulfuro entre la glutaciona y las moléculas del gluten.

Figura 21. Reducción de la estructura del gluten



El resultado es una depolimerización y ruptura de la estructura del gluten con la consiguiente pérdida de la estabilidad de la masa, la glutatióna se oxida tan rápidamente que no queda tiempo para que se realice el intercambio de los disulfuros con el gluten. Aquí es donde los agentes oxidantes ejercen su efecto beneficioso gracias a su adición.

1.9 Legislación del bromato de potasio en Guatemala

La asociación de nutricionistas de Guatemala (Andeguat) expresó su preocupación porque se esté utilizando en exceso el bromato de potasio en la elaboración de pan francés, debido a que se trata de un agente cancerígeno, prohibido en otros países.⁴

El bromato de potasio es un oxidante que actúa sobre el gluten y permite elaborar pan más grande y blanco, pero de menor peso, debido a esta razón el contenido nutricional de un pan francés se ha vuelto incierto por las modificaciones de tamaño e ingredientes en su producción.

Según la Andeguat, el valor nutricional de un pan francés de tamaño mediano (2 onzas) debe tener los siguientes valores:

- Agua: 60 por ciento
- Energía: 311 calorías
- Proteínas: 9.40 gramos
- Grasa: 4.30 gramos
- Carbohidratos: 58.50 gramos

⁴ Tomado del diario Prensa Libre. Pág. 68. Guatemala 7 de junio de 2008.

El uso de bromato de potasio comenzó a cuestionarse por las siguientes razones:

- La ingestión excesiva produce náuseas, dolores gástricos, depresión nerviosa central, afecciones renales y peritoneales.
- Su manipulación física es peligrosa, debido a su capacidad para producir combustión espontánea y explosión.

En 1983 la agencia internacional de investigación contra el cáncer reconoció sus efectos, ése mismo año la FAO y la OMS propusieron no permitir concentraciones mayores de 75 ppm (mg KBrO₄/Kg de harina de trigo duro).

La unión Europea, varios países de Sur América, seguido de Costa Rica, y en última instancia Guatemala prohibió el uso de dicha sustancia en la elaboración de pan.

Guatemala admitía 50 miligramos de bromato de potasio por kilogramo de harina dura y a partir de febrero del año 2008, bajo la dosificación máxima a 35 mg/kg en febrero del año 2009.

Tabla IV. Especificación del bromato de potasio, para Guatemala

BROMATO DE POTASIO INS 924a			
Función: Agente de maduración y agente oxidante			
No. categoría de alimentos	Categoría de alimentos	Nivel máximo	Observaciones
06.2	Harinas y almidones	35 mg/kg	Para Costa Rica 0 mg/kg y para Nicaragua 30 mg/kg

Fuente: Referencia Bibliográfica 7.

Esta regulación fue establecida por el Ministerio de Economía, para cumplir el Reglamento Técnico Centroamericano suscrito por los países del Itsmo. Ese mismo acuerdo establece que las naciones signatarias deben permitir el uso del bromato de potasio hasta el 2010, año en que deberá ser prohibido en la elaboración de pan.

1.10 Enzimas como coadyuvantes en la harina de trigo para panificación

El uso de enzimas hace que se pueda mejorar la homogeneidad de la masa extender la vida del pan, controlar y mejorar el color del pan, incrementar el volumen de los mismos.

El uso de aditivos enzimáticos se prefiere por lo siguiente:

- Las reacciones enzimáticas ocurren en condiciones suaves.
- Son reacciones muy rápidas.
- De fácil control.
- Sin impacto ambiental adverso.
- Con dosis bajas se obtienen grandes resultados.
- Acción altamente específica.

Tabla V. Grupos de enzimas.

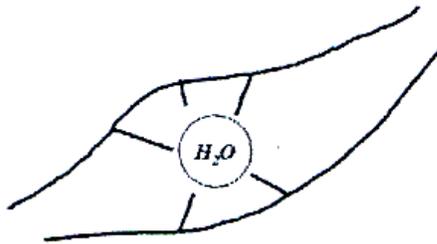
Componentes de la harina / Sustrato	Tipo de enzima	Reacciones catalizadoras	Producto de la reacción: Mejora
Almidón	Amilasas de la harina de malta Amilasa Fúngica Amilasa Bacteriana	Desintegración del almidón en: Azúcares Dextrinas	Características de la masa: Volumen Porosidad Color de la corteza
	Alfa amilasa		mejoramiento de la harina, mejorador para panificación
	amilasa, oxidasa		substituto del bromato de potasio
	Amilasa, Xilanasa		aumento de volumen y tolerancia en los productos para horno
	Antistalingamilasa		alarga la vida a los productos para horno
	Amiloglucosidasa	Aroma	Conservación Superficie crujiente
Otros polisacáridos	Celulasas	Desintegración de la celulosa. Apertura de las estructuras.	Características de la masa: Volumen Elasticidad de la miga
	Hemicelulasas	Desintegración de hemicelulosas. Estabilidad de fermentación.	Volumen Conservación
	Pentosanasas	Desintegración de pentosanas.	Normalización de las harinas
Proteínas	Proteasas Proteasas Fúngicas	Aflojan la estructura del gluten.	Características de la masa: Ablandamiento de la estructura del gluten
	Proteasas bacterianas	Acortan las cadenas proteicas hasta la eliminación del gluten.	Calidad de la bollería y pastelería
Lípidos	Lipoxigenasas (mediante harina de soja sin desgrasar y sin tostar)	Oxidación de carotenoides. Formación de peróxidos.	Blanqueado de la miga Mejora del gluten

Fuente: referencia bibliográfica 10

1.10.1 La enzima Xilanasa Fúngica coadyuvante en harina de trigo para panificación

La enzima *Xilanasa* también conocida como *hemicelulasa*, pertenece al grupo de enzimas de las *pentosanasas*, al grupo de los *hidrocoloides*, estos son polisacáridos y proteínas, moléculas altamente hidrofílicas (tienen alta capacidad de retención de agua), producen disminución de la movilidad del agua, producen un incremento de la viscosidad ayudando a la formación de geles.

Figura 22. Molécula hidrofílica



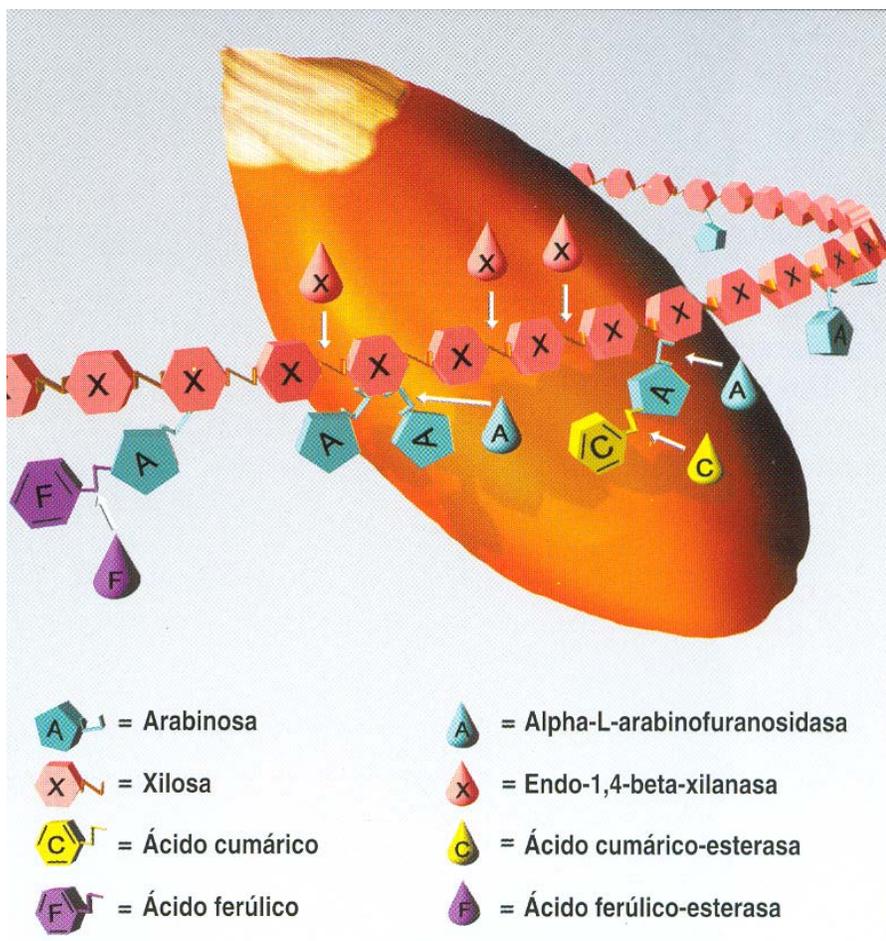
La Xilanasa es utilizada como enzima en la panificación para mejorar las propiedades de la masa (dilatabilidad, facilidad de paso por las máquinas, estabilidad) y para la optimización en el volumen del pan. Es la encargada de disgregar diferentes sustancias existentes en la estructura de soporte de las membranas celulares vegetales del trigo. En el caso de la Xilanasa, el sustrato es el **xilano**, proteína que produce relajación de la masa.

Los pentosanos representan alrededor del 2% del peso de la harina de trigo, son responsables de alrededor de un cuarto de la absorción de la harina. La fracción soluble en agua, siendo una goma, puede causar viscosidad en la masa.

Los arabinoxilanos (AX) constituyen la materia de los pentosanos, estos polímeros tienen una columna de polixilosa con cadenas laterales cortas de arabinosa y di-arabinosa adheridas.

Los arabinoxilanos pertenecen a los pentosanos, estos son cadenas de xilosas sustituidas con arabinosa. Las enzimas de la Xilanasa actúan primeramente en los arabinoxilanos (AX).

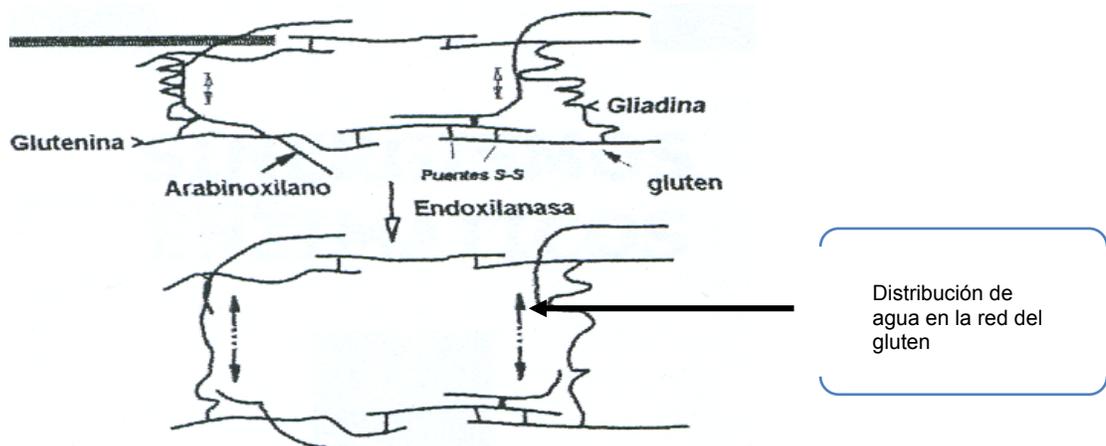
Figura 23. Actividad de la Xilanasa Fúngica sobre los componentes del trigo.



Las xilanasas hidrolizan los pentosanos insolubles (arabinoxilanos) con producción de pentosanos solubles capaces de interactuar con el gluten, reforzando así la estructura del mismo. Debido a la conversión de los WU-AX, por efecto de la Xilanasas Fúngica, vuelve solubles los pentosanos insolubles, consecuentemente se logra una mejor retención de gas y un aumento de la resistencia mecánica de la masa.

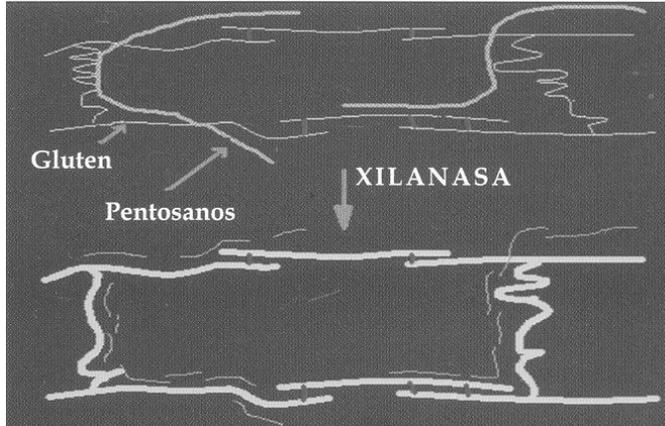
Las pentosas son hidrocoloides, el agua se redistribuye en los pentosanos y almidones dando un mejor gluten al liberar agua se degrada, redistribuyéndose en la red del gluten.

Figura 24. Redistribución del agua en el gluten



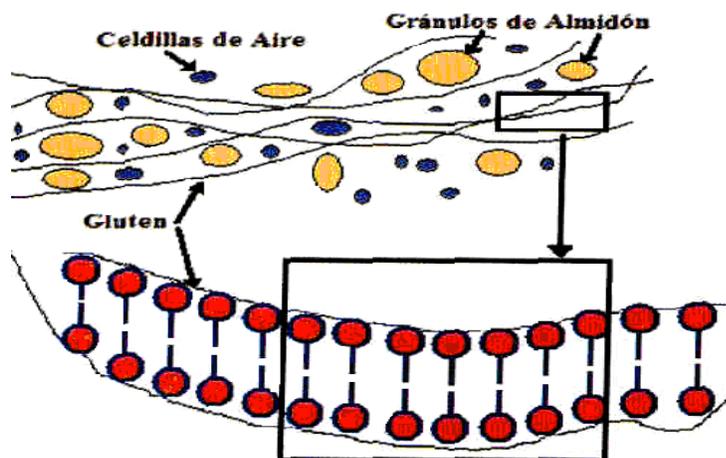
Las Xilanasas hidrolizan celulosa y hemicelulosas (polímeros de azúcares de cinco carbonos), actuando sobre el gluten desde su formación proporcionándole un desarrollo rápido, ya que promueve las interacciones entre moléculas de gluten, obteniéndose un gluten más extensible, dando como resultado masas con mayor desarrollo, tolerancia a la fermentación.

Figura 25. Efecto fortalecedor de la Xilanasa sobre la estructura del gluten



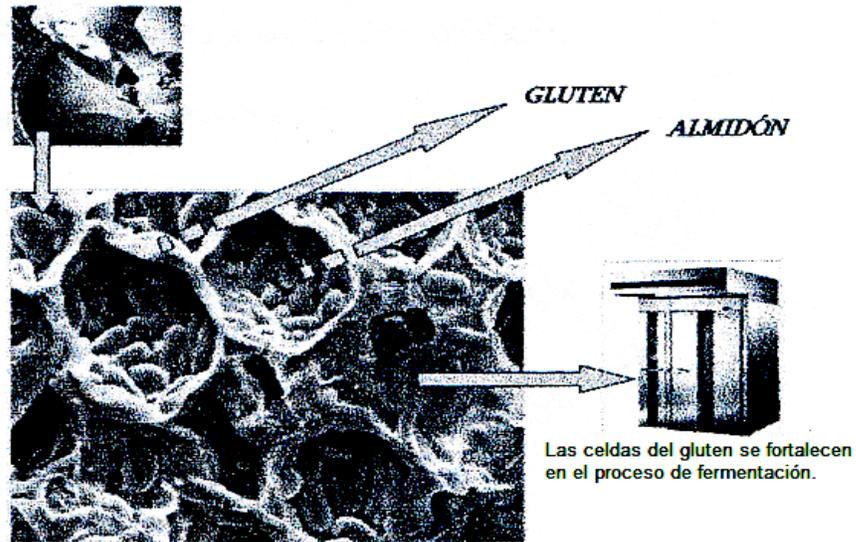
La siguiente figura muestra la acción simultánea entre el gluten y la red proteica de la harina, en ella se puede observar que los componentes quedan soportados por el gluten debido al efecto fortalecedor de la Xilanasa Fúngica.

Figura 26. Efecto fortalecedor de la Xilanasa sobre el gluten



La endo-xilanasa corta el arabinoxilano y estira el gluten, cortando los pentosanos unidos al gluten, dando como resultado un alveolo de mayor volumen.

Figura 27. Alvéolos (celdas de miga de pan).



Cuando la Xilanasa degrada los polímeros celulosa y hemicelulosas (WU-AX) unidos al esqueleto del gluten, este podría ser capaz de expandirse más fácilmente, lo que puede resultar en volumen adicional del pan.

La disponibilidad de las Xilanasas con especificaciones definidas controla las reacciones en la masa para lograr resultados favorables. La consistencia de la masa aumenta durante la fermentación y desarrollo, y el volumen de la hogaza se incrementa, además la Xilanasa suaviza la miga, extendiendo la vida de anaquel.

1.10.2 Especificaciones de la enzima Xilanasa Fúngica

Código Enzimático EC 3.2.1.8

Nomenclatura Enzimática IUBMB⁵

- Nombre aceptado: Endo-1,4- β -xilanasa
- Reacción: Endo hydrolysis de 1,4- β -D-xylosidico en enlaces de xilanos
- Otros nombres: β -1,4-xilanasa; endo-1,4-xilanasa; endo- β -1,4-xilanasa; endo-1,4- β -D-xilanasa; 1,4- β -xilano xilano hidrolasa; β -xylanase; β -1,4-xilano xylanohidrolasa; endo-1,4- β -xilanasa; β -D-xilanasa
- Nombre sistemático: 1,4- β -D-xilano xilano- hidrolasa
- Clase: Hydrolasas; Glicosilasas; Glicosidasas, i.e. enzimas que hidrolizan O y S-Componentes glucosídicos.
- El pH de acción es de 5.
- La temperatura óptima de acción es de: 50°C.
- Actividad: 1 gramo de aditivo enzimático proporciona 450 FXU (W)
La actividad de la Xilanasa (FXU/g) se obtiene multiplicando la concentración de xilosa (determinada por la curva estándar en $\mu\text{mol/ml}$) por 1000 dividida entre el tiempo de reacción (300 s) y la concentración de la enzima en g/ml.
FXU = $\frac{\text{Concentración de xilosa. (de la curva)} \times 1000}{\text{Concentración de la enzima (g/ml)} \times 300 \text{ s}}$
- Excipientes: almidón y sales de calcio de fluido libre.

⁵ Referencia: 1. Howard, B.H., Jones, G. and Purdom, M.R. The pentosanases of some rumen bacteria. *Biochem. J.* 74 (1960) 173-180.
2. Whistler, R.L. and Masek, E. Enzymatic hydrolysis of xylan. *J. Am. Chem. Soc.* 77 (1955) 1241-1243.[EC 3.2.1.8 created 1961]
3. Baily, M.J. and Poulanen, K. (1989). "Production of xylanases by strains of *Aspergillus*". *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 30:5-10.

1.10.3 Fuente de obtención de Xilanasa Fúngica

Los organismos de producción de Xilanasa Fúngica son especialmente hongos Trichoderma, actualmente el Aspergillus, es uno de los mohos principales para la obtención de Xilanasas. Ésta enzima tiene origen del aspergillus níger o aspergillus oryzae.

- La Xilanasa Fúngica actúa sobre los WU-AX (pentosanós insolubles en agua de estructura compleja).
- La Xilanasa Bacteriana actúa sobre los WE-AX (pentosanós solubles en agua, de estructura más lineal).

La enzima utilizada en este estudio se basa en un preparado de Xilanasa Fúngica purificado, producido a partir de una cepa seleccionada de Aspergillus Oryzae. Las enzimas por lo tanto, no son micro organismos sino que proceden del metabolismo de estos. Las cepas seleccionadas son criadas en condiciones controladas o bien en medios de cultivo de gran superficie o en tanques de fermentación.

1.11 Bromato de potasio versus Xilanasa Fúngica

La necesidad de realizar el estudio de una nueva formulación a nivel industrial para harinas de trigo duro, surge debido a la regulación emitida por el Reglamento Técnico Centroamericano, aprobada al disminuir la dosificación de bromato de potasio de 50 ppm a 35 ppm.

El uso del bromato de potasio establecido en dicho reglamento, será permitido por un periodo máximo de dos años a partir de la entrada en vigencia de este reglamento (considerando que para la entrada en vigencia se estima un tiempo promedio de un año, a partir de febrero de 2008). Guatemala, El

Salvador y Honduras iniciarán su proceso de reducción en este período transitorio hasta lograr su eliminación total, mientras que Costa Rica y Nicaragua aplicaron en este período el Reglamento Técnico Centroamericano de harinas y sus respectivos reglamentos nacionales.

Es por ello que se propone una alternativa para la problemática con la cual se enfrenta nuestro país actualmente de obtener una formulación de harina dura para panificación que de resultados de panificación aceptables, esto es sustituir parcialmente el bromato de potasio a 35 ppm añadiendo aditivos alimenticios como Xilanasa Fúngica de tal forma que al ser añadido complemente la función del bromato de potasio en la harina manteniendo las características organolépticas y sensoriales de la harina y pan.

La segunda alternativa que se propone surge de la necesidad de sustituir totalmente el bromato de potasio en harinas de trigo duro para panificación, a cero ppm de dicho aditivo. La metodología que se llevará a cabo en este caso es utilizando un aditivo enzimático como lo es la Xilanasa Fúngica realizando ensayos con formulaciones a distintas concentraciones para determinar la dosificación óptima del aditivo enzimático. Así mismo se tiene la necesidad de realizar pruebas a nivel de laboratorio para estandarizar una formulación a nivel industrial de harinas de trigo duro panificable en la cual sea eliminada la dosificación de bromato de potasio.

Para realizar el estudio es de vital importancia conocer la forma en la cual actúan ambos aditivos tanto el aditivo químico bromato de potasio y el aditivo enzimático “Xilanasa Fúngica” como coadyuvantes para la mejora de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y organolépticas de harina de trigo duro panificable.

Tabla VI. Aspectos negativos y positivos del bromato de potasio y Xilanasa Fúngica.

Sustancia activa	Propiedades en la masa y en los productos panificados	Modo de acción	Aspectos favorables	Aspectos desfavorables
Bromato de potasio	<ul style="list-style-type: none"> • Masas flexibles • Buena tolerancia de fermentación • Alto rendimiento de volumen del pan • Modifica las proteínas, dando un gluten más elástico. • Absorbe mayor cantidad de agua ayudando al rendimiento de la masa • Retiene más dióxido de carbono, mayor volumen de la pieza de pan. 	Actúa sobre los grupos sulfidrilos de las proteínas del gluten generando interacciones moleculares S-S (puentes disulfuro), formando redes. Este enlace es muy importante en la estructura, plegamiento y función de las proteínas cuando forma la cistina. Generando una capa fina de proteínas que pueden englobar a las burbujas de gas y vapor en su interior dando lugar a una estructura más esponjosa.	Es un aditivo de bajo costo, además su dosificación es baja, 35 - 50 ppm.	A niveles reconocidos como aceptables (70 ppm) de bromato de potasio queda presente en el pan trazas del producto bromuro de potasio (KBr) que es un compuesto tóxico (cancerígeno).
Xilanasa Fúngica	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentan el volumen del producto panificado • Prolongan la frescura • Mejoran la textura del pan • Aumentan el salto en el horno • Proporcionan masas extensibles • Hacen las masas más secas • Aumentando la tenacidad • disminuyendo ligeramente la extensibilidad. 	Es un biocatalizador, Estas disgregan sustancias existentes en la estructura de soporte de las membranas celulares vegetales, en el caso de la Xilanasa, el xilano. La Xilanasa actúa sobre las pentosanas (polisacáridos distintos al almidón). Esta reacción de hidrólisis aumenta la absorción de agua en la masa.	Las enzimas catalizan pero no son alteradas por las reacciones químicas que alojan. Su actividad termina sólo cuando el sustrato se encuentra exhausto o cuando se desnaturaliza por condiciones físicas, tales como la temperatura o el pH.	<ul style="list-style-type: none"> • El aditivo enzimático "Xilanasa Fúngica" es de alto costo, 1.5 veces más alto que el precio de bromato de potasio. • Surgen problemas de pegajosidad y maniobrabilidad al aumentar la dosificación.

Fuente: Referencia bibliográfica 3 & 8.

1.12 Función fisicoquímica de los ingredientes en la formulación de productos de panificación

Existe una amplia variedad de panes provenientes de harinas "duras", el pan desabrido conocido como "pan francés" forma parte de la dieta Guatemalteca, es únicamente un tipo de pan desabrido dentro de su amplia variedad de formas. Esencialmente, los panes tipo francés son productos leudados principalmente con levadura incorporando aire. El pan francés es un producto horneado caracterizado por usar harina de alta proteína, con una miga blanda y corteza de textura crujiente. En el laboratorio de panificación, el pan francés es utilizado para realizar el análisis sensorial y observar características importantes que a simple vista no se podrían observar en la harina, es por ello que dentro de los análisis la prueba de panificación es de suma importancia para concluir si una harina es de buena calidad o no.

1.12.1 Ingredientes principales del pan tipo francés.

Los ingredientes que componen la formulación de un pan desabrido tipo francés básicamente son los siguientes: Harina, agua, levadura, azúcar, y grasa.

1.12.1.1 Harina

La harina para elaborar pan debe provenir de un trigo con alto contenido de proteínas que permita la formación de una red de gluten firme. La masa obtenida debe ser resistente y muy tenaz, de muy buena extensibilidad y estable. La absorción de harinas de trigos duros depende del contenido y calidad de las proteínas dos factores que influyen grandemente en el volumen y calidad de la miga de un pan.

Tabla VII Ficha técnica de especificaciones de calidad para harina dura

 MOLSA GUATEMALA, S.A CONTROL DE CALIDAD ESPECIFICACIONES	
PRODUCTO	HARINA DURA
TRIGO	DNS - SWW
MEZCLA DE TRIGO	90 % DNS – 10 %SWW
Proteína de trigo	13.4 % +/- 0.2%
Humedad de trigo	11.0% +/- 0.4%
Falling number de trigo	480 +/- 20
Humedad de harina	Máximo 14 %
Proteína	12.50 % +/- 0.20%
Gluten húmedo	Mínimo 33%
Ceniza	Máximo 0.600%
Maltosa	290 +/- 10
Falling number harina	400 +/- 20
Bromato de potasio	0 a 35 ppm
Índice almidón dañado	7.5 % a 9.5 mg / 10 g.
FARINOGRAMA	
Absorción al 14%	Mínimo 61.0%
ALVEOGRAMA	
W	380 +/- 10
P	100 +/- 5
L	110 +/- 5
P/L	0,90 +/-10
GRANULOMETRÍA	
BANDEJA	70,2
PANIFICACIÓN:	

Volumen cm ³ :	1700-2200 cm ³
Altura:	4.0 - 5.25 cm
Color de corteza	5 pts. máximo
Color de miga	5 pts. máximo
Textura de corteza	5 pts. máximo
Textura de miga	5 pts. máximo
Sabor	5 pts. máximo
Olor	5 pts. máximo
ENRIQUECIMIENTO Y FORTIFICACIÓN:	
Hierro (análisis cualitativo)	60 ppm min.
Acido Ascórbico (análisis cualitativo)	20 ppm máx.

Fuente: Molsa Guatemala, S.A.

1.12.1.2 Agua

El agua que se emplea en panificación y en particular en la formación de la masa debe ser potable. Influye favorablemente en la fermentación las siguientes sales presentes en el agua: óxido de calcio, carbonato de calcio, sulfato de calcio, cloruro de magnesio, óxido de magnesio y bicarbonato de sodio. El agua dulce puede influir creando una masa pegajosa, pero este fenómeno puede evitarse adicionando un mejorante de la masa o una cantidad mayor de sal.

1.12.1.3 Sal

La sal actúa principalmente sobre la formación del gluten, ya que la gliadina uno de sus componentes, tiene menor solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar en una masa obtenida con agua salada a la formación de una mayor cantidad de gluten.

Por otra parte, el gluten formado tiene fibras cortas, como consecuencia de las fuerzas de atracción electrostáticas que ocurren en la malla formada con la sal, se presenta rígido, confiriendo a la masa mayor compacticidad con respecto al gluten obtenido sin sal.

El óptimo de sal utilizada varía según el tipo y calidad de harina. Al pasar de 0 a 1.26% de sal, el aumento de fuerza de una harina débil se incrementa de forma notable, del 14% al 23%. Cuando se adiciona sal, dosificada según el tipo de harina aumenta la compacticidad de las masas haciéndoles más difíciles de trabajar. Como consecuencia de esto, también es posible una mejor hidratación de las masas, sin que se vuelvan pegajosas.

En el caso del gluten demasiado tenaz o corta es preferible añadir la sal al final de la operación de amasado, cualquiera que sea el sistema que se adopte, tanto si se trata de masa fermentada con azúcar como si se trata de una masa normal.

Con el amasado directo y con la utilización común de las amasadoras de alta velocidad, la sal se añade al final, esto retrasa la oxidación de la masa reduciendo su blancura.

La sal favorece además la coloración de la superficie del pan, dando a la corteza una coloración más viva, haciéndola más crujiente y confiriéndole un aroma más intenso, respecto del pan sin sal.

La sal influye también en la duración y estado de conservación del producto, debido a su capacidad para absorber agua (higroscopicidad): mientras que en un pan conservado en ambiente seco la sal reduce la cesión de humedad del producto al aire introduciéndola en el producto, ejerciendo un efecto negativo sobre el tiempo de conservación.

En conclusión, la dosis y el momento de añadir la sal son dos factores importantes que varían según el tipo de harina y del sistema de elaboración. La opción de incorporar la sal al comienzo del amasado para el caso de que se emplee el sistema directo, depende de la necesidad de mantener el color

blanco marfil de la miga, que de otro modo, debido a la oxidación de la masa, tendería a blanquearse excesivamente.

1.12.1.4 Azúcar

Los azúcares que están presentes en la masa del pan son de varios tipos:

- Azúcares presentes en la harina (de los que ya se han hecho referencia en la composición de la harina) solo una pequeña parte cerca del 1% de estos son capaces de fermentar.
- Maltosa, azúcar derivada de la acción de la alfa-amilasa sobre el almidón presente en el harina; esta clase de azúcar es susceptible de fermentar y por tanto la cantidad presente derivada de la actividad enzimática.
- Lactosa, azúcar no susceptible de fermentar que procede de la leche; por tanto su presencia está limitada en algunos tipos especiales de pan, donde esta admitido la adición de leche en polvo en panes especiales con lactosa.

Generalmente se emplea en las masas de harina la sacarosa (azúcar común) y la glucosa (dextrosa).

Los azúcares presentes en la masa como componentes normales de la harina o bien añadidos o formando parte de otros ingredientes, se pueden subdividir en azúcares fermentables y no susceptibles de fermentación. Este último tipo tiene una notable importancia tecnológica ya que forman glicoproteína que tiene una función en la formación de la masa y por tanto también en las características reológicas de la misma.

Los azúcares fermentables son directamente la glucosa y la fructosa (dextrosa y levulosa), ya que la sacarosa se transforma en los dos azúcares que la constituyen mediante hidrólisis o por la acción de la invertasa de la

levadura y la maltosa se convierte en dos moléculas de glucosa o dextrosa por la acción de la maltasa.

Esta propiedad de la glucosa y de la fructosa tiene una importancia relevante ya que la levadura debe tener a su disposición estos azúcares para producir anhídrido carbónico, que sirve para fermentar la masa según la siguiente ecuación:



El anhídrido carbónico que se forma con la fermentación, primero se disuelve en el agua hasta la saturación, luego permanece libre, retenido en el gluten y hace crecer la masa. También se producen con la fermentación, ácidos, sustancias volátiles, alcoholes que confieren el aroma y sabor del producto.

La levadura inicialmente ataca los azúcares fermentables que están presentes en la harina, como la maltosa formada en la hidrólisis del almidón. La sacarosa cuando se invierte en dextrosa y levulosa: de las dos, la primera fermenta rápidamente. La sacarosa produce más anhídrido carbónico que la dextrosa y la levulosa.

En el producto acabado permanecen azúcares, en el pan realizado sin añadir azúcar, la maltosa derivada del almidón representa el azúcar residual, mientras que en el pan elaborado con adición de sacarosa, los azúcares residuales son, además de la maltosa, la levulosa y la dextrosa, no utilizados por las levaduras.

Los azúcares que se añaden a la masa para elaborar algunos productos horneados, además de la función de conferir un sabor dulce y ser alimento para

las levaduras, tienen efecto sobre la propiedad de absorción, sobre el tiempo de desarrollo de la masa y sobre las características organolépticas del producto.

La azúcar añadida en cantidad normal tiene un efecto muy limitado sobre la absorción de la masa: sin embargo a medida que aumenta la cantidad de azúcar adicionado, el tiempo de amasado es más largo.

Además, el azúcar tiene efectos sobre las características organolépticas de producto final, esto es sobre el color de la superficie y su aroma. El color de la superficie del pan se debe a la reacción entre los azúcares y aminoácidos (*Reacción de Maillard*) la caramelización de los azúcares por el calor, según el tipo y la cantidad de los azúcares utilizados.

El azúcar asegura también una mejor conservación del producto ya que permite una mejor retención de la humedad, manteniendo más tiempo su blandura inicial y retrasando el proceso de endurecimiento.

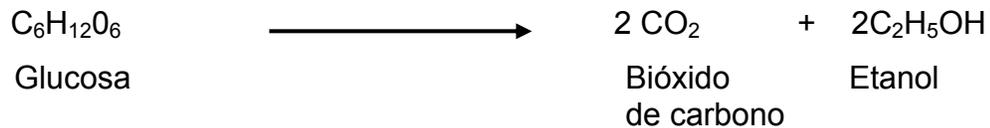
1.12.1.5 Levadura

La levadura para el pan está hecha de células de cepas selectas del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. Las células de levaduras frescas y activas, se encuentran en el mercado como cubos comprimidos o como pastillas secas y mueren pronto a temperatura ambiente.

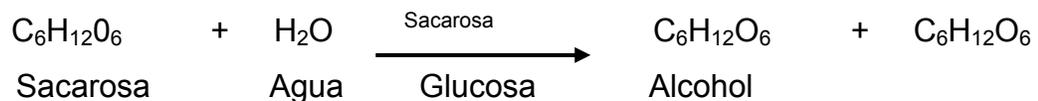
La levadura se incluye en la masa del pan debido a que, como las células metabolizan azúcares fermentables, bajo las condiciones anaeróbicas que prevalecen en la masa, producen bióxido de carbono como productos de desecho. Este producto de desecho del metabolismo de las células de levadura se utiliza en la masa como leudante. Las células de levadura son capaces de fermentar cuatro azúcares: glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa; no pueden utilizar el azúcar de la leche.

Los cambios bioquímicos que tienen lugar cuando los azúcares son fermentados por la levadura son complejos. La reacción global principal para la

producción del CO₂ con la glucosa como azúcar, se puede expresar por la ecuación de Gay-Lussac:



Las células de levadura también poseen la enzima invertasa (sacarasa) sobre o cerca de la pared celular, que actúa como catalizadora para la hidrólisis del disacárido sacarosa, para los azúcares simples (y fermentables) en la siguiente reacción.



La maltosa fermenta solo después que el aporte de glucosa y fructosa se ha agotado incluso entonces, la fermentación procede lentamente. Las células de levadura no solo producen bióxido de carbono que infla la masa, sino también (y mediante una vía bioquímica secundaria) sustancias que modifican la elasticidad, la adhesividad y las propiedades de flujo de la masa. Todo esto contribuye en la forma en que se comporta la masa. Los productos de la fermentación de la levadura contribuyen con el aroma del pan. La existencia de fermentaciones secundarias junto con el metabolismo de aminoácidos da como resultado la formación de gran cantidad de compuestos aromáticos, responsables del aroma característico de la miga de pan.

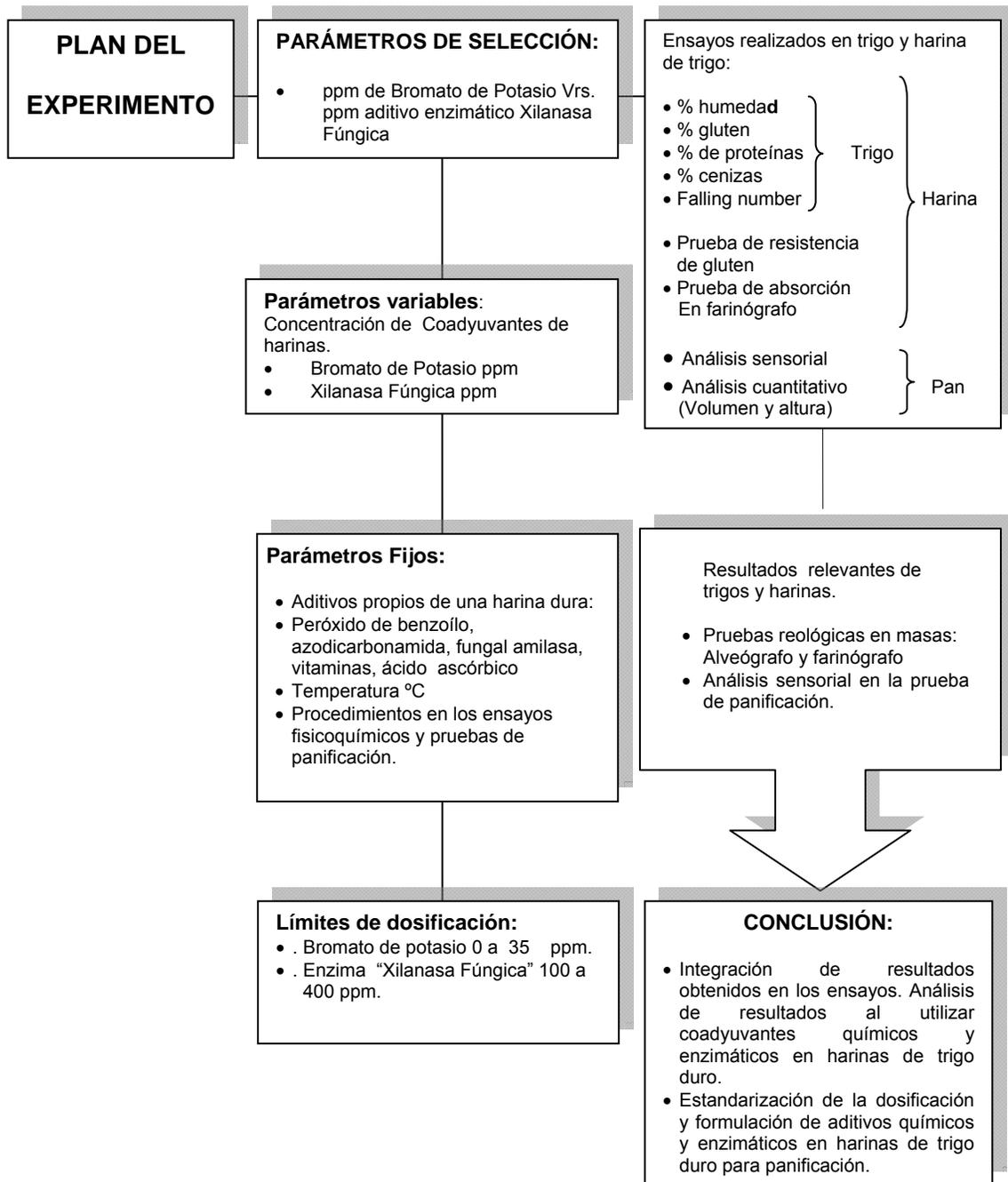
1.12.1.6 Grasa

Las grasas se emplean en la panificación, como mejorante de las características de las masas y como conservante, estos efectos se deben a la acción emulsificante de los lípidos polares sobre el almidón y las proteínas.

Cuando el almidón se mezcla con agua y se calienta, la amilosa se disuelve y poco a poco, con el enfriamiento, forma un gel; la larga cadena de los ácidos grasos de los lípidos añadidos como emulsionantes se fijan a la hélice de la amilosa, retardando por consiguiente el proceso de retrogradación del almidón. La formación de estos complejos (clartratos) explica el efecto retardante de los lípidos sobre el endurecimiento del pan y la mejora de las características de la masa.

2 DISEÑO METODOLÓGICO

Figura 30. Diagrama de metodología experimental



El diagrama muestra el desarrollo del plan de experimentación de evaluación de los coadyuvantes bromato de potasio versus Xilanasas Fúngicas, en la mejora de harina de trigo duro para panificación, basadas en las especificaciones técnicas de los aditivos, límites permisibles de dosificación, interacción de dichos aditivos con la harina, y con otros aditivos mejoradores que comúnmente son añadidos a la harina como aditivos alimenticios, influencia de las condiciones ambientales y método de evaluación.

Es importante señalar que en la experimentación surgieron aspectos positivos y negativos que ayudaron a concluir los resultados y a enmarcarlos de acuerdo a los objetivos buscados.

Esto se realizó basado en las especificaciones técnicas de la harina dura para panificación de acuerdo a los estándares de calidad de Molsa Guatemala, S.A.

2.1 Parámetros de selección

La harina materia prima esencial en la elaboración del pan debe ajustarse a unos parámetros de calidad para que sea adecuada en la panificación de acuerdo al fin que se desee emplear.

Este estudio trata de la evaluación de la utilización de coadyuvantes en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de harina de trigo duro, mediante la utilización de aditivos bromato de potasio y Xilanasa Fúngica, para este fin es importante mencionar los criterios utilizados en la evaluación, ya que para la producción de harinas de calidad son necesarios ciertos controles desde la recepción de materias primas.

La fabricación de harinas de trigo es el proceso de trituración de los granos a través de la molienda para obtener harina del endospermo, y subproductos llamados afrecho y afrechillo (provenientes de las capas exteriores del grano de trigo) se realiza con una extracción del 76%, en dicho proceso se adicionan aditivos a la harina con fines específicos.

La producción inicia en la recepción de los granos los cuales son analizados en el laboratorio: humedad, peso hectólitro, % de impurezas contenido en 100 gramos, % de cenizas, % de proteínas, cantidad y calidad de gluten, Falling number, etc. Los resultados son utilizados para determinar la proporción que se utilizarán en las mezclas de trigo para obtener una harina de características deseadas, para la primera parte del estudio utilizaron mezclas de trigo duro 85% DNS y de trigo suave 15% SWW y para la segunda parte del estudio se utilizaron mezclas de trigo duro 80% DNS y trigo suave 20% SRW.

El estudio realizado se baso en la experimentación en la utilización de aditivos enzimáticos capaces de sustituir al bromato de potasio parcial y totalmente tomando en cuenta los parámetros de calidad mencionados.

El estudio se centro en la utilización de harina dura para panificación ya que en las harinas duras la dosificación de bromato de potasio era mayor a la dosis en harinas suaves, (50 ppm de bromato de potasio para harinas duras y 35 ppm para harinas suaves). Esta diferencia se debe a que las harinas duras son utilizadas para la elaboración de pan desabrido o francés, el cual necesita mayor fuerza para la retención de dióxido de carbono (CO₂) en la fermentación y a la menor cantidad de puentes disulfuro contenidos debido a la alta proteína en la harina dura.

El bromato de potasio es un aditivo eficiente utilizado como agente oxidante que actúa sobre los grupos sulfhidrilos de la proteína glutenina, favoreciendo la formación de una red que retiene agua y gas en la fermentación que se refleja en el volumen del pan, ayudando al rendimiento de la masa. Sin embargo, según estudios sobre la toxicidad del bromato de potasio indican que es potencial para provocar cáncer debido a las trazas de bromuro de potasio (KBr) que se han encontrado después de horneado el pan.

A principios del año 2006 el Ministerio de Salud en Guatemala y COGUANOR miembros participantes del comité RTCA-UAC, encargado sobre la legislación de la dosificación de aditivos alimenticios conjuntamente con las autoridades de las industrias productoras de harina acordaron sobre la regulación y disminución de la concentración de bromato de potasio en harinas de trigo. Donde optaron por disminuir la dosificación de bromato de potasio de 50 ppm a 35 ppm (35 mg de aditivo/kg de harina dura).a partir de febrero del año 2008, es importante mencionar que se realizaron pruebas eliminando totalmente el bromato de potasio ya que se tiene previsto para el año 2,010 eliminar por completo el uso de bromato en harinas en la región

Centroamericana (no aplica para Costa Rica, ya que este eliminó el bromato de potasio totalmente el 06 de febrero de 2007).

Es por ello que se procedió a investigar sobre la solución a dicho problema y se optó en la experimentación en aditivos alimenticios enzimáticos, realizando pruebas de laboratorio y analizando los resultados de dichas pruebas, se concluyó en utilizar Xilanasa Fúngica debido a que las enzimas solo actúan en presencia de agua y la temperatura óptima de acción es de 50°C, luego de esta temperatura se desnaturaliza dicha enzima.

El estudio se llevó a cabo por medio de un plan de experimentación realizando diversas formulaciones de harina de trigo duro manteniendo constante la concentración de bromato de potasio a 35 ppm para la sustitución parcial y cero "0" ppm para la sustitución total respectivamente y variando la concentración de Xilanasa Fúngica, evaluando en cada formulación las propiedades físico-mecánicas en harina y en la masa y por medio de análisis sensorial en las pruebas de panificación.

Los criterios utilizados para determinar los límites de los aditivos en estudio fueron tomados de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla VIII. Nivel máximo aceptado de aditivos

REGLAMENTO TÉCNICO CENTROAMERICANO

RTCA 67.01.15:07

Aditivo	INS *	Nivel Máximo Aceptado	Comentarios
TARTRATOS	334; 335i,ii; 336i, ii; 337	600 mg/kg	Como ácido tartárico
TOCOFEROLES	306, 307	600 mg/kg	
CÍTRATO TRISÓDICO	331 iii	BPM	
ACIDO ASCORBICO	300	300 mg/kg	
AZODICARBONAMIDA	927a	45 mg/kg	
PERÓXIDO DE BENZOÍLO	928	66 mg/kg	
BROMATO DE POTASIO	924 a	35 mg/kg	Harinas fuertes y semifuertes 35 mg/kg para Guatemala, El Salvador y Honduras, 30 mg/kg para Nicaragua, 0 para Costa Rica
CARBONATO CÁLCICO	170	BPM	Las BPF indican 1 parte de peróxido de benzoílo y no más de 6 partes del aditivo en cuestión, en partes del aditivo en cuestión, en peso.
SULFATO CÁLCICO	516	BPM	Las BPF indican 1 parte de peróxido de benzoílo y no más de 6 partes del aditivo en cuestión, en peso.
CLORO	925	2500 mg/kg	Dosis de tratamiento
DIÓXIDO DE CLORO	926	2500 mg/kg	Dosis de tratamiento
OXIDASA DE GLUCOSA (ASPERGILLUS NIGER VAR)	1102	780 mg/kg	
CARBONATO DE MAGNESIO	504i	1500 mg/kg	
PAPAÍNA	1101ii	BPM	
FOSFATOS	338; 339i- iii; 340iii; 341i-iii; 342i,ii; 343i- iii; 450i-iii,vvii; 451i,ii; 452i-v; 542	11900 mg/kg	Como fósforo
ASCORBATO DE POTASIO	303	300 mg/kg	
PROTEASA (A ORYZAE VAR.)	1101ii	BPM	
FOSFATO DE ALUMINIO Y SODIO	541i,ii	45000 mg/kg	Bases de presentación no especificadas
ASCORBATO DE SODIO	301	300 mg/kg	
HIDROGENOCARBONATO DE SODIO	500ii	45000 mg/kg	
PERÓXIDO DE ACETONA	929	BPM	
ESTEAROIL-2 LACTILATOS	481i, 482i	5000 mg/kg	
SULFITOS	220-225, 227, 228, 539	900 mg/kg	Como SO ₂ residual
CLOROHIDRATOL-CISTEÍNA		90 mg/kg	

4.8.1 Enzimas

- Amilasa Fúngica de aspergillus níger y oryzae

BPM**

- Enzimas proteolíticas de bacillus subtilis, Aspergillus oryzae

BPM**

**BPM = Buenas prácticas de manufactura

* Sistema numérico internacional para aditivos alimentarios (el número INS se basa en los adjudicados y aprobados por la Unión Europea)

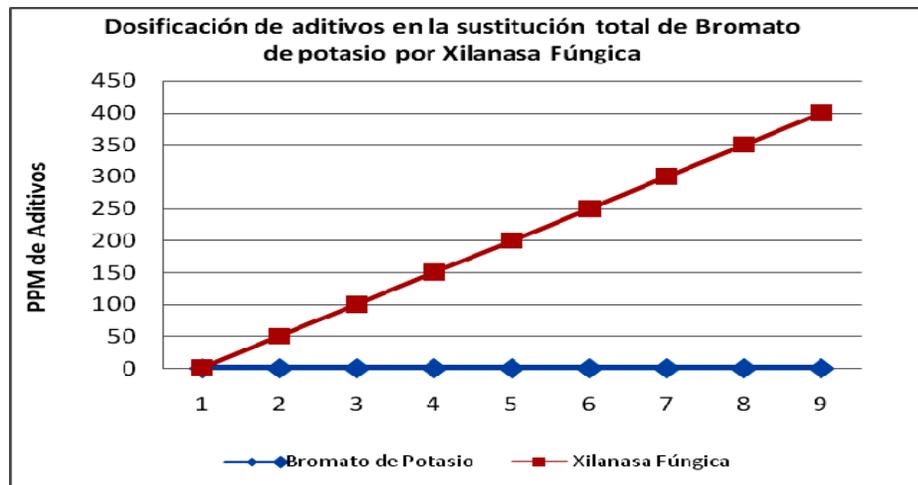
Fuente: Referencia Bibliográfica 7

En el caso de la Xilanasa Fúngica el rango utilizado fue de cero “0” a 400 ppm, los límites fueron tomados de acuerdo a las dosis recomendadas por el fabricante ya que los aditivos enzimáticos están sujetos a las BPM, no se realizaron pruebas con dosis arriba de 400 ppm de Xilanasa Fúngica debido a que los dosificadores de aditivos instalados en el molino no tienen capacidad para dosificar esa cantidad de sustancia.

Las dosificaciones utilizadas para el bromato de potasio son cero “0” y 35 ppm.

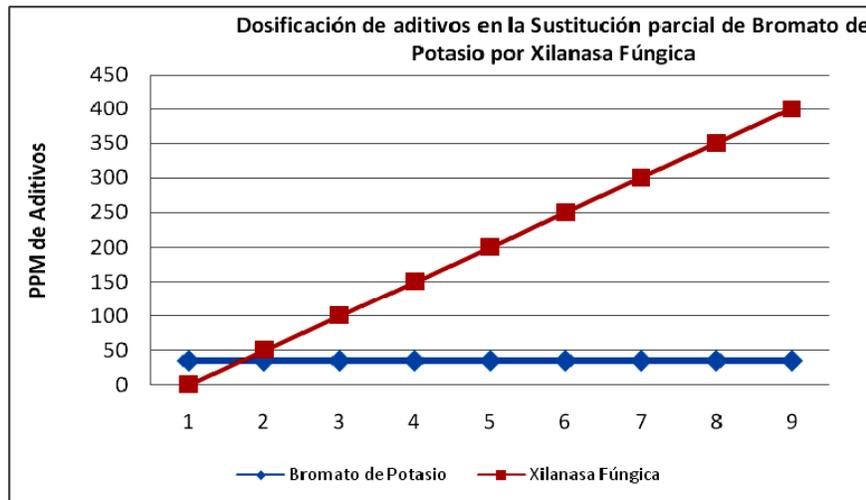
Para evaluar la sinergia de mezclas de pares aditivos de (KBrO₄ y Enzima) bromato de potasio/Xilanasa Fúngica, se realizaron ensayos de acuerdo a la dosificación de pares de aditivos antes mencionados, tanto para la sustitución y parcial de bromato de potasio como se muestra en las gráficas siguientes.

Figura 28. Sustitución parcial de bromato de potasio; dosificación de aditivos.



Fuente propia.

Figura 29. Sustitución total de bromato de potasio; dosificación de aditivos



Fuente propia

En el proceso de molienda se tomaron las muestras de harinas sin aditivos, inicialmente se analizó la calidad de los trigos luego se realizaron pruebas básicas a la muestra misma sin aditivos, seguidamente se procedió a agregar los aditivos esto incluye los aditivos que normalmente se añaden a una harina dura y en las mismas proporciones, luego se agregaron los aditivos en estudio bromato de potasio y Xilanasa Fúngica. Las muestras fueron reposadas durante cinco días para analizarlas nuevamente y determinar el efecto de los aditivos en estudio.

Luego de cinco días en cada una de las anteriores formulaciones se realizaron pruebas básicas (% de humedad, % de cenizas, % de gluten, Falling number). Luego se realizó la prueba de absorción a partir de la curva que realiza el farinógrafo. Seguidamente se determinó la aptitud panadera de la harina por medio del alveógrafo que permite obtener propiedades mecánicas de la masa fuerza de masa (W), resistencia (P), extensibilidad de la masa (L) y relación (P/L).

Se realizaron pruebas de panificación con el método estándar del laboratorio de Molsa Guatemala, S.A., con parámetros constantes en los tiempos de mezclado, fermentación y horneado, de esta forma se permitía observar las propiedades de la masa como pegajosidad o tenacidad, también los tiempos de fermentación con los cuales se observó el rendimiento de la masa. Se realizaron pruebas sensoriales en las hogazas de pan, el tiempo de horneado fue constante en todas las pruebas para poder analizar las “reacciones de Maillard” para visualizar las características de la corteza del pan. De igual forma la cantidad de agua añadida a la formulación fue constante para analizar el desarrollo del gluten observando los alveolos de la miga del pan, también se analizó el olor y sabor característico de un pan fresco.

En la prueba de panificación se analizó el volumen en centímetros cúbicos en una muestra de pan pulman y altura en centímetros, en una muestra de pan francés.

A partir de la integración de todos los resultados se logró obtener una formulación a nivel industrial para harinas de trigo duro para panificación, cumpliendo con los estándares de calidad y de inocuidad de alimentos.

2.2 Niveles de dosificación aceptables de aditivos en harinas

El proceso de evaluación de los coadyuvantes en estudio en harina de trigo duro estuvo en función de las dosificaciones máximas permisibles.

Tabla IX. Aditivos utilizados en harina de trigo

COADYUVANTE / ADITIVO Y USO TECNOLÓGICO	Límites permisibles			
	Límite inferior	g/qq	Límite superior	g / qq
BROMATO DE POTASIO AL 50 % INS 924a Agente de maduración y agente oxidante	0 ppm	0	35 ppm	3,22
XILANASA FUNGICA 450 FXU (W). Enzima, agente de tratamiento de las harinas	100 ppm	4.5	500 ppm	23
ÁCIDO ASCÓRBICO 20 % INS 300. Agente reductor potente, antioxidante	0 ppm	20	300 ppm	2
PERÓXIDO DE BENZOÍLO INS 928, al 32% Agente de blanqueo, tratamiento de harina			66 ppm	6.22 al 32%
AZODICARBONAMIDA 10% INS 927 ^a Adyuvante, agente de tratamiento de las harinas	13 ppm	6	45 ppm	20.7 al 10%
ALFA AMILASA (ASPERGILLUS ORYSAE 5000 SKB) INS 1100. Enzimas, agente de tratamiento de las harinas	13 ppm	6	45 ppm	20.7 al 10%

Fuente: Referencia 7

Para evaluar el efecto de los coadyuvantes bromato de potasio y Xilanasa Fúngica en la mejora de las propiedades físico-mecánicas en la harina de trigo duro y obtener una formulación equilibrada es importante mencionar lo siguiente:

- Se propusieron distintas formulaciones, el plan inicial consistió en bajar la dosificación de bromato de potasio de 50 ppm a 35 ppm, realizando una sustitución parcial de bromato de potasio permaneció constante a 35 ppm mientras que la Xilanasa Fúngica su dosis fue de cero a 400 ppm

Tabla X. Dosis de aditivos; sustitución parcial de bromato de potasio

Dosis	ppm (mg aditivo / Kg harina)								
Bromato de potasio	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Xilanasa Fúngica	0	50	100	150	200	250	300	350	400

Fuente propia

- En la segunda parte se aumentaron las dosificaciones de Xilanasa Fúngica dejando constante el bromato de potasio a cero “0” ppm.

Tabla XI. Dosis de aditivos; sustitución total de bromato de potasio

Dosis	ppm (mg aditivo / Kg harina)								
Bromato de potasio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xilanasa Fúngica	0	50	100	150	200	250	300	350	400

Fuente propia

2.3 Método de evaluación de los coadyuvantes en harinas

Las pruebas que se realizaron al trigo y harina son procedimientos estandarizados, usados en control de calidad. Los resultados obtenidos en el laboratorio de estas pruebas tienen una relación directa con la calidad del producto final, “el pan”. Las especificaciones para el trigo y la harina constituyen requisitos para determinadas características del trigo y la harina. Para cumplir las especificaciones, es necesario realizar pruebas básicas:

- 1) Análisis de las propiedades fisicoquímicas de los trigos.
- 2) Análisis de las propiedades fisicoquímicas de harinas sin aditivos.

- 3) Análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de harinas con aditivos, con una semana de reposo, con el fin de que los aditivos enzimáticos interactúen con el sustrato.
- 4) Análisis sensorial, prueba de aceptación del producto.

2.4 Pruebas básicas en trigo y harina

Los procedimientos analíticos para la determinación de calidad de trigo y harina están basados en los siguientes métodos estandarizados:

Tabla XII. Métodos estandarizados de evaluación

Método	Descripción
AACC44-15A	Contenido de humedad
AACCO8-01	Contenido de cenizas
AACC46-10	Contenido proteico
AACC56-81B	Número de caída
AACC38-12A	Contenido de gluten (cantidad y calidad de gluten)
AACC 76.30 A AACC 80-60 AACC 22-18	Almidones dañados
AACC 22-16, AACC 22-17 Pillsbury 39.008	Concentración de maltosa
AACC48-22	Determinación de bromato de potasio
AOAC 14.011	Determinación de hierro
Pillsbury 60.003	Determinación de el tamaño de partícula en harinas
AACC 10-26	Método determinación visual de ácido ascórbico

Fuente: Referencia 1 & 5.

2.4.1 Contenido de humedad

Determinar el contenido de humedad es esencial en el análisis de la calidad del trigo o harina. Comúnmente se usa un contenido de humedad del 14 % como factor de conversión para otras pruebas en las cuales los resultados se ven afectados por el contenido de humedad. En los trigos el contenido de humedad es un factor importante, ya que es un indicador en la molienda.

- Para trigos la humedad 12% – 14 %
- Para harinas la humedad 12.5 % a 14%

Figura 31. Análisis de humedad, horno a 130 °C.



2.4.2 Contenido de cenizas

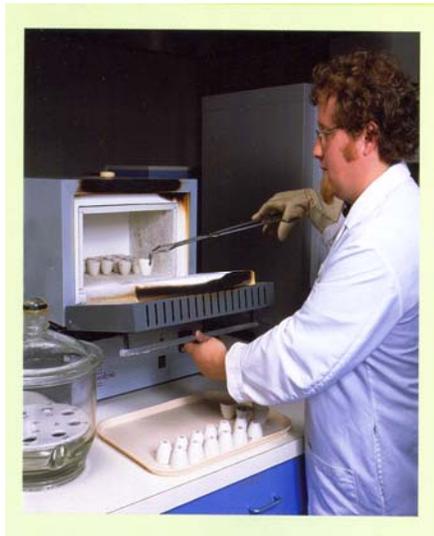
El contenido de cenizas en el trigo y la harina tiene importancia en la molienda. Dado que las cenizas se concentran principalmente en el salvado, el contenido de cenizas de la harina es un indicador del rendimiento que se podría esperar en la molienda, también indica el desempeño de molienda. Las cenizas en la harina pueden afectar su color, ciertos productos que demandan harina

blanca requieren un bajo contenido de cenizas, mientras que otros, como la harina de trigo integral, tienen un elevado contenido de cenizas.

Las cenizas se determinan por medio de la incineración a altas temperaturas 680-700 °C en una mufla, las muestras se calcinan, el residuo de cenizas está formado por los materiales inorgánicos e incombustibles que se concentran en la capa del salvado del trigo.

- Trigos con cenizas 1.58%
- Harinas 0.47% - 0.56%.

Figura 32. Análisis de cenizas.



2.4.3 Contenido proteico

El contenido proteico es una de las especificaciones clave de la calidad del trigo y harina, ya que se relaciona con múltiples propiedades de procesamiento como la absorción del agua y la fuerza del gluten. El contenido proteico también puede relacionarse con los atributos del producto terminado, tales como la textura y la apariencia. Para el pan desabrido o francés, se requiere un contenido proteico elevado.

- Dado que las proteínas son los principales componentes del trigo que contienen nitrógeno, el contenido proteico se determina midiendo el nitrógeno liberado durante su combustión.
- Los resultados de contenido proteico se expresan como porcentaje del peso total de la muestra: por ejemplo, contenido proteico del 10 % en base a un 12% de humedad para un trigo, o del 12.5 % en base a un 14% de humedad para una harina dura.

2.4.4 Número de caída o falling number

El nivel de actividad enzimática medido por el número de caída afecta la calidad de los productos. La levadura de la masa para pan, por ejemplo, requiere que los azúcares se desarrollen correctamente y, por lo tanto, necesita cierto nivel de actividad enzimática en la masa. Sin embargo, una excesiva actividad enzimática significa una sobreabundancia de azúcares y una escasez de almidón. Dado que el almidón es lo que proporciona la estructura de soporte del pan, una actividad excesiva se traduce en una masa pegajosa durante el procesamiento y una mala textura del producto terminado. Si el número de caída es demasiado elevado es posible agregar de diversas formas enzimas a la harina, para compensar el factor; por el contrario si es demasiado bajo es imposible removerle enzimas a la harina, lo cual es en un problema grave porque la harina no puede usarse.

- El instrumento para analizar números de caída mide la viscosidad y la resistencia que la pasta de harina y agua opone a la caída de un agitador.
- Los resultados se registran como índice de la actividad enzimática en una muestra de trigo o harina, y los resultados se expresan como un tiempo (seg).

- Un número de caída bajo (por ejemplo, menor de 250 seg.) indica una actividad enzimática sustancial y un trigo o harina dañados por la germinación.

Figura 33. Determinación del número de caída.



- El número de caída elevado indica mínima actividad enzimática y por tanto buena calidad de trigo o harina.
- Si es bajo el pan tendrá corteza oscura, miga amarilla y alvéolos mal formados. Muy relacionado con el porcentaje de granos germinados.
 - ✓ Menos de 150 segundos: actividad amilásica elevada
 - ✓ Entre 150-250 segundos: actividad amilásica media
 - ✓ Más de 250 segundos: actividad amilásica baja

2.4.5 Prueba de gluten húmedo

La prueba de gluten húmedo proporciona información sobre la cantidad de gluten en las muestras de trigo o harina. El gluten es el responsable de las características de elasticidad y extensibilidad de la masa de harina. El gluten húmedo refleja el contenido proteico.

- El contenido de gluten húmedo se determina lavando la harina o trigo molido con una solución salina, para eliminar de la muestra el almidón y demás materiales solubles, el residuo que queda después del lavado es el gluten húmedo, proteínas insolubles (glutenina).
- Durante el centrifugado, el gluten se hace pasar por un tamiz (malla). El porcentaje de gluten que permanece sobre el tamiz se define como el Índice de gluten, el cual indica la resistencia del gluten. Un índice de gluten elevado indica un gluten fuerte.
- Los resultados se expresan como porcentaje. Por ejemplo, 35 % para trigo de gluten fuerte y altas proteínas.

Figura 34. Equipo glutomatic



- Gluten trigo duro 35%
- Gluten harina dura 30% - 32%
- Gluten trigo débil 23 %

2.4.6 Almidones dañados

Es el porcentaje de gránulos de almidón en harina de trigo susceptibles a hidrólisis por alfa amilasa. El porcentaje de almidón dañado se define como los gramos de almidón sujetos a hidrólisis enzimática por 100 g de muestra en base a 14% de humedad. Es un indicador del ajuste de los bancos en molinería, donde debe tenerse un equilibrio perfecto, pues si es muy bajo afecta la absorción y si es muy alto, colapsa el pan en el horneado, además indica la capacidad de retención de agua en las harinas.

- El índice de almidón dañado para harinas duras es de 7.5 % a 9.5 mg maltosa/10 g. de harina.

2.4.7 Determinación de maltosa por reducción del ferrocianuro

Este análisis mide los resultados de maltosa de la actividad diastática en harinas de trigos sobre condiciones controladas.

2.5 Pruebas reológicas

Para determinar cómo se comportará la harina durante su procesamiento se realizan diversas pruebas que valoran las propiedades de resistencia de la masa y del gluten. Estas miden las propiedades reológicas de la masa, así mismo indican como ayudan las enzimas en el desarrollo de la masa.

Con el incremento de la mecanización y automatización en la industria de panificados, el estudio de las propiedades reológicas de la masa contribuye al conocimiento de la calidad del proceso de panificación. Las propiedades reológicas analizadas en las harinas de trigo son:

- Consistencia
- Viscosidad
- Elasticidad
- Plasticidad

Tabla XIII. Métodos de evaluación de las propiedades reológicas

Método	Descripción	Objetivo del análisis
AACC 54-21	Prueba de farinógrafo	Mide la absorción del agua por la harina y la resistencia de la masa.
AACC 54-30A	Prueba del alveógrafo	Mide la resistencia de la masa y el gluten.

Fuente: Referencia 1

2.5.1 Prueba de absorción (farinógrafo)

La prueba del farinógrafo es una de las pruebas más importantes, los resultados se usan como parámetros en las formulaciones para estimar la cantidad de agua necesaria para hacer una masa, para evaluar las necesidades del mezclado de la harina y para verificar la uniformidad de la harina, los resultados también se usan para predecir efectos de procesamiento, incluyendo necesidades de mezclado para el desarrollo de la masa, la tolerancia al mezclado excesivo y la consistencia de la masa durante la producción. Los resultados del farinógrafo también son útiles para predecir las características de

textura del producto terminado. Por ejemplo, unas propiedades sólidas de mezclado de la masa se relacionan con una textura firme en el producto.

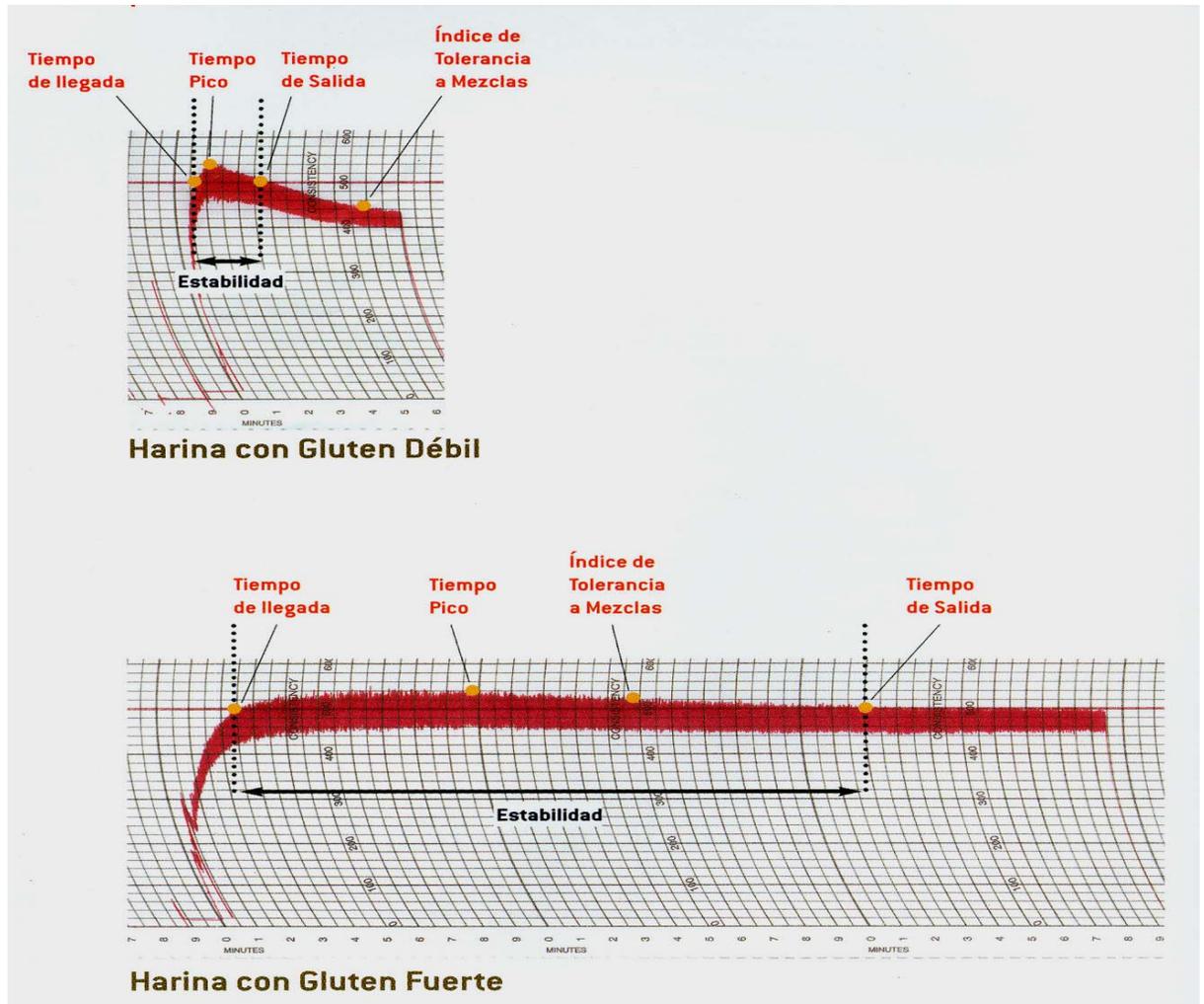
El farinógrafo determina las propiedades de masa y de gluten de una muestra de harina, midiendo la resistencia que la masa opone a la acción de mezclado de las paletas (aspas).

Figura 35. Farinógrafo



- Los resultados del farinógrafo se registran en una gráfica, incluyen el porcentaje de absorción, el tiempo de llegada, el tiempo de estabilidad, el tiempo pico, el tiempo de salida y el índice de tolerancia a la mezcla.
- Los resultados se usan como parámetros en las formulaciones para estimar la cantidad de agua en el proceso de panificación.

Figura 36. Gráficas de absorción



2.5.2 Prueba de resistencia de gluten (alveógrafo)

La prueba de Alveógrafo ofrece resultados que son usados por molineros y procesadores de harinas para asegurar procesos y productos más consistentes, es idóneo para medir las características de masa. Una harina con gluten débil, de valor P (resistencia de gluten) bajo y valor L (de extensibilidad) alto, es la preferida para pasteles y otros productos de golosina. Las harinas de gluten fuerte tienen valores P más elevados y son las preferidas para los panes.

El alveógrafo determina la resistencia de gluten de una masa, midiendo la fuerza requerida para inflar y reventar una burbuja de masa, que se registra en una grafica.

- Los resultados incluyen el valor P, el valor L, y el valor W.
- Una masa fuerte requiere más fuerza para inflar y reventar la burbuja (valor P más alto).
- Una burbuja mayor significa que la masa se puede estirar hasta formar una membrana muy delgada antes de reventar y tiene mayor extensibilidad, es decir que tiene mayor capacidad de estirarse antes de romperse (valor L).
- Una burbuja mayor requiere más fuerza y tendrá una mayor área bajo la curva (valor W).

Figura 37. Alveógrafo

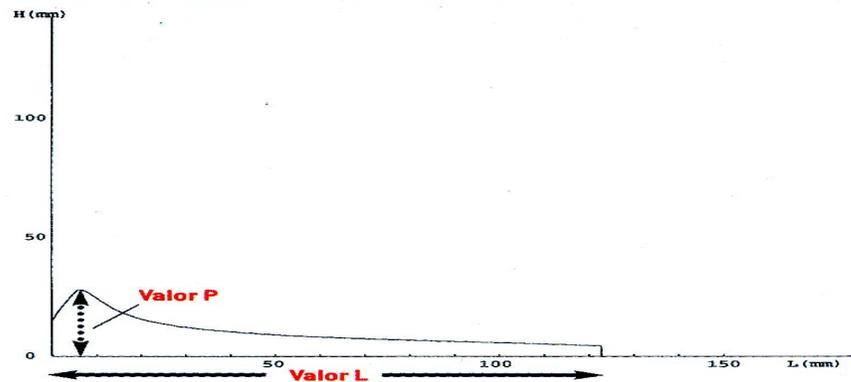


La prueba del alveógrafo mide y registra la fuerza requerida para inflar y reventar la burbuja de masa.

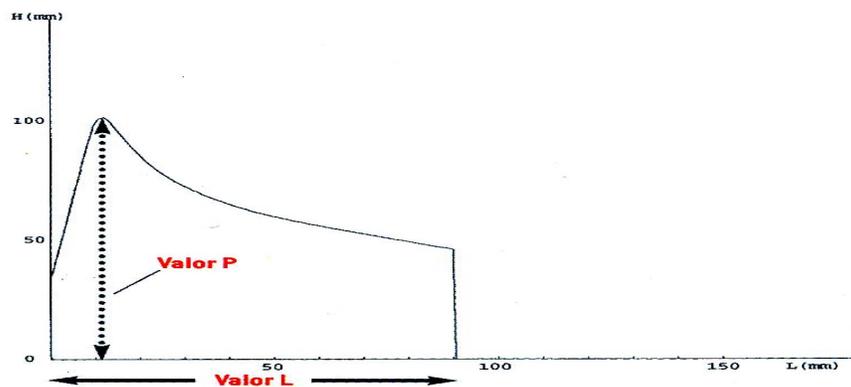
- **El valor P** es la fuerza requerida para reventar la burbuja de masa. Ocurre a la altura máxima de la curva y se expresa en mm. Se refiere al grado de tenacidad o dureza de la harina analizada. Una harina con gluten débil tiene valores P menores que los de una harina de gluten fuerte.

- **El valor L** es la extensibilidad de la masa antes de romperse la burbuja. La extensibilidad o capacidad que tienen las fibras proteicas de ser estiradas y la aptitud del gluten para retener gas. Está dada por la longitud de la curva y se expresa en mm.
- **La relación P/L** es el balance entre la resistencia y extensibilidad de la masa. La relación ideal para panificación $P/L = 1$.
- **El valor W** es el área bajo la curva. Es la energía que se necesita para deformar la masa hasta que se rompe. Es una combinación de la resistencia de la masa (valor P) y de su extensibilidad (valor L) y se expresa en Joules.

Figura 38. Gráficas de resistencia de gluten



Harina con Gluten Débil



Harina con Gluten Fuerte

2.6 Prueba de panificación

Durante esta prueba se pudo conocer, las características de la masa, en el amasado, en la fermentación y comportamiento en el horno. Es una prueba muy importante del producto final en ella se realizaron pruebas cuantitativas (volumen y altura) y se realizó un análisis sensorial del mismo (olor, sabor, color y textura) a condiciones controladas de presión y temperatura.

Tabla XIV. Especificaciones del método de panificación

Método	Descripción	Objetivo del análisis
LAB-MG-CC-05 Método Molsa Guatemala, S.A.	Prueba de Panificación	Evaluar las características panificables de la harina a través de la elaboración de pan francés y pan de molde (pulman)

Fuente: Laboratorio Molsa Guatemala, S.A.

El producto final debe presentar un buen volumen, adecuada estabilidad de la masa, buen "salto de horno" y buena capacidad para la retención de gases. El tiempo de fermentación tiene influencia sobre el aroma, pero también sobre el volumen del panificado. Tiempos de fermentación prolongados producen un agradable gusto y buen aroma, pero al mismo tiempo reducen la estabilidad de la masa.

El pan debe presentar una miga suave y blanda, y corteza crocante y lisa. De forma simétrica, sin perforaciones en el interior del pan. Naturalmente el gusto y aroma deben ser agradables al consumidor.

2.6.1 Método de panificación

Se realizará el procedimiento de panificación de acuerdo a la siguiente formulación:

2.6.1.1 Equipo y materiales

- Cámara de fermentación, con temperatura de 30 ± 1 °C y humedad relativa de $80 \pm 5\%$.
- Esfoliadora (Cilindro rotatorio), homogenizadora espesor 1 ± 0.1 cm.
- Horno de cocción, termostato a 230 ± 10 °C con posibilidad de inyección de vapor.
- Balanza, carga máxima 5 kg precisión 2 g.
- Balanza carga máxima 0.5 Kg precisión 0.1 g.
- Balanza analítica, precisión 0.001 g.
- Amasadora Stephan UMTIO con mezclador modelo "Detmold".
- Caja cubica para la determinación del volumen de pan, con capacidad estándar de 600 cm³.
- Bandejas de acero inoxidable de 90 X 40 cm.
- Molde rectangular de acero inoxidable de 18x10x10 cm.

Tabla XV. Formulación estándar de pan desabrido

Formulación de pan desabrido			
	%	Cantidad	
Harina dura	100	920	g
Agua Temperatura 9 a 12 °C	59	542	ml
Levadura en pasta refrigerada a 4 °C	3	27.6	g
Manteca	3	27.6	g
Azúcar	2.5	23.0	g
Sal	1.5	13.8	g

Fuente: Laboratorio Molsa Guatemala, S.A.

2.6.1.2 Procedimiento de panificación

1. Pesar correctamente los ingredientes en una balanza analítica.
2. Encender cámara de fermentación a 30 °C y 86 % de humedad.
3. Mezclar levadura en el agua a velocidad 1 durante 15 segundos en amasadora.
4. Incorporar azúcar y sal durante 15 segundos, siempre a velocidad 2.
5. Luego incorporar la manteca vegetal.
6. Agregar la harina y mezclar durante 2 minutos a velocidad 1 y posteriormente mezclar durante 4 minutos a velocidad No.2.

Figura 39. Incorporación de ingredientes en amasadora.



7. Pesar la masa a temperatura ambiente de 25 ± 1 °C.
8. Reposar masa por 45 minutos, temperatura máxima de fermentación de la masa 26 °C.

Figura 40. Masa en reposo



9. Luego, pasar la masa por el cilindro 30 veces en la apertura media del cilindro.
10. Controlar la temperatura, verifique desarrollo de gluten.
11. Dividir la masa en 2 pedazos de 10 onzas (280 gramos). La división se realizara en 5 minutos.

Figura 41. Formación de bolitas para pan francés



12. Forjar cada pedazo de masa 10 onzas en 10 bolitas de 1 onza (cada unidad será en un pan francés) en bandejas previamente engrasadas, tiempo de formación 8 minutos.

Figura 42. Elaboración de pan francés



13. Para elaborar el pan de molde se utiliza un pedazo de masa de 10 onzas, el cual se estira con un cilindro de madera haciendo presión de tal forma que se eliminen las burbujas de aire. Luego enrollar la masa para que quede un cilindro, el cual debe ser colocado en el molde rectangular.

Figura 43. Elaboración de pan de molde I



Figura 44. Elaboración de pan pulman o pan de molde II



14. Dejar en crecimiento 1 hora 40 minutos en cámara de fermentación acondicionada a 30°C y 80% de humedad relativa, hasta que duplique su tamaño.

Figura 45. Cámara de fermentación



15. Hornear el pan francés durante 20 minutos a 190 °C.

Figura 46. Horneo



16. Sacar del horno el pan, dejar enfriar durante 2 horas para analizarlo.
17. Después de la cocción el pan se deja enfriar durante 2 horas para su posterior análisis. Medir volumen y altura, seguidamente calificar características organolépticas del pan.

2.6.2 Análisis de panificación

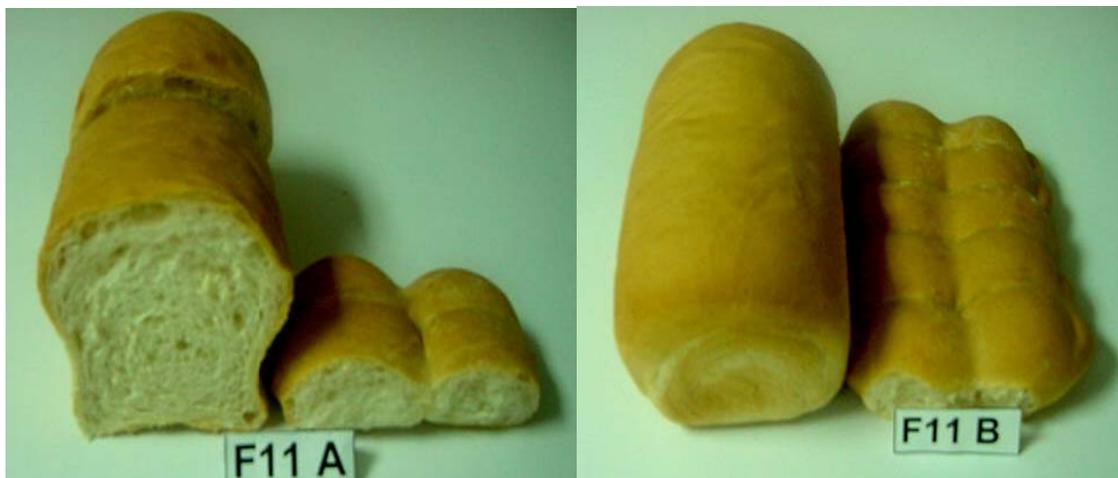
2.6.2.1 Análisis cuantitativo

Consiste en determinar la altura y volumen del pan.

- ✓ La altura del pan se midió poniendo el pan sobre una superficie dura, perforando desde el centro con la ayuda de un vernier, la altura del pan se expresa en centímetros.
- ✓ El volumen del pan se determinó midiendo la semilla de chang que desplaza un pan tipo pullman, el pan al ser introducido en una caja de 5000 cm^3 se rellena con dicha semilla, las semillas desplazadas se miden

con la ayuda de una probeta de 2000 ml. El volumen del pan se expresa en cm^3 .

Figura 47. Muestras de pan



2.6.2.2 Prueba sensorial de panificación

El análisis sensorial del pan se realizó utilizando pruebas afectivas midiendo el grado de satisfacción del pan, en la cual se expresó la reacción subjetiva ante el producto, el panel fue conformado por personal del laboratorio y producción de Molsa Guatemala.

Tabla XVI. Prueba afectiva, grado de satisfacción.

Medición grado de satisfacción	Escala de 5 puntos	
Me disgusta mucho	1	Punto
Me disgusta	2	Puntos
Ni me gusta- ni me disgusta	3	Puntos
Me gusta	4	Puntos
Me gusta mucho	5	Puntos

Fuente propia.

Los aspectos organolépticos que se evaluaron fueron:

- Color de corteza (aspecto externo del pan): oscuro, normal o claro.
- Color de miga (aspecto interno del pan): claro, normal o amarillento.
- Textura de corteza (aspecto externo del pan): se refleja especialmente por la presencia de agujeros o irregularidades y poca simetría del pan.
- Textura de miga (aspecto interno del pan): se clasifica como liso, irregular y/o presencia de agujeros o cavernas en el interior, la miga se clasifica como buena de acuerdo al tamaño de los alveolos, sin que estén demasiado grandes o pequeños.
- Sabor: característico de pan fresco.
- Olor: característico no rancio.

Figura 48. Muestras de pan, para análisis de panificación.



Los resultados del análisis de panificación se registraron en un formato en el cual se obtuvo una calificación total, lo cual se expresa como sigue:

Análisis cualitativo del pan:	30	puntos.
Análisis cuantitativo: de pan:	70	puntos.
Punteo total:	100	puntos.

Tabla XVII. Obtención de resultados en la prueba de panificación.

ANÁLISIS DE PANIFICACIÓN		
LOTE:	CALIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
VOLUMEN		1700-2200 cm ³
ALTURA		4.0-5.25 cm
COLOR DE CORTEZA		5
COLOR DE MIGA		5
TEXTURA DE CORTEZA		5
TEXTURA DE MIGA		5
SABOR		5
OLOR		5
CALIFICACIÓN	0	Máximo 100 pts.

Fuente: Laboratorio Molsa Guatemala, S.A.

El resultado en la prueba de panificación se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$C = ((V/1950)*45 + CC + CM + TC + TM + S + O + (A / 5.25)*20) =$$

Donde:

C = Calificación del resultado de la prueba de panificación

V = Volumen del pan de molde (pullman)

CC= Color de la corteza

CM= Color de la miga

TC = Textura de la corteza

TM = Textura de la miga

S = Sabor

O = Olor

A = Altura, tomada del pan francés

Figura 49. Formato de control de tiempos en el proceso de panificación.

PRUEBA DE PANIFICACION CONTROL DE TIEMPOS				FECHA:	
					
No. Muestra	Tipo de harina	Marca	Clave	Control	Fecha de producción
1	DURA				
2	DURA				
3	DURA				
1. FERMENTACIÓN		TIEMPO DE FERM DE MASA.		FRANCÉS	
		PESO	UNIDADES	PESO	UNIDADES
1	FORTALEZA	10. ONZAS	2	1 ONZA	20 U
2	FORTALEZA	10. ONZAS	2	1 ONZA	20 U
3	FORTALEZA	10. ONZAS	2	1 ONZA	20 U
2. FERMENTACIÓN		PULLMAN 1. 40 horas		FRANCÉS 1. 40 horas	
		Hora inicio	Hora fin	Hora inicio	Hora fin
1	FORTALEZA				
2	FORTALEZA				
3	FORTALEZA				
3. HORNEO		PULLMAN		FRANCÉS	
		TIEMPO		TIEMPO	
1	FORTALEZA	30 MINUTOS		15 - 20 MINUTOS	
2	FORTALEZA	30 MINUTOS		15 - 20 MINUTOS	
3	FORTALEZA	30 MINUTOS		15 - 20 MINUTOS	

Figura 50. Formato control de análisis cuantitativo de panificación.



MOLSA GUATEMALA, SOCIEDAD ANONIMA.
 REPORTE DE ANALISIS
 CONTROL DE CALIDAD

PANIFICACION													
CLAVES MOL	HARINA PRESENTACION	FECHA DE PRODUCCION	HORA	TARIMA	TIPO DE PRUEBA	Tiempo de amasado	Temperatura ambiente	Tiempo de reposo	Cilindro No. Pasadas	Temperatura cámara	Humedad cámara	Temperatura horno	Tiempo de horneado

CALIFICACION DEL PAN											
CLAVES MOL	HARINA PRESENTACION	FECHA DE PRODUCCION	HORA	TARIMA	TIPO DE PRUEBA	Peso g	Volumen	Corteza	Simetria	Miga	Altura
						230/245	cm3	1-10 pto	1-10 pto	1-10 pto	1-10 pto

FECHA: _____
 CLASE DE HARINA _____
 PANIFICADOR _____
 VeBo. CONTROL DE CALIDAD _____

OBSERVACIONES: _____

Figura 51. Formato control de análisis sensorial de panificación

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MOLSA GUATEMALA, S.A. REPORTE ANÁLISIS SENSORIAL DE PANIFICACIÓN										
DESCRIPCIÓN:	ME DISGUSTA MUCHO	ME DISGUSTA	NI ME GUSTA/ NI ME DISGUSTA	ME GUSTA	ME GUSTA MUCHO	PUNTUACION	OBSERVACIONES			
	1	2	3	4	5					
Muestra A LOTE:	PUNTUACION:									
	Corteza									
	Miga									
	Color									
	Corteza									
	Miga									
Textura										
Sabor										
Olor										
PUNTUACION										
Muestra B LOTE:	Corteza									
	Miga									
	Color									
	Corteza									
	Miga									
	Textura									
Sabor										
Olor										
PUNTUACION										
Muestra C LOTE:	Corteza									
	Miga									
	Color									
	Corteza									
	Miga									
	Textura									
Sabor										
Olor										
PUNTUACION										

ANALISIS SECUNDARIOS:

Humedad:	<u>13.1</u>
Proteína:	<u>12.48</u>
Ceniza:	<u>0.620</u>
Gluten:	<u>33.83</u>
Bromato:	<u>28.4</u>
Falling Number	<u>315</u>
[Malta]	<u>403</u>
Granulometría	
8XX	<u>0.5</u>
9XX	<u>2.5</u>
10XX	<u>6</u>
11XX	<u>4.1</u>
12XX	<u>14.9</u>
BANDEJA	<u>70.6</u>
TOTAL	<u>98.6</u>

FARINOGRAMA:

ABSORCION AS IS:	<u>64</u>
ABSORCION 14%	<u>63.3</u>
ARRIVAL TIME	<u>2.4</u>
PEAK TIME	<u>6.75</u>
DEPARTURE TIME	<u>10.8</u>
ESTABILIDAD	<u>8.4</u>
MTI	<u>50</u>
MTD	<u>128</u>
VALORIMETRO	<u>61</u>

ALVEOGRAMA:

W (10E-4J)	<u>388</u>
P (mm H ₂ O)	<u>117</u>
L (mm)	<u>89</u>
P/L	<u>1.33</u>

ANALISIS CUALITATIVOS:

Visual de Hierro: 65 PPM

Visual ácido ascórbico: 50 PPM

PRUEBA DE PANIFICACION:

PANIFICACION		
CLAVE	140605-01A	ESPECIFIC
VOLUMEN	2140	~2200 cm ³
ALTURA	5.15	4.0-5.25 cm
COLOR DE CORTEZA	4	5
COLOR DE MIGA	4	5
TEXTURA DE CORTEZA	4	5
TEXTURA DE MIGA	4	5
SABOR	3	5
OLOR	3	5
CALIFICACION	91.00	Max. 100 pts

Tabla XVIII. Resultados sustitución parcial de bromato de potasio.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO										
		CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS								
BROMATO DE POTASIO		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
XILANASA FÚNGICA		0	50	100	150	200	250	300	350	400
TRIGO	HUMEDAD	11.8	12.3	10.94	11.71	11.8	12.1	11.8	12.00	12.1
	PROTEÍNA	13.11	13.9	13.62	13.09	13.11	13.37	13.11	13.24	13.37
	GLUTEN	31.07	31.69	32.93	32.24	31.07	31.21	31.07	33.21	31.21
	FALLING NUMBER	465	484	490	485	465	431	465	436	431
HARINA SIN ADITIVOS	HUMEDAD	13.71	13.54	13.69	14.44	13.53	13.68	13.71	13.43	13.68
	PROTEÍNA	12.24	12.99	12.94	12.55	12.07	12.82	12.24	12.90	12.82
	CENIZA	0.49	0.53	0.51	0.49	0.53	0.55	0.49	0.55	0.55
	GLUTEN	31.58	33.99	34.09	33.08	32.06	33.87	31.58	32.70	33.87
	[MALTA]	238	233	209	224	203	246	238	259	246
	FALLING NUMBER	383	414	415	409	407	405	383	413	405
	ALMIDÓN DAÑADO	9.25	8.65	8.65	8.25	9.15	9.35	9.25	9.55	9.35
PROP. FÍSICOQUÍMICAS DE LA HARINA	HUMEDAD	13.16	13.13	13.3	14.23	13.24	13.38	12.97	13.1	13.25
	PROTEÍNA	12.06	12.87	12.81	12.38	12.18	12.82	12.09	12.48	13.05
	CENIZA	0.614	0.56	0.535	0.558	0.59	0.595	0.596	0.620	0.614
	GLUTEN	33.15	35.01	34.84	33.82	33.11	34.58	33.49	33.83	34.45
	FALLING NUMBER	359	405	424	360	344	387	300	315	340
	MALTA	264	238	264	262	316	300	319	403	351
	GRANULOMETRIA	72	72	71.1	72.2	70.1	74.5	74.4	70.6	73.1
	ALMIDÓN DAÑADO	9.25	99.1	99.3	99	9.15	99.4	9.25	9.25	9.35
	[HIERRO]	75	65	65	65	70	75	75	75	65
	[ACIDO ASCORBICO]	30.00	20	20	25	30.00	35	40	40	30
PROP. REOLOG.	% ABSORCIÓN	61.00%	61.20%	62.50%	62.70%	63.00%	63.10%	63.50%	63.65%	63.70%
	ALVEOGRAMA P/L	0.82	0.99	1.03	1.01	1.22	1.23	1.16	1.33	1.44
PRUEBA DE PANIFICACIÓN:	VOLUMEN	1980	2000	2060	2100	2100	2050	2100	2140	2100
	ALTURA	5.01	5.48	5.26	5.23	5.06	4.98	5.06	5.15	4.7
	COLOR DE CORTEZA	4	4	4	4	4	4	3	4	3
	COLOR DE MIGA	4	4	5	5	4	5	3	4	4
	TEXTURA DE CORTEZA	3	3.5	4	5	5	5	5	4	4
	TEXTURA DE MIGA	5	3	5	4.5	4	5	4	4	4
	SABOR	4	4	4	4	3	4	4	3	4
	OLOR	4	4	5	5	5	4	5	3	5
	CALIFICACIÓN	88.03	89.53	94.24	95.89	92.40	92.28	91.49	91.00	89.37

Fuente propia

Tabla XIX. Resultados sustitución total de bromato de potasio.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO										
CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS										
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	
ANÁLISIS DE TRIGO	BROMATO DE POTASIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	XILANASA FÚNGICA	0	50	100	150	200	250	300	400	
	HUMEDAD	11.15	11.15	11.15	11.3	11.80	11.80	11.3	11.80	11.15
	PORTEÍNA	14.56	14.56	14.56	14.09	14.56	14.56	14.09	14.56	14.56
	GLUTEN	33.12	33.12	33.12	32.76	32.60	32.60	32.76	32.60	33.12
HARINA VIRGEN	ÍNDICE DE GLUTEN	72.26	72.26	72.26	62.7	75.17	75.17	62.7	75.17	72.26
	FALLING NUMBER	418	418	418	479	287	287	479	287	418
	HUMEDAD	13.68	13.68	13.68	13.30	13.27	13.27	13.30	13.27	13.68
	PROTEÍNA	12.69	12.69	12.69	13.12	13.61	13.61	13.12	13.61	12.69
	CENIZA	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51
PROP. FISCOQUÍMICAS DE LA HARINA	GLUTEN	34.00	34.00	34.00	34.23	35.55	35.55	34.23	35.55	34.00
	[MALTA]	193	193	193	206	208	208	206	208	193
	FALLING NUMBER	468	468	468	454	512	512	454	512	468
	ALMIDÓN DAÑADO	7.85	7.85	7.85	7.75	7.95	7.95	7.75	7.95	7.85
	HUMEDAD	13.19	13.29	13.24	13.01	13.08	13.25	13.04	13.25	13.17
	PROTEÍNA	12.71	12.79	12.72	13.01	13.55	13.67	13.09	13.67	12.76
	CENIZA	0.551	0.56	0.555	0.524	0.528	0.542	0.537	0.542	0.562
	GLUTEN	34.68	33.53	34.61	35.41	36.64	36.9	35.35	36.9	34.67
	FALLING NUMBER	433	372	377	385	429	390	372	390	385
	MALTA	264	290	287	279	262	279	284	279	329
PROP. REOLOG.	GRANULOMETRÍA	78.1	77.5	77.3	70.1	73.4	77.3	68.9	77.3	77
	ALMIDÓN DAÑADO	7.85	7.85	7.85	7.77	7.95	7.95	7.77	7.95	7.85
	[HIERRO]	70	65	70	75	65	65	70	65	70
	[AC. ASCORB.]	25	30	20	25	20	30	30	30	25
PRUEBA DE PANIFICACIÓN	% ABSORCIÓN	60.10%	60.20%	60.30%	61.20%	61.25%	61.50%	61.70%	61.50%	61.20%
	ALVEOGRAMA P/L	0.65	0.79	0.8	0.85	0.92	1	1.19	1.17	1.12
	VOLUMEN	1620	1710	1700	1800	19800	2020	1910	2020	1810
	ALTURA	4.27	4.77	4.73	4.6	5.20	5.09	4.96	5.09	5.2
	COLOR DE CORTEZA	3	2	3	4	4	3	4	3	3
	COLOR DE MIGA	2	3	4	4	4	4	4	4	4
	TEXTURA DE CORTEZA	2	4	3	4	4	5	4	5	4
	TEXTURA DE MIGA	2	3	3	4	4	5	4	3	4
	SABOR	4	3	3	4	3	4	3	3	4
	OLOR	3	3	3	4	4	4	4	3	4
CALIFICACIÓN	69.65	75.63	76.25	83.06	91.45	92.00	90.10	87.01	84.58	

Fuente propia

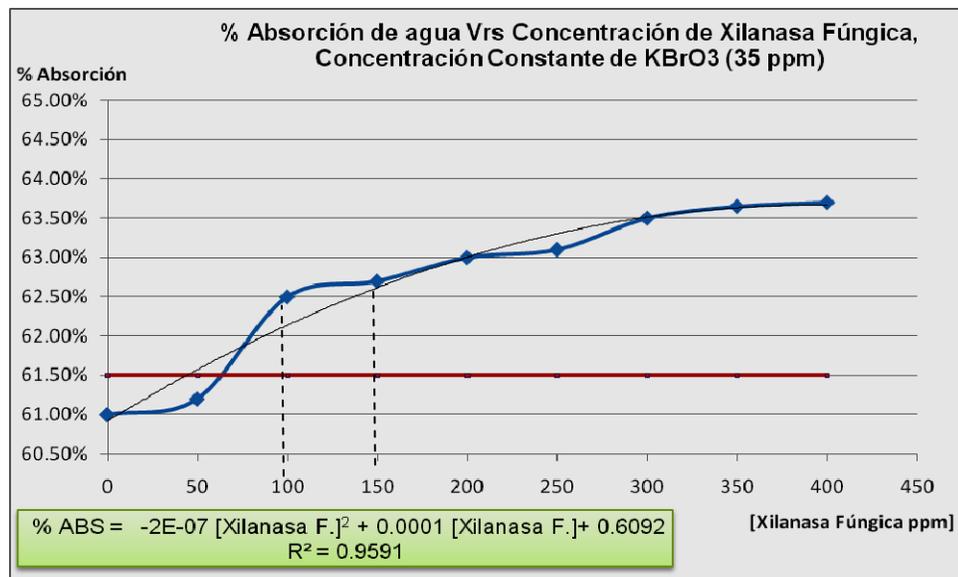
4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Sustitución parcial de bromato de potasio

Para determinar si una harina es de calidad es importante la integración de todos los resultados posibles como las características fisicoquímicas de la harina, características reológicas o mecánicas de la masa y características sensoriales del pan. Sin embargo en este estudio solamente se tomaron como resultados determinantes los obtenidos en las pruebas reológicas de la masa y en las pruebas de panificación, solamente se analizaron los datos obtenidos en las pruebas de **absorción**, el **factor P/L** (equilibrio entre la tenacidad y elasticidad) y **calificación total de panificación**.

En la prueba de absorción, un resultado positivo es aquel que tenga una absorción mayor del 61.5%, ya que para las panaderías una alta absorción redonda en un rendimiento alto en la producción de pan.

Figura 53. Resultados de absorción

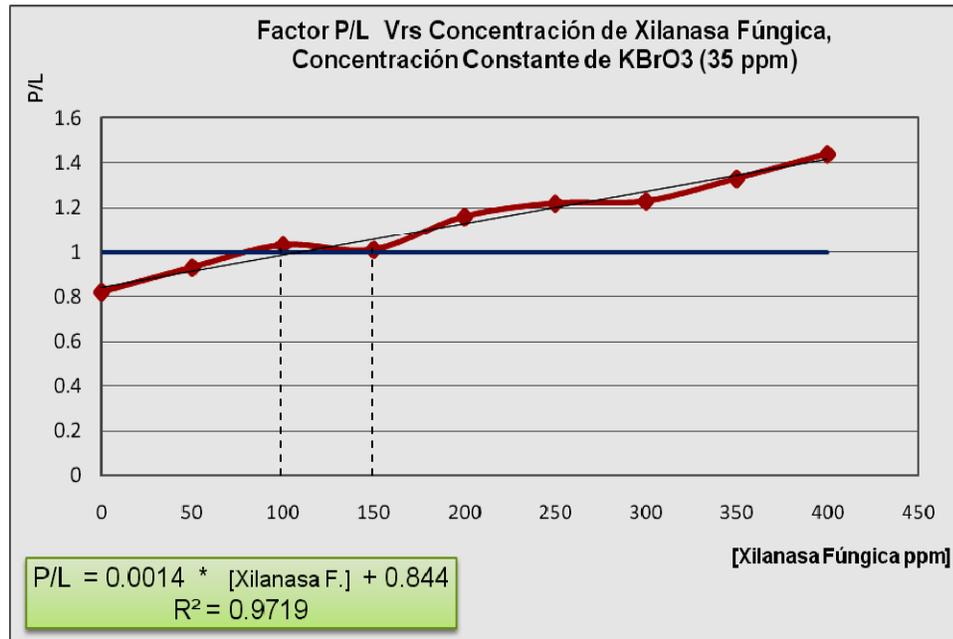


Nivel satisfactorio de absorción 61.50%

Es importante notar que el aumento de la absorción en la harina es directamente proporcional con la dosificación de Xilanasa Fúngica. Por lo tanto el aditivo enzimático aporta un valor importante en la absorción de la harina.

La siguiente gráfica del cociente P/L (tenacidad/elasticidad) en la prueba del alveógrafo, indica el balance entre la resistencia y extensibilidad de la masa, de acuerdo a este factor se puede determinar un equilibrio para las harinas duras. Idealmente para una harina dura para panificación la relación P/L debe ser igual a 1. Es importante notar que el factor P/L es directamente proporcional a la dosificación de Xilanasa Fúngica, de igual forma se puede notar que a dosificaciones de 100 y 150 ppm de Xilanasa Fúngica los valores de P/L tienen un equilibrio entre la extensibilidad y la tenacidad del gluten, en cuanto más próximo esté el cociente a uno mejor será este equilibrio. Cuando una harina tiene gluten débil tiene valores P muy por debajo de 1 y en el proceso de amasado y cilindraje tendrá problemas de pegajosidad y la masa será muy difícil de maniobrar este es el caso para la harina sin aditivo enzimático, por el contrario para las muestras de harinas que tuvieron un factor P/L >1 como en el caso de las muestras para concentraciones mayores a 150 ppm del aditivo enzimático, significa que las masas son muy tenaces y tendrán problemas en la fermentación, estas tendrán poco desarrollo ya que la masa tendrá resistencia en el crecimiento del pan y la miga no tendrá un buen desarrollo de los alveolos.

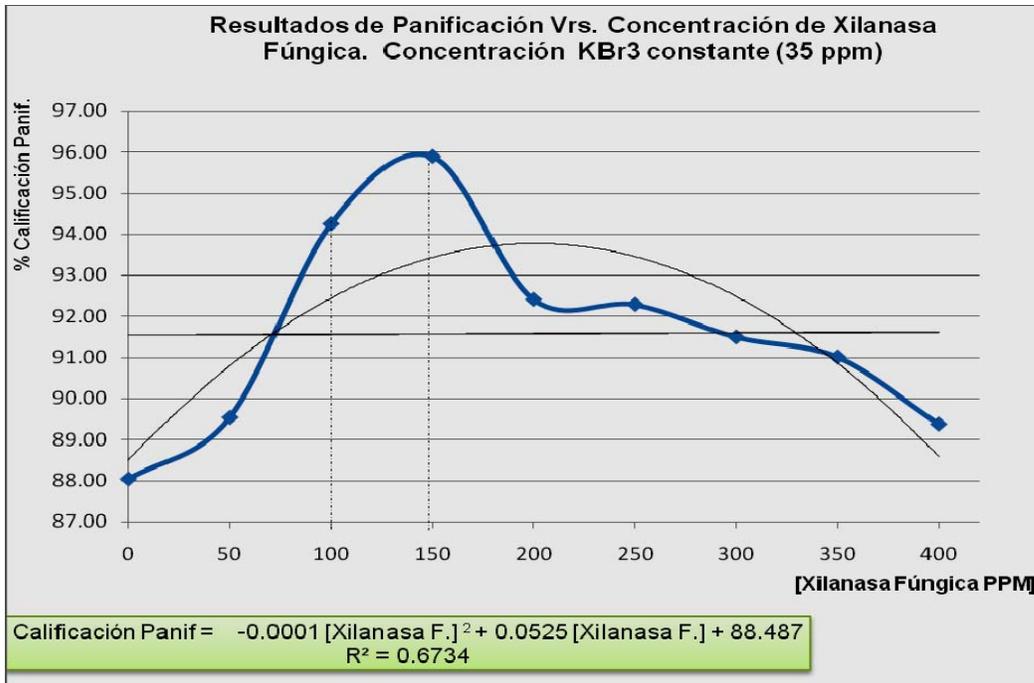
Figura 54. Resultados del factor P/L



Factor P/L satisfactorio =1

En la siguiente gráfica se observan los resultados de la prueba de panificación, se observa la mejora al utilizar el aditivo enzimático ya que en esta prueba se observa que la calidad del pan aumentó considerablemente esto es notorio a concentraciones de 100 y 1150 ppm de Xilanasa Fúngica, también se observa que la calidad del pan disminuye a concentraciones mayores de dicho aditivo, esto está íntimamente relacionado con los valores del factor P/L, ya que las harinas se vuelven muy tenaces y no permiten el buen desarrollo del pan, es decir tienen problemas con el salto en el horno y las características sensoriales del pan disminuyen.

Figura 55. Resultados de prueba de panificación



Calificación aceptable de panificación 91.5%

Tabla XX. Resultados en la prueba de sustitución parcial de bromato de potasio

CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS (ppm)		RESULTADOS DE LAS PRUEBAS		
XILANASA FÚNGICA	BROMATO DE POTASIO	ABSORCIÓN (FARINÓGRAFO)	FACTOR P/L (ALVEOGRAFO)	PANIFICACIÓN
0	35	61.00%	0.82	88.03
50	35	61.20%	0.93	89.53
100	35	62.50%	1.03	94.24
150	35	62.70%	1.01	95.89
200	35	63.00%	1.16	92.40
250	35	63.10%	1.22	92.28
300	35	63.50%	1.23	91.49
350	35	63.65%	1.33	91.00
400	35	63.70%	1.44	89.37

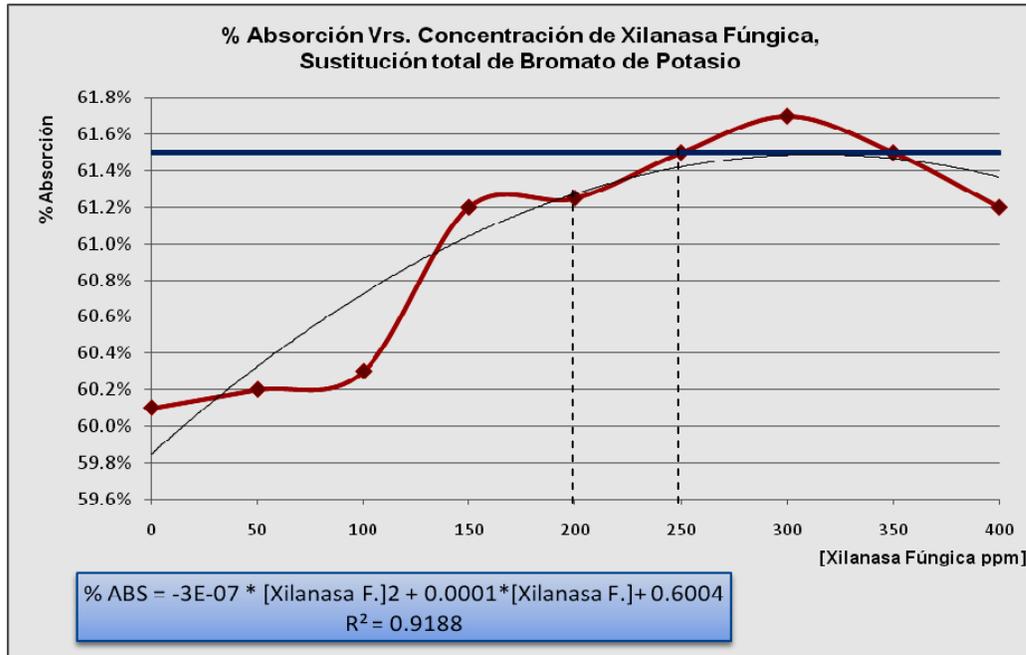
Fuente propia

Los resultados marcados con negrilla indican un resultado positivo en las distintas pruebas es decir que los ensayos realizados con concentraciones a 100 ppm y 150 ppm de Xilanasa Fúngica y 35 ppm de bromato de potasio mostraron resultados superiores a la de las demás pruebas realizadas.

4.2 Sustitución total de bromato de potasio

Los resultados de absorción obtenidos en las distintas pruebas realizadas en el farinógrafo, se puede ver que se obtuvieron mejores absorciones a concentraciones menores de 250 ppm de Xilanasa Fúngica, esto indica que no siempre es necesario añadir mayores cantidades de aditivos, por otro lado se observa menores absorciones que en las pruebas de sustitución parcial de bromato de potasio, ya que en este caso se puede notar el efecto de la ausencia del bromato de potasio.

Figura 56. Resultados de absorción

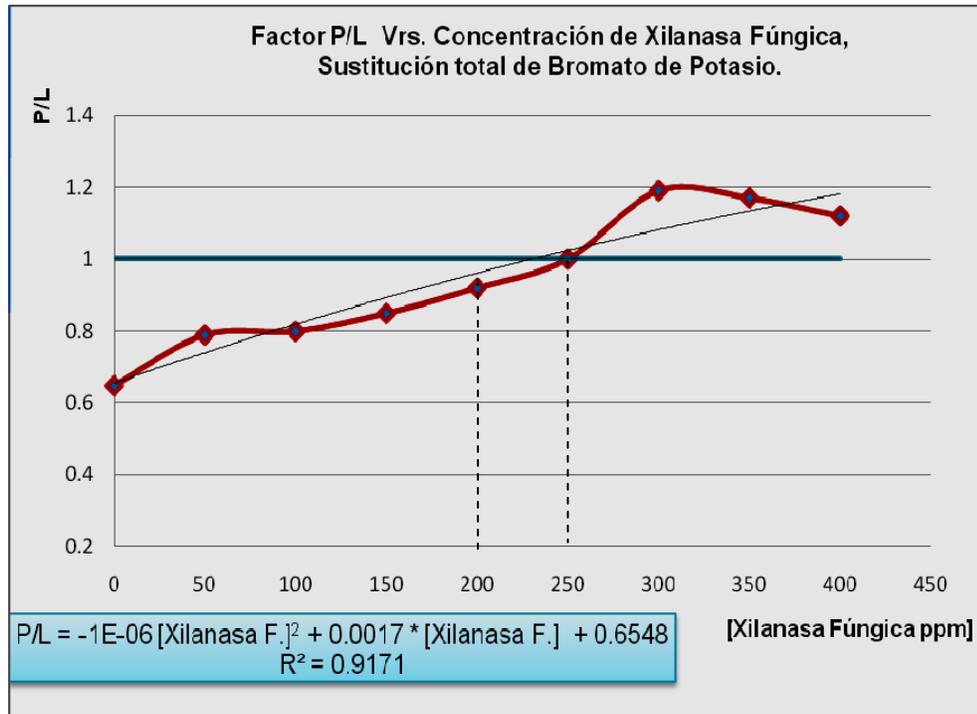


Nivel satisfactorio de absorción 61.50%

La enzima Xilanasa Fúngica puede cambiar las propiedades de la masa, aunque no siempre para mejorar, ya que se puede notar una disminución en la absorción a altas concentraciones del aditivo, disminuyendo la firmeza del gluten, esto redundando también en pegajosidad debido a la sobresaturación de la enzima en la masa. □

La siguiente gráfica muestra los resultados del factor P/L obtenido en la prueba realizada con el alveógrafo, se puede observar que a una concentración de 250 ppm de Xilanasa Fúngica indica un equilibrio óptimo entre la tenacidad y la elasticidad de la harina, por el efecto de dicho aditivo se ve un aumento en el factor P/L, luego se ve una disminución en el factor P/L a concentraciones mayores esto debido a que las masas tiendan a ser más viscosas.

Figura 57. Resultados de la prueba de alveógrafo



Factor P/L satisfactorio 1.

La siguiente gráfica muestra los resultados obtenidos en la prueba de panificación, se puede observar que a las concentraciones de 250 y 300 ppm de Xilanasa Fúngica se obtuvieron resultados satisfactorios en esta prueba, a concentraciones mayores de 300 ppm de Xilanasa Fúngica disminuyó la calidad del pan esto debido a la sobresaturación de la enzima.

Figura 58. Resultados de prueba de panificación

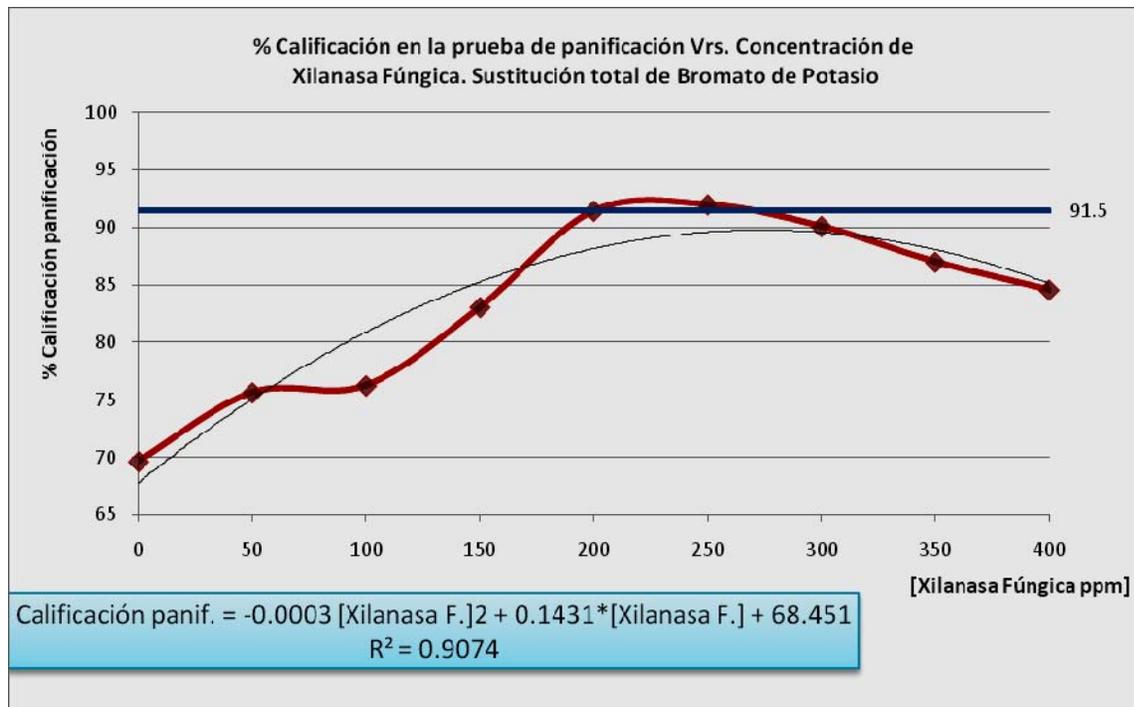


Tabla XXI. Resultados de sustitución total de bromato de potasio

CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS ppm		RESULTADOS DE LAS PRUEBAS		
XILANASA FÚNGICA	BROMATO DE POTASIO	ABSORCIÓN (FARINÓGRAFO)	FACTOR P/L (ALVEÓGRAFO)	PANIFICACIÓN
0	0	60.10%	0.65	69.65
50	0	60.20%	0.79	75.63
100	0	60.30%	0.8	76.25
150	0	61.20%	0.85	83.06
200	0	61.25%	0.92	91.45
250	0	61.50%	1	92.00
300	0	61.70%	1.19	90.10
350	0	61.50%	1.17	87.01
400	0	61.20%	1.12	84.58

Fuente propia.

Los datos marcados con negrilla indican un resultado positivo en las distintas pruebas es decir que los ensayos con mayor aceptación fueron a 200 y 250 ppm de Xilanasa Fúngica ya que reflejan resultados superiores en las pruebas de panificación, buen equilibrio entre la tenacidad y elasticidad de la masa, de igual forma tienen un resultado aceptable de absorción.

En el ensayo donde no actúan ninguno de los dos aditivos es notorio, la baja calificación en la prueba de panificación y el factor P/L de 0.65 indica un gluten débil el cual redundo en el bajo rendimiento de la absorción.

Los resultados obtenidos en las muestras con bromato de potasio fueron más altos, debido a la sinergia que se produce cuando trabajan ambos aditivos.

5 LOGROS ALCANZADOS

- Capacitación del personal de laboratorio con respecto a los controles desarrollados e implementados para la metodología de evaluación de harinas de trigo duras.
- Capacitación e información sobre la dosificación y acción de aditivos enzimáticos en harinas de trigo duro para panificación.
- Presentación y capacitación sobre análisis sensorial de panificación e implementación de controles y registros para dicho procedimiento.
- El personal de laboratorio recibió una capacitación en la cual obtuvieron información para la evaluación de aditivos enzimáticos en harinas duras y la interpretación de los resultados obtenidos en dichas pruebas.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para concluir en una formulación para harinas de trigo duro para panificación.

El personal de laboratorio recibió información de los aditivos enzimáticos a evaluar, el efecto que producen dichos aditivos en las harinas y la importancia de realizar dicho estudio. La metodología que se utilizó para dicha capacitación comprendió en la importancia de desarrollar una muestra de harina a nivel de laboratorio con características de calidad basados en los estándares utilizados en Molsa Guatemala, S.A. Se realizaron unas pruebas preliminares para observar el efecto de los aditivos enzimáticos en harina luego se realizaron las pruebas del laboratorio.

El personal de laboratorio recibió capacitación para realizar análisis de panificación y resaltar los aspectos importantes que se calificaron en la prueba sensorial de panificación realizadas en el laboratorio.

El personal del laboratorio reprodujo las formulaciones de las muestras que se obtuvieron con mejores resultados y realizaron monitoreos en distintas partes del país para determinar si eran influyentes los aspectos como la presión y la temperatura. De acuerdo a la capacitación que se realizó en la implementación de los procedimientos y formatos, se registraron los resultados obtenidos de dicho monitoreo.

Los beneficios de este estudio para la empresa es importante ya que se cuenta con un estudio en la sustitución total de bromato de potasio sin afectar la calidad de la harina, esto es importante ya que a mediano plazo el bromato de potasio no se utilizará más como aditivo alimenticio en harinas, es por ello que el personal de laboratorio con la experiencia y la capacitación obtenida podrá desarrollar dichas formulaciones y realizar monitoreos a diferentes lugares del país para analizar los factores de presión, temperatura y altura de nivel del mar, ya que son influyentes en la utilización de ingredientes en la elaboración del pan.

El personal de laboratorio obtuvo capacitación para realizar futuros estudios en la harina de trigo para panificación, en la cual podrán utilizar la metodología de evaluación, controles, registros y criterios utilizados los cuales fueron redefinidos en este estudio.

CONCLUSIONES

1. Se pudo establecer que para analizar la actividad enzimática del aditivo alimenticio Xilanasa Fúngica, es necesaria la integración de todos los resultados que simplemente analizarlos por separado, para determinar si la formulación califica o no para dicho fin.
2. Para la sustitución parcial de bromato de potasio se determinó que la Xilanasa Fúngica actúa en óptimas condiciones a dosificaciones de saturación a 100 ppm y 150 ppm respectivamente.
3. Al analizar la sinergia entre el bromato de potasio y Xilanasa Fúngica se pudo comprobar que en conjunto fortalecen el gluten y mejoran la calidad de la harina.
4. Al evaluar la efectividad de la Xilanasa Fúngica como sustituto total de bromato de potasio, se pudo determinar que a concentraciones de saturación de 200 ppm y 250 ppm de Xilanasa Fúngica es posible sustituirlo.
5. En ambos casos se observó que a dosificaciones mayores de las óptimas de Xilanasa Fúngica (200 y 250 ppm de X. F. sin bromato de potasio y 100 y 150 ppm de X.F. con 35 ppm de bromato de potasio), la harina se vuelve más tenaz y la calidad del pan decrece.

RECOMENDACIONES

1. Es indispensable que la empresa se fortalezca en el desarrollo e investigación de aditivos enzimáticos para harinas duras y suaves, en cuanto a la sustitución total se refiere, ya que es importante contar con un estudio que pueda ser implementado cuando sea prohibido el bromato de potasio totalmente.
2. Implementar un procedimiento experimental y metodologías de análisis para la determinación de la concentración de Xilanasa Fúngica en el control de calidad de la harina dura para panificación.
3. Realizar investigaciones y experimentaciones a nivel de laboratorio combinando técnicas de aplicación, analizando la sinergia enzimática de aditivos enzimáticos de harinas de trigo para afrontar con éxito las legislaciones alimentarias de la harina en un futuro.
4. Realizar ensayos a las dosificaciones que se determinaron como óptimas a distintas circunstancias de temperatura ambiente, procedimiento y formulación de panificación, ya que la calidad de la harina debe adecuarse a los distintos procesos de panificación y a las condiciones, tanto técnicas como medioambientales, de cada panificador o industria de panificación, para garantizar el comportamiento de las harinas en las distintas condiciones en las que se utiliza.

BIBLIOGRAFÍA

1. **“La magia de las enzimas”**. Revista Stern-Enzym, GmbH & Co. (Ahrensburg, Alemania) 2002.
2. Barato Eugutter, Sigrid. Parámetros de calidad de trigo y harina de trigo. Tesis Ing. Quím. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994.
3. Fellows, Peter. **Tecnología del proceso de los alimentos, principios y prácticas**. España: Editorial Acribia, S.A. 1994.
4. González, Alejandro. **Tecnología de alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos**. México: Editorial Limusa, S.A. 2005.
5. Madrid, Vicente. **Los aditivos en los alimentos**. España: Editorial Iragra, S.A., 1992.
6. Majel M. **Cereal laboratory methods** 7^a ed. Estados Unidos: Editorial MacMasters. 1955
7. **Métodos de prueba para el trigo y la harina**. Estados Unidos: Editorial Pamela Causgrove, English Language Solutions. 2004
8. Pomeranz, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3^a ed. Estados Unidos: s.e. 1988.

9. Popper, Lutz. **“Sintonizando las harinas”** Revista Mühlenchemie GmbH & Co. (Ahrensburg, Alemania) 2003
10. Quaglia, Giovanni. **Ciencia y tecnología de la panificación.** España: Editorial Acribia, S.A. 1991.
11. **Reglamento Técnico Unión Aduanera Centroamericana.** 6^a ed. Guatemala: s.e. 2008.

ANEXOS

Proceso de producción de harina de trigo

La harina es el producto elaborado con granos de trigo por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura. La producción inicia en la recepción de los granos los cuales son analizados en el laboratorio y luego son almacenados en silos.

Silos de almacenamiento de trigo



Operaciones de tamizado, limpieza, y aspiración de cuerpos extraños

Proceso de limpieza de granos



Luego son sometidos al acondicionamiento que consiste en humectar y dejar en reposo el trigo por aproximadamente 24 horas para que el trigo adquiera las condiciones necesarias para ser molidos, (la cantidad de agua y el tiempo de reposo dependen de las características de dureza del grano). Este procedimiento se realiza para facilitar la separación del salvado, separación del endospermo y la pulverización de los granos de trigo.

Humectación del trigo.



Los granos acondicionados van a los sistemas de cilindros donde se trituran, este proceso se realiza por medio de molinos de rodillos o cilindros que desgarran y trituran el grano luego de cada acción las partículas se separan en tres fracciones por medio de tamices.

Trituración de los granos



Las partículas mayores separadas pasan a los siguientes cilindros.

Cernidor de harina



La sémola impura se envía a los sasores para ser purificada. Después de efectuada la trituración, es necesario realizar una reducción de la sémola (es el endospermo obtenido en las primeras trituraciones), y harinilla, que es la harina extraída de la parte superior del endospermo para dar lugar a la harina, mediante proceso de reducción de las partículas y eliminación de cubiertas.

Purificación (separación de la sémola limpia)



El sistema de compresión y cernido, mediante cilindros, tiene como objeto moler las sémolas y semolines purificados para transformarlas en harina.

Compresión de harina y subproductos



El color y aspecto de la harina dependerá del tipo de grano empleado a la vez se debe asegurar que no exista presencia de afrecho en la harina ya que le quita blancura.

Fortificación y enriquecimiento, adición de aditivos en la harina



Se realizan procedimientos de laboratorio para determinar el aporte de los aditivos a la calidad de la harina.

Muestras de harina de trigo.



Muestras de harina son llevadas al laboratorio de distintos puntos del proceso para monitorear la calidad de la harina. Se analiza una muestra de harina sin aditivos o virgen, una muestra de la salida de la banda transportadora de aditivos que es un tornillo sin fin que mezcla los aditivos y una muestra de la harina de la tolva a la salida del empaque.

Tolva, área de empaque.



Una vez obtenida la harina, se verifican los parámetros de calidad en el laboratorio de control de calidad, en el proceso la determinación de cenizas constituye un método para comprobar la eficacia de la molienda, este es un

parámetro crítico ya que si excede de 0.60 %, se deben verificar las telas de los cernidores ya que pueden estar rotas.

Laboratorio de control de calidad



Fuente: Molsa Guatemala, S.A.

Diagrama del proceso de fabricación de harina de trigo

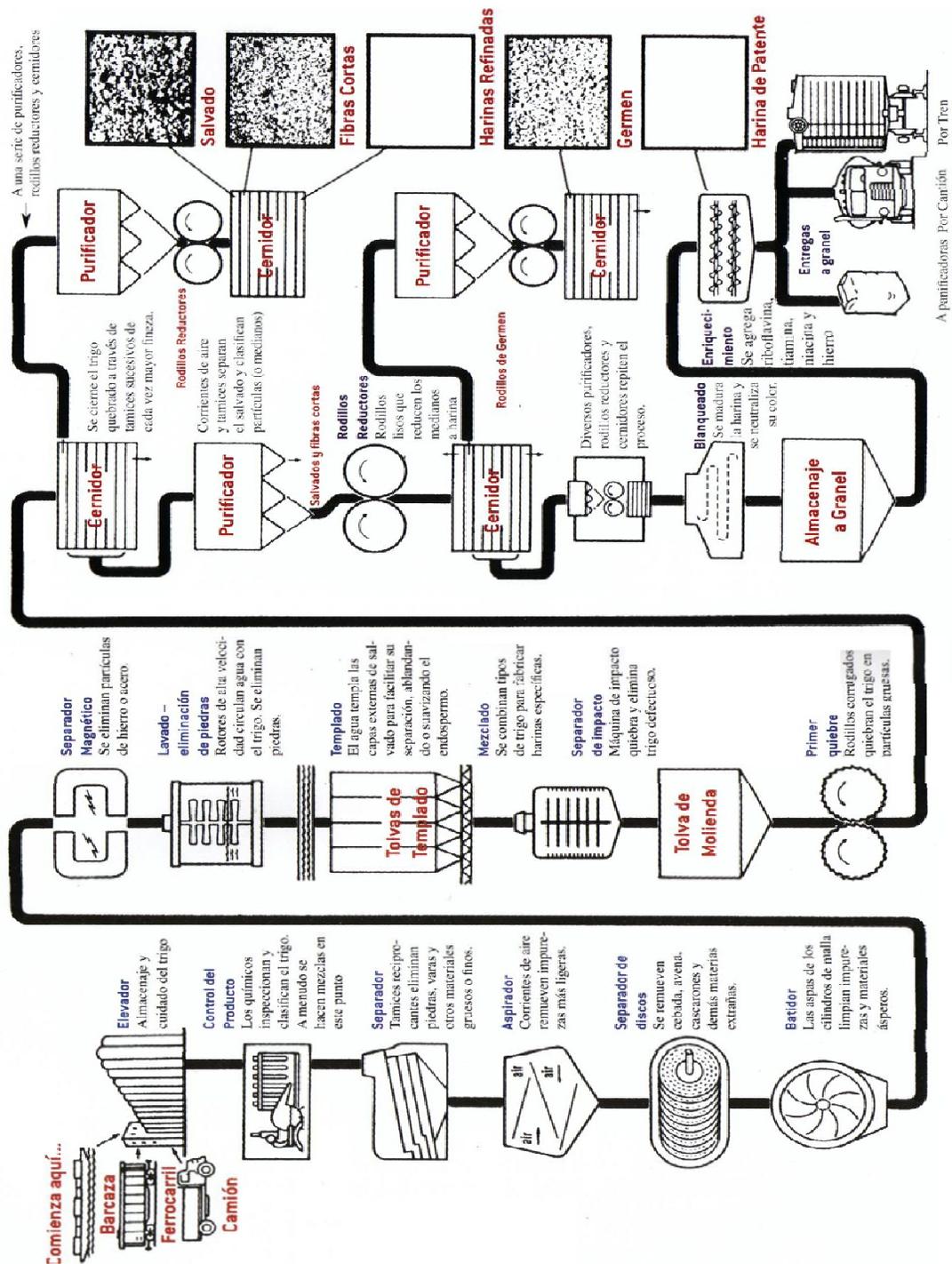


Tabla. Enzimas utilizadas para la mejora de harina y pan.

ENZIMA	EFEECTO
α - amilasa, fungal	Suministro de energía para la levadura
β - amilasa, bacteriana	Licuefacción
Amilasa, estable al calor intermedio	Antiendurecimiento
Amiloglucosidasa (glucoamilasa)	Suministro de energía, color, sabor.
Enzima ramificada (glucotransferasa)	Retención de agua
Celulasa	Retención de agua
Furanosidasa, arabinofuranosidasa	Estructura de la masa, retención de agua
Estearasa de ácido ferúlico y cumárico	Estructura de la masa, retención de agua
Glutación oxidasa	Refuerzo de proteínas
Glicolipasa, galactolipasa	Estabilidad de la masa y rendimiento de volumen del pan
α β - Glucanasa	Estructura – licuefacción
Glucosa oxidasa, galactosa oxidasa, hexosa oxidasa	Refuerzo de las proteínas
Hemicelulasa, Xilanasas. Pentonasa	Estructura de la masa, retención de agua, rendimiento de volumen del pan
Laccasa, polifenol oxidasa	Reforzamiento de la masa
Lipasa	Sabor, emulsificación in-situ, estabilidad de la masa y rendimiento de volumen
Lipoxigenasa, lipoxidasa	Estructura de la masa, decoloración
Exopeptidasa	Color, sabor
Peroxidasa	Reforzamiento de las proteínas
Fosfolipasa	Estructura porosa y rendimiento de volumen
Proteasa, proteínas	Relajación de las proteínas, licuefacción
Pululanasa	Estructura, retención de agua
Sulfidril oxidasa	Reforzamiento de las proteínas
Sulfidril transferasa	Reforzamiento de las proteínas
Transglutaminasa	Reticulación de las proteínas, estabilización del gluten.

Fuente: Referencia 11