

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE DOS MUESTRAS
DE HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L) ACONDICIONADA CON MEZCLA
DE FIBRAS COMERCIALES**

ANGELA PATRICIA PÉREZ LEMUS

1.052.379.593

RUBEN DARÍO GARCÍA REINA

80.796.480

DIRECTORA:

QUÍMICA DE ALIMENTOS. GOLDA MEYER TORRES

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERÍA
DUITAMA**

2013

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE DOS MUESTRAS
DE HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L) ACONDICIONADA CON MEZCLA
DE FIBRAS COMERCIALES**

ANGELA PATRICIA PÉREZ LEMUS

1.052.379.593

RUBEN DARÍO GARCÍA REINA

80.796.480

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO
DE: INGENIERO DE ALIMENTOS**

DIRECTORA:

QUÍMICA DE ALIMENTOS. GOLDA MEYER TORRES

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERÍA**

DUITAMA

2013

Nota de Aceptación

Galdames Lopez Jairo

Firma Director de Proyecto

J. A. R.

Firma del Jurado



Duitama, octubre de 2013

DEDICATORIA

ANGELA PATRICIA PEREZ LEMUS

*Dedicado a quien acaricia el sol en las noches
y camina sobre las estrellas, una a una.*

RUBEN DARIO GARCIA REINA

*A todos los que me apoyaron e
hicieron posible la culminación de esta etapa.*

AGRADECIMIENTOS

Química de Alimentos Golda Meyer Torres.

Profesor Esp. Dairo Gil

**Ingeniero Omar Rodríguez
Laboratorio de Farinografía Enzipan Laboratorios S.A.**

Ingeniera de alimentos Ángela Lorena Cano

**Ingeniero Néstor Torres
Panadería Ricopan.com**

**Asociación de productores agroindustriales
Asofrucampo**

Familiares, compañeros y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PROBLEMA.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1 FIBRA DIETÉTICA	7
4.1.1 Clasificación de la fibra dietética.....	7
4.1.1.1 Fibra soluble	7
4.1.1.2 Fibra insoluble.	8
4.1.1.3 Propiedades funcionales de la fibra en el organismo	9
4.2 HARINA DE TRIGO (<i>Triticum aestivum</i> L)	10
4.2.1 Clasificación de la harina de trigo.....	10
4.2.1.1 Harinas fuertes	10
4.2.1.2 Harinas débiles	11
4.2.2 Composición Físico química harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L).....	12
4.2.2.1 Almidón.....	13
4.2.2.2 Lípidos	17
4.2.2.3 Pentosanos.....	17

4.2.2.4 Cenizas.....	19
4.2.2.5 Proteínas	20
4.3 PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN	30
4.3.1 Pan	30
4.3.2 Panes con fibra.....	30
4.3.3 Procedimiento de panificación.	30
4.3.4 Bioquímica del pan.	33
4.4 REOLOGIA.....	34
4.4.1 Equipos para la medición de las características reológicas.....	35
4.4.1.1 Alveógrafo.	35
4.4.1.2 Pruebas Alveograficas.....	36
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
5.1 MATERIALES.....	40
5.1.1 Materia primas.....	40
5.1.1.1 Harina de trigo (Triticum aestivum L).....	40
5.1.1.2 Fibra Comercial	41
5.2 MÉTODOS.	41
5.2.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas	41
5.2.3 Prueba de Panificación.....	41
5.2.4 Prueba alveográfica.....	42
5.2.5 Evaluación sensorial.....	42
6. DISEÑO ESTADÍSTICO	43
6.1 DESCRIPCION METODOLOGICA ESTADÍSTICA DE LOS DATOS.....	43
6.1.1 Resultados de la caracterización física y química.	43

6.1.2 Resultados de las pruebas alveográficas	43
6.2 DESCRIPCION DEL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE ALEATORIZADOS CON MÚLTIPLE RESPUESTA.....	44
6.3 HIPÓTESIS	46
6.3.1 Hipótesis general de trabajo	47
6.3.2 Hipótesis estadística.....	47
6.4 VARIABLES.....	47
6.4.1 Variable independiente.	47
6.4.2 Variables dependientes.	47
6.4.2.1 Parámetro de presión máxima $Y_1 = "P"$ (mm de agua (H ₂ O)	48
6.4.2.2 Promedio de la abscisa de ruptura $Y_2 = "L"$ (mm).....	48
6.4.2.3 Índice de hinchamiento $Y_3 = "G"$	48
6.4.2.4 Fuerza o Energía de deformación $Y_4 = "W"$ (10-4J)	48
6.4.2.5 Relación $"P/L" = Y_5$	49
6.4.2.6 Índice de elasticidad $Y_6 = I_e$ (%).....	49
6.4.3 Variables ruido.....	49
6.4.4 Variables controlables	49
7. RESULTADOS	51
7.1 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA MATERIA PRIMA.....	51
7.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR DESEMPEÑO EN PLANTA	52
7.3 EVALUACIÓN DEL PUNTAJE	53
7.4 PRUEBAS ALVEOGRÁFICAS	55
7.4.1 Tenacidad de la masa.	55
7.4.2 Extensibilidad de la masa	58

7.4.3 Plasticidad de la masa.....	61
7.4.4 Fuerza de la masa	62
7.4.5 Equilibrio P/L de la masa.....	65
7.4.6 Índice de elasticidad de la masa.....	66
8. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	68
8.1 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA.....	68
8.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR DESEMPEÑO EN PLANTA	72
8.3 EVALUACIÓN DEL PUNTAJE.	72
8.4 PRUEBAS ALVEOGRÁFICAS	74
8.4.1 Tenacidad de la masa.	74
8.4.2 Extensibilidad de la masa	76
8.4.3 Plasticidad de la masa.....	78
8.4.4 Fuerza de la masa	79
8.4.5 Equilibrio P/L de la masa.....	80
8.4.6 Índice de elasticidad de la masa.....	82
9. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	84
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES.....	96
ANEXOS.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	151

Lista de tablas

Tabla 1. Composición química harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L).....	12
Tabla 2. Clasificación de las proteínas de trigo.....	20
Tabla 3. Eventos que ocurren durante la cocción del pan	32
Tabla 4. Componentes de una masa de panadería y su función	32
Tabla 5. Variables de estudio.....	46
Tabla 6. Resultados Caracterización fisicoquímica de las muestras de harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L).	51
Tabla 7. Ensayo prueba de panificación	52
Tabla 8. Resultados de aplicación en panificación harina de trigo 1. Indupan.....	53
Tabla 9. Resultados de aplicación en panificación harina de trigo 2. Haz de oros.....	54
Tabla 10. Resultados pruebas Alveográficas.....	55
Tabla 11. Estadísticos descriptivos variable tenacidad.....	55
Tabla 12. ANOVA variable Tenacidad (Inray)	56
Tabla 13. Resumen descriptivo estadístico de la extensibilidad	58
Tabla 14. Anova variable extensibilidad.....	58
Tabla 15. Resumen descriptivo de la variable plasticidad	61
Tabla 16. ANOVA variable plasticidad	61
Tabla 17. Resumen descriptivo de la variable fuerza Descriptivos	62
Tabla 18. Anova variable fuerza, pruebas de los efectos inter-sujetos	63
Tabla 19. Anova variable equilibrio de la masa P/L - Pruebas de los efectos inter-sujetos	65
Tabla 20. ANOVA índice de elasticidad de las masas - Pruebas de los efectos inter-sujetos	66
Tabla 21. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su fuerza e índice de equilibrio	67
Tabla 22. Prueba sensorial pregunta le gusta Si/No	85
Tabla 23. Prueba sensorial Apariencia	86
Tabla 24. Prueba sensorial Textura	87

Tabla 25. Prueba sensorial Sabor.....	89
Tabla 26. Prueba sensorial Aroma.....	90
Tabla 27. Prueba sensorial Color.....	92
Tabla 28. Prueba sensorial Preferencia.....	93

Lista de figuras

Figura 1. Porción de una molécula de celulosa	8
Figura 2. Estructura de la hemicelulosa.....	9
Figura 3. Extensibilidad Masa.....	11
Figura 4. Estructuras de amilosa y amilopectina.....	14
Figura 5. Cambios que experimenta el granulo de almidón-agua durante un calentamiento, enfriamiento y almacenamiento.....	16
Figura 6. Residuos de Xilosa	18
Figura 7. Subunidad de gluteninas de alto peso molecular	24
Figura 8. Modelo estructural propuesto para el gluten.....	25
Figura 9. Enlaces disulfuro gliadina y glutenina,.....	27
Figura 10. Factores que determinan la calidad del gluten	29
Figura 11. Alveógrafo de Chopin	36
Figura 12. Comportamiento grafico del Alveógrafo de Chopin	37
Figura 13. Diagrama de la curva de extensión biaxial	39
Figura 14. Harinas de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L) estudiadas.....	40
Figura 15: Fibra comercial Col Clean.....	41
Figura 16. Optimización de la calidad y del rendimiento.....	53
Figura 17. Comportamiento de las harinas en panificación.	54
Figura 18. Representación gráfica parámetro Tenacidad.	56
Figura 19. Alveogramas harina 1:.....	57
Figura 20: Alveogramas harina 2: Fuente.....	57
Figura 21. Extensibilidad.....	59
Figura 22. Alveogramas harina 1:.....	60
Figura 23. Alveogramas harina 2:.....	60
Figura 24. Plasticidad	62
Figura 25. Fuerza.....	63
Figura 26: Alveogramas harina 1:.....	64

Figura 27. Alveogramas harina 2	64
Figura 28. Equilibrio	65
Figura 29. Índice de Elasticidad	66
Figura 30. Gráfica prueba sensorial pregunta le gusta Si/No.....	85
Figura 31. Prueba sensorial Apariencia	86
Figura 32. Prueba sensorial Textura.....	88
Figura 33. Prueba sensorial Sabor	89
Figura 34. Prueba sensorial Aroma	91
Figura 35. Prueba sensorial Color	92
Figura 36. Prueba sensorial Preferencia.....	93

Lista de anexos

ANEXO 1. Contenido Nutricional De La Harina De Trigo (<i>Triticum Aestivum</i> L.)...	98
ANEXO 2. Registro Sanitario Harina De Trigo Indupan	102
ANEXO 3. Registro Sanitario Harina De Trigo Haz De Oros	103
ANEXO 4. Registro Sanitario Colclean	104
ANEXO 5. Diagrama De Flujo Proceso General.....	105
ANEXO 6. Ficha Técnica Inframatic	106
ANEXO 7. Protocolo Caracterizacion Fisicoquimica En Inframatic.....	107
ANEXO 8. Proceso De Panificacion	113
ANEXO 9. Ficha Técnica Alveo-Consistografo	114
ANEXO 10 Protocolo Prueba Alveográfica	115
ANEXO 11. Formato Encuesta Evaluación Sensorial.....	128
ANEXO 12 Analisis De Tenacidad.....	130
ANEXO 13. Analisis Extensibilidad	134
ANEXO 14. Analisis Plasticidad.....	138
ANEXO 15. Analisis Fuerza	141
ANEXO 16. Analisis De Equilibrio P/L	144
ANEXO 17. Analisis De Indice De Elasticidad	148

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE DOS MUESTRAS DE HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L) ACONDICIONADA CON MEZCLA DE FIBRAS COMERCIALES

INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los tres cereales más cultivados globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la Antigüedad. El grano del trigo se utiliza para hacer harina blanca, harina integral, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de estos, como pan, galletas, cerveza, whisky, pasta, cereales de desayuno, aperitivos, etc.

Hoy en día, hay una creciente demanda de los consumidores de productos a base de harina de trigo con menor densidad calórica y mayores niveles de fibra dietética. La fibra dietética es un grupo de hidratos de carbono resistentes a la digestión de las enzimas del tracto intestinal humano, por lo que la inclusión de estas fibras en la dieta diaria, imparte varios beneficios para la salud tales como la prevención o la reducción de los trastornos intestinales y disminuir el riesgo de enfermedad cardíaca coronaria, la diabetes tipo 2, entre otras.

Para determinar los cambios que se presentan en la red proteica de la harina de trigo y en las operaciones necesarias para la elaboración del pan, como el amasado, la manipulación de las masas o la fermentación al adicionar fibra dietética, es importante realizar pruebas reológicas que simulen dichos cambios.

La reología de los alimentos, estudia la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados en la industria de alimentos. La

ciencia de la reología tiene varias aplicaciones en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos

En el presente estudio se encontrará el estudio reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) acondicionadas con fibra comercial al 5%, a través de análisis alveográfico (Alveógrafo de Chopin, Método AACC 54-30 A), en el cual se determinan variaciones de: Tenacidad (P) la cual se relaciona con la resistencia a la deformación, Extensibilidad (L), la propiedad de la masa a recuperar la forma y la extensión; Plasticidad (G) o facilidad de la masa para tomar una nueva forma; Fuerza (W) o energía de deformación, Equilibrio P/L (relación Tenacidad/Extensibilidad) e Índice de elasticidad (Ie) que es la resistencia opuesta a romperse y está directamente relacionada con la tenacidad.

Se identificará la relación de las variables analizadas en relación con el efecto causado sobre las proteínas del gluten (gliadinas y gluteninas) y determinar así, si las muestras usadas continúan con o no las características reológicas óptimas para ser utilizadas en la industria panadera al adicionar 5% de fibra comercial.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

El consumo de fibra en la dieta occidental presenta una ingesta muy por debajo de lo recomendado, la cual tan solo alcanza entre 15 a 20 g/día (Valenzuela & Maiz, 2006). De acuerdo a estudios realizados por la American Dietetic Association (Asociación Americana de Dietética, 2009), la recomendación de consumo de fibra para adultos es de 20 a 35 g/día o de 10 a 13 gramos de fibra por cada 1.000 calorías.

Potencializar el consumo de fibra a través de la adición de ésta en productos panificables puede ser una alternativa en nuestro país, teniendo en cuenta que el consumo de trigo en Colombia por cada habitante al año es de 34 kilos de productos panificables, 2,5 kilos de galletas y 2,9 kilos de pasta; alimentos que representan el 1,7% del total del gasto de un colombiano de ingresos promedio y el 2,4% de uno de ingresos bajos (ANDI, 2011.), destacándose el alto consumo de productos panificables.

Para la industria panadera es de vital importancia evaluar el comportamiento reológico de las masas de harina de trigo (*Triticum aestivum* L), ya que influye de manera directa en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de productos terminados, factores que al no ser tenidos en cuenta, pueden afectar en gran medida la industria panadera.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La adición de fibra comercial Colclean en dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) puede modificar las propiedades reológicas del pan durante el proceso panificación?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) acondicionada con fibra comercial “Colclean”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física y químicamente la materia prima para determinar parámetros como humedad, índice de gluten, falling number, fibra dietaria, cenizas, absorción, almidón dañado, proteína, índice de dureza, granulometría, hierro, bromatos y zeleny.
- Evaluar el comportamiento reológico de muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) acondicionadas con fibra comercial (Colclean) a través de pruebas alveográficas.
- Determinar estadísticamente diferencias significativas entre la harina de trigo (*Triticum aestivum* L) comercial y las harinas acondicionadas con fibra comercial.

3. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, los hidratos de carbono no digeribles como la fibra dietética han atraído el interés de los científicos y tecnólogos de alimentos debido a sus varias ventajas fisiológicas. La inclusión de estas fibras en la dieta diaria imparte varios beneficios para la salud tales como la prevención o la reducción de los trastornos intestinales, y disminuir el riesgo de enfermedad cardíaca coronaria y la diabetes tipo 2. (Mudgil y Barak, 2.013)

La tendencia a nivel mundial es el consumo de alimentos que mejoren las condiciones de vida de los consumidores, la evidencia científica actual sugiere para adultos un consumo de 20 a 35g de fibra dietaría por día, lo cual mejoraría diferentes trastornos fisiológicos y distintas enfermedades del tracto gastrointestinal por carencia de falta de consumo, ya que los hábitos de ingesta de fibra dietaría se encuentran tan solo entre 15 a 20 g/día (Valenzuela & Maiz, 2.006). Estos alimentos también son llamados alimentos funcionales, semejantes en apariencia física a un alimento convencional, con la diferencia de producir efectos metabólicos o fisiológicos que ayudan a reducir el riesgo de enfermedades coronarias, intestinales, cáncer, diabetes, osteoporosis. También se consideran alimentos funcionales aquellos fortificados con nutrientes o suplementos fotoquímicos o botánicos (Valencia y Roman, 2004).

“La fortificación de las harinas de trigo y de maíz es una estrategia preventiva basada en la alimentación, que busca mejorar los valores de micronutrientes en poblaciones a lo largo del tiempo” (OMS, 2009, pag.1), además se presenta como la estrategia para ofrecer al consumidor productos funcionales, innovando así en la industria panadera y aumentado el consumo de los mismos en la población colombiana.

Es importante resaltar que el consumo de pan en Colombia es muy inferior, comparando con otros países: Según Rafael España, director de Estudios Económicos de la Federación Nacional de Comerciantes (Fenalco), en el país el consumo de pan por persona es del orden de los 23 kilogramos al año. Mientras que en otros países como Chile ese consumo llega a 98 y en Argentina a 73, Turquía y Alemania superan los 120. La causa de la baja penetración del producto, de acuerdo a Rafael España, se debe a varios factores, pero el principal problema que enfrenta la industria es la ausencia de panaderos de vanguardia que se aparten de los convencionalismos y empiecen a innovar en los productos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 FIBRA DIETÉTICA

“La fibra dietética está constituida por un grupo heterogéneo de sustancias de origen vegetal que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, pero que sufren una digestión parcial o total en el colon.” (Valenzuela & Maiz, 2.006, pag. 342).

Escudero (2006) añade a la definición de la fibra dietética el nuevo concepto de fibra funcional, que incluye otros hidratos de carbono resistentes a la digestión de las enzimas del tracto intestinal humano, como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos (fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y xilooligosacáridos) y disacáridos como la lactosa, definiendo como fibra total a la suma de fibra dietética y más fibra funcional. Es decir, que ésta contenga componentes o elementos fisiológicamente activos (García et al 2008 citado por Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010).

4.1.1 Clasificación de la fibra dietética. La fibra dietética puede clasificarse de acuerdo a su solubilidad en agua como solubles e insolubles. Sus propiedades y efectos fisiológicos están determinados principalmente por las proporciones que guardan estas dos fracciones, sin importar su origen (López y Marcos, citado por Sánchez 2005, p. 7).

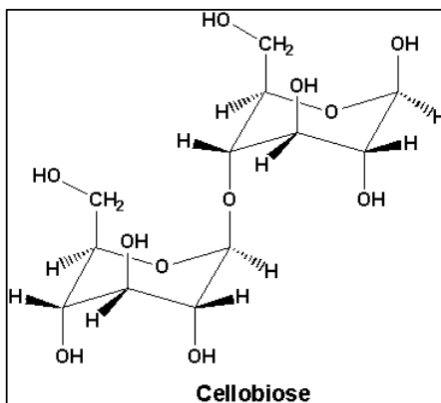
4.1.1.1 Fibra soluble (FS). Forma una dispersión en agua; la cual conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal, que tienen la propiedad de retardar la evacuación gástrica, puede ser saludable en algunos casos,

haciendo más eficiente la digestión y absorción de alimentos y generando mayor saciedad. Este tipo de fibra es altamente fermentable y se asocia con el metabolismo de carbohidratos y lípidos (De la Llave 2004). La fibra soluble contiene mayoritariamente, polisacáridos no-celulósicos tales como la pectina, gomas, algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y mucilagos (Córdoba 2005). Esta fibra se encuentra en altas concentraciones en frutas y algas marinas (Lajolo et al 2001).

4.1.1.2 Fibra insoluble. Esta fibra no se dispersa en agua, está compuesto de celulosa, (Figura 1), hemicelulosas (Figura 2) (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y ligninas (Priego 2007). Las fuentes de este tipo de fibra se pueden encontrar mayoritariamente en verduras, cereales, leguminosas y en frutas (Nelson, citado por Zúñiga 2005).

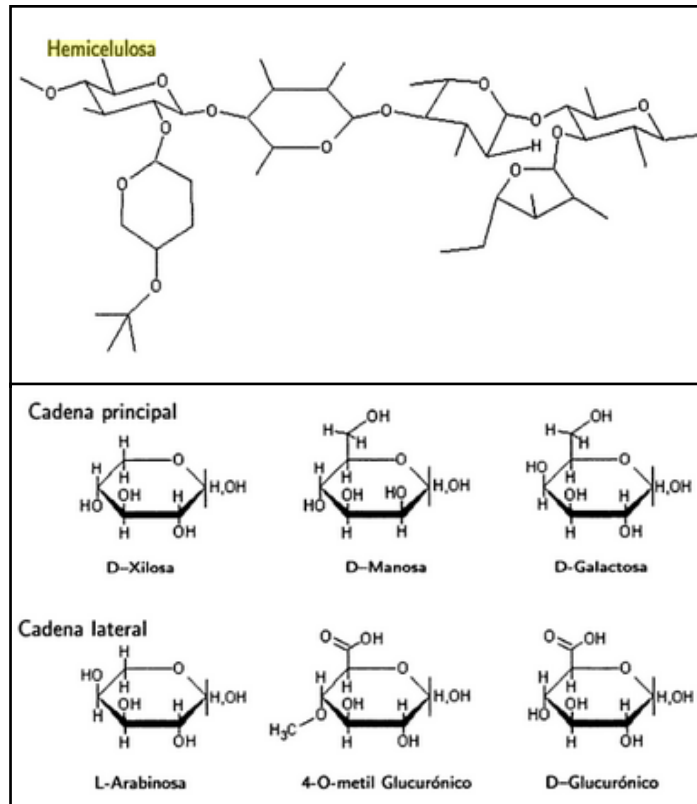
La fibra alimentaria se encuentra en las frutas (pera, fresa, mora, frambuesa, grosella y naranja), las verduras (col de Bruselas, alcachofa, cebolla, ajo, maíz, guisantes, judías verdes y brécol, etc.), las legumbres (lentejas, garbanzos, alubias, etc.) y los granos de cereal enteros (salvado de trigo, de avena, pan de cereales integrales o multi-cereales, etc.).

Figura 1. Porción de una molécula de celulosa



Fuente: Leninger (2002). Bioquímica. Londres, Mac Graw Hill. Citado por Torres (2012)

Figura 2. Estructura de la hemicelulosa.



Fuente: Van Soest, 1982 y Olds 1986. Citado por Pabón (2004).

4.1.1.3 Propiedades funcionales de la fibra en el organismo. La fibra realiza un papel en todas las funciones del sistema digestivo desde la masticación hasta la evacuación de las heces.

Las dietas con un contenido en fibra elevado requieren más tiempo de masticación por lo que enlentecen la velocidad de deglución y esto implica una mayor salivación que va a repercutir en la mejora de la higiene bucal. A nivel del estómago las fibras solubles, como consecuencia de su viscosidad, enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad. En el intestino delgado la fibra soluble, nuevamente por la formación de soluciones viscosas, enlentece el tiempo de tránsito. También aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana

del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos (cools, 2006, pp. 71-72). Así mismo, se producirá una disminución en la absorción de los ácidos biliares ya que estos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos. Esto puede alterar la formación de micelas y la absorción de las grasas. Como consecuencia de la depleción de ácidos biliares pueden disminuir los niveles de colesterol, al utilizarse éste en la síntesis de nuevos ácidos biliares (cools, 2006, p. 74).

Actúa como material de arrastre de los elementos de desecho que el organismo debe evacuar, combatiendo de este modo los problemas de estreñimiento. Nutre la flora bacteriana intestinal, lo que contribuye a la correcta actividad del intestino y previene algunas reacciones de tipo degenerativo.

4.2 HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L)

Definición de harina de trigo de acuerdo a la NTC 267: “principal producto obtenido de la molienda y cernido, del endospermo y capas internas del pericarpio de granos de trigo común *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o mezcla de ellos, con el fin de obtener un tamaño de partícula determinado” (Ver Anexo 1) (tabla 1).

4.2.1 Clasificación de la harina de trigo.

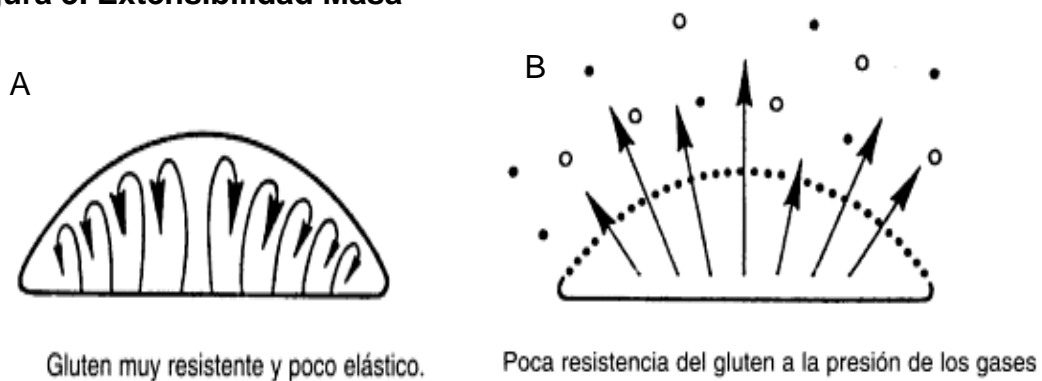
4.2.1.1 Harinas fuertes. Hay más glutenina y menor gliadina, de gluten muy tenaz, son inelásticas y defectuosas panificablemente, excesivamente fuertes y tenaces no son capaces de expandirse, son difícilmente mecanizables y producen panes redondeados pero con poco volumen (figura 3, A); su defectos se eliminan y se mejora notablemente su valor panadero, mezclándoles clases inferiores pero

con índole de elasticidad alto. Se considera una harina fuerte cuando hay mayor presencia de gliadina y menor de glutenina (Zhao et al 2.010), donde fuerza $W > 300J$ y relación $P/L < 1$.

4.2.1.2 Harinas débiles. Intensas en gasificación, dan un pan deficiente y son difíciles de trabajar en panadería; son muy elásticas pero de escasa consistencia, por su escasa capacidad de retención de gas, producen panes aplanados y muy densos (figura 3, B).

La tenacidad de las harinas se debe a la composición del gluten; las conocidas como fuertes producen masa cohesivas, que requieren tiempos de mezclado largos, y las llamadas débiles, que no desarrollan una estructura adecuada y colapsan al amasarse. Es práctica común el empleo de agentes oxidantes y reductores para regular la cantidad de los enlaces disulfuro cruzados que son parcialmente responsables de la propiedades reológicas de la masa; los agentes oxidantes que más se emplean son los peróxidos, los bromatos, los persulfatos y el ácido dehidroascórbico y entre los reductores destacan los sulfitos, la cisteína, el glutatión o cualquier otro compuesto que tenga grupos sulfhidrilo libres, como $\text{Ia}\beta$ - lactoglobulina de la leche.

Figura 3. Extensibilidad Masa



*A: Harina fuerte, B: Harina Débil

Fuente. (Calaveras, 2004, pág. 413)

4.2.2 Composición Físico química harina de trigo (*Triticum aestivum* L). La composición promedio de la harina es 67-75% de almidón, 2 % de lípidos, 2-3% de pentosanos (arabinoxilanos y arabinogalactanos), 0,5% de sales, 14% de agua y 10-12% de proteínas, de las cuales 85% son gliadinas y gluteninas y 15% albúminas y globulinas. El 73 % de la harina obtenida se utiliza en la fabricación de pan, siendo las harinas de trigo y en menor grado la de centeno las únicas que resultan panificables (anexo 1).

Esta particularidad de la harina de trigo se debe a las características de las proteínas: gliadinas y gluteninas presentes en el grano (Lindsay y Skerritt, 1999; Shewry y col, 2001).

Tabla 1. Composición química harina de trigo (*Triticum aestivum* L)

	Harina 100% extracción (%)	Harina 75% extracción (%)
Proteínas (gluten)	= 12 a 13,5	= 11 o 8
Grasas (lípidos)	= 2,2	= 1 a 2
Almidón (h. carbono)	= 67	= 71
Cenizas (m. mineral)	= 1,5	= 0,55 a 0,65
Vitaminas (B y E)	= 0,12	= 0,03
Humedad (agua)	= 13 a 15	=13 a 15
Fibra (salvado)	= 11	= 3
Azúcares simples	= 2 a 3	= 1,5 a 2,5

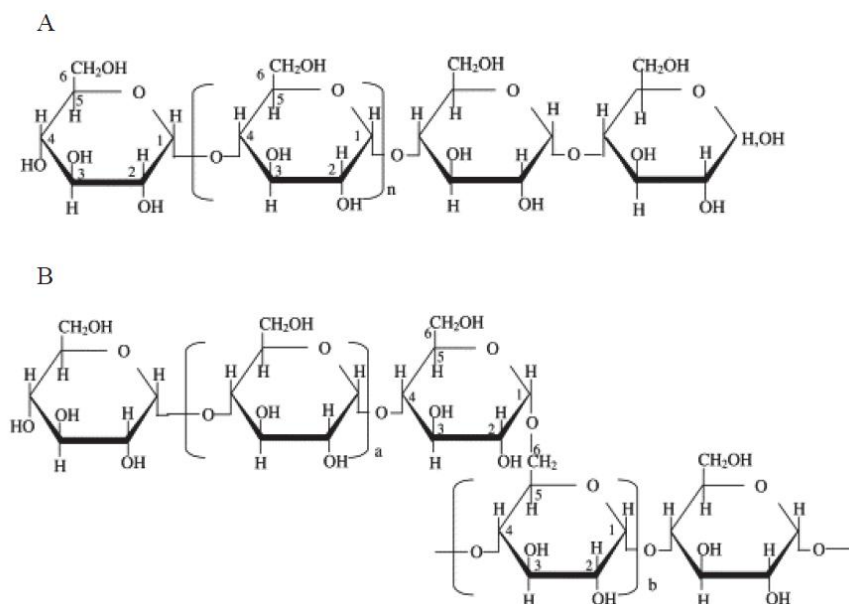
Fuente:(Calaveras, 2004, pág. 55)

4.2.2.1 Almidón.

- **Estructura.** El almidón es el polisacárido de reserva del grano de trigo y se encuentra en las células del endosperma empaquetado en forma de gránulos. Está compuesto por dos polímeros de glucosa: amilosa en un 25 % y amilopectina en un 75 %, por lo que estos representan aproximadamente el 15 y el 50 % de la harina, respectivamente. La amilosa está formada por residuos de glucosa unidos a través de enlaces $\alpha(1 - 4)$ (Figura 4), aunque en los últimos años se han encontrado moléculas de amilosa levemente ramificadas a través de enlaces $\alpha(1 - 6)$, éstas se encuentran en muy baja proporción (Hizukuri y col., 1981; Shibamura y col., 1994). El grado de polimerización de la amilosa se encuentra entre 500 y 6000 residuos de glucosa y sus cadenas presentan una estructura helicoidal, en la cual los grupos hidroxilo están orientados hacia el exterior, estableciéndose en el interior un ambiente no polar en el cual pueden incluirse moléculas tales como los ácidos grasos. La amilopectina es un polímero altamente ramificado formado por cadenas de residuos de glucosa unidos a través de enlaces $\alpha(1 - 4)$ las cuales se unen a través de enlaces $\alpha(1 - 6)$, estableciéndose de este modo las ramificaciones (Figura 4.B). El grado de polimerización de la amilopectina se encuentra entre 3×10^5 y 3×10^6 residuos de glucosa, sus cadenas se clasifican en A,B,C, en base a la presencia de ramificaciones y extremos reductores y presentan una estructura en clusters.

En la harina de trigo hay una distribución bimodal en el tamaño de los gránulos de almidón, los gránulos de menor tamaño son esféricos y con diámetros de hasta 10 μm mientras que la población de gránulos de mayor tamaño presenta un tamaño de hasta 20 μm y un aspecto lenticular (Karlsson y col., 1983; Moon y col., 1993). Al observarlos con un microscopio de luz polarizada presentan birrefringencia con forma de cruz de Malta, la cual refleja el arreglo radial de las moléculas de almidón en el gránulo alrededor del centro biosintético, (Jane, 2004 Correa, 2012, p. 14).

Figura 4. Estructuras de amilosa y amilopectina.



* A) amilosa B) amilopectina

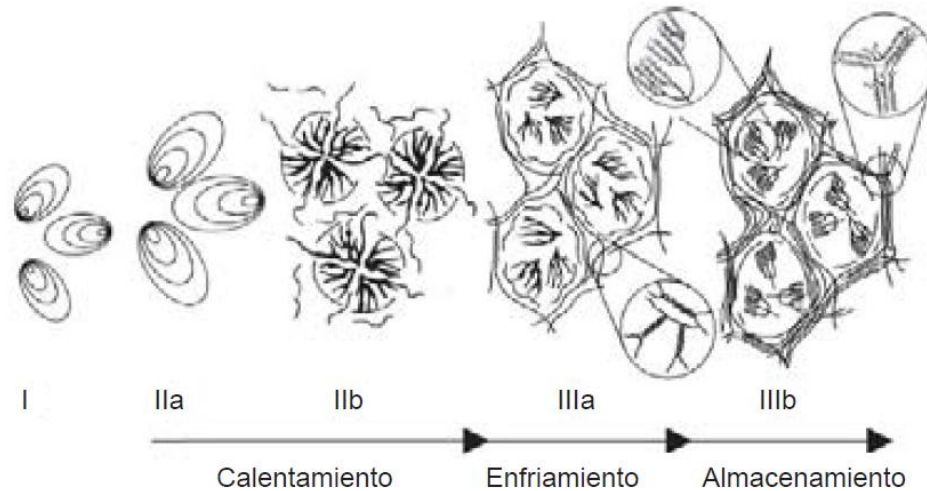
Fuente: (Correa, 2012, p. 14)

El gránulo de almidón presenta una estructura semicristalina dado que es posible distinguir zonas amorfas y cristalinas (20-40%) alternadas. Las zonas amorfas son menos densas y están conformadas principalmente por la amilosa mientras que las zonas cristalinas están formadas principalmente por doble hélices de amilopectina.

Si se prepara una suspensión de almidón en exceso agua a temperatura ambiente los gránulos de almidón pueden absorber parte del agua incrementando su tamaño un 10- 30% (Dengate, 1984). Si esta suspensión se calienta, ocurre un fenómeno irreversible conocido como gelatinización (Figura 5), en el cual se pierde el orden molecular y el gránulo de almidón pierde la birrefringencia. La gelatinización comienza en las zonas amorfas ya que los enlaces de hidrógenos son más lábiles en estas zonas y permiten la entrada de agua al gránulo por lo

que comienza a hidratarse y se hincha. Además, ocurre la disociación de la doble hélice de moléculas de amilopectina, la fusión de las zonas cristalinas y la salida de moléculas de amilosa lo que ocasiona un incremento de la viscosidad de la suspensión. Para el almidón de trigo la gelatinización determinada por calorimetría diferencial de barrido (DSC), cuando se encuentra en exceso de agua, se presenta como una única endoterma y suele comenzar aproximadamente a los 50°C y finalizar cerca de los 80°C. Mientras que en los sistemas en donde el agua es limitante se observa un aumento del rango de temperatura de gelatinización y un desdoblamiento de la endoterma. (Ghiasi, 1982) Si se continúa incrementando la temperatura o se realiza un esfuerzo de cizalla la estructura remanente del gránulo sigue dañándose y también continúa la salida de amilosa. Al enfriar la pasta así obtenida ocurre la gelación de la amilosa (Figura 5,IIIa) debido a la formación de una estructura de doble hélice entre las moléculas, obteniéndose una matriz de amilosa continua en la cual se encuentran embebidos gránulos de almidón gelatinizados enriquecidos en amilopectina o sus remanentes. La recristalización de la amilosa y la amilopectina se conoce como retrogradación (Figura 5, IIIb). El proceso ocurre en el término de horas en el caso de la amilosa y es más lento – días a semanas- para la amilopectina. La retrogradación de la amilopectina ocurre en los gránulos gelatinizados o en los remanentes.

Figura 5. Cambios que experimenta el granulo de almidón-agua durante un calentamiento, enfriamiento y almacenamiento.



* I) Almidón nativo, II) Gelatinización, IIIa) Gelación, IIIb) Retrogradación.

Fuente: (Correa, 2012, p. 16)

- **Rol del almidón en la panificación.** Durante el amasado el almidón absorbe cerca del 40% del agua (Stauffer, 1998) y actuaría como relleno en la matriz de la masa contribuyendo a aumentar su viscoelasticidad. Se ha propuesto que en la masa el almidón y las proteínas del gluten se encontrarían formando fases diferentes (Tolstoguzov, 1997).

En la harina de trigo hay hasta un 15% de gránulos de almidón dañados, los cuales presentan grietas y fisuras producidas durante la molienda. Los gránulos dañados absorben hasta 4 veces más agua que los gránulos intactos y en la etapa de fermentación son más susceptibles a la acción de la enzima α -amilasa por lo que modifican las características de la masa en la fermentación (Howitt y col., 2003; Hajsellová, 2003; Stauffer, 1998) ya que a partir de su hidrólisis se forma glucosa que servirá de sustrato para las levaduras.

Durante el horneado ocurre la gelatinización del almidón determinando de este modo el volumen alcanzado por el pan y contribuyendo a fijar la estructura alveolar de la miga (Eliasson, 2003). En el almacenamiento, el almidón es el mayor responsable del endurecimiento del pan debido al fenómeno de retrogradación (Pateras, 1998).

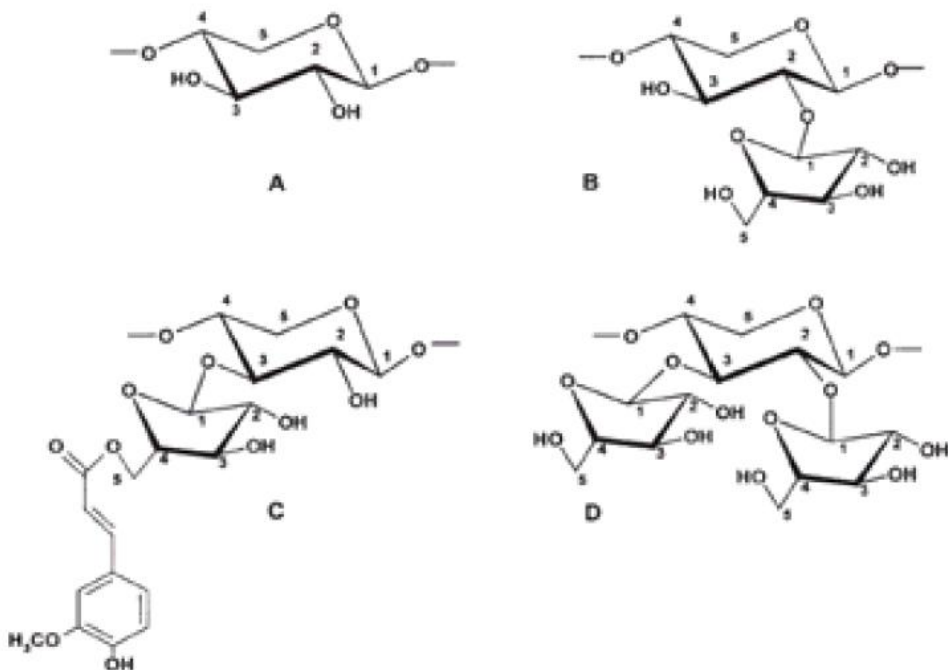
4.2.2.2 Lípidos. Los lípidos representan aproximadamente el 2,5 % de la harina; de los cuales el 1% son apolares y están formados por triglicéridos, diacilglicéridos, ácidos grasos libres y ésteres de colesterol; el 1,5% restante son lípidos polares y están formados por glicéridos de galactosa (0,6%) y fosfolípidos (0,9%), los cuales forman complejos de inclusión con la amilosa.

- **Rol de los lípidos en panificación.** Los lípidos que se encuentran complejos con la amilosa no están disponibles para afectar el procesamiento durante el amasado. Mientras que los que se encuentran libres pueden interaccionar uniéndose al gluten o a la superficie de los gránulos de almidón. Los lípidos polares influyen en el comportamiento del pan en el horneado y en el volumen de pan obtenido ya que aumentan la retención de gas estabilizando los alvéolos de la miga. La mayor estabilidad se debe a la formación de una monocapa lipídica en la interface gas/líquido de la masa (Sroan y col., 2009). Los ácidos grasos poliinsaturados pueden ser oxidados por la lipooxigenasa dando lugar a radicales libres e hidroperóxidos que pueden oxidar a carotenoides y proteínas afectando al color de la miga y a las propiedades reológicas (Chung y col., 1978) (Correa, 2012, p. 17).

4.2.2.3 Pentosanós. A todos los polisacáridos no almidonosos presentes en la harina se los denomina en forma genérica como pentosanós ya que el 80% de los azúcares que los componen son pentosas: D-xilosa y D-arabinosa. También se los denomina hemicelulosas porque son los polisacáridos predominantes de las paredes celulares. Son sustancias complejas, cuyo esqueleto está formado por

residuos de D-xilosa unidos por enlaces β (1 - 4) al que se denomina xilano. El xilano puede estar sustituido en el carbono 2 ó en el carbono 3 por residuos de D-arabinofuranosa principalmente y en menor medida de glucosa, fructosa y manosa. Los residuos de arabinosa pueden estar a su vez, sustituidos en su C5 por ácido ferúlico (Fig.5). Un parámetro de caracterización es la relación arabinosa/xilosa cuyo valor típico es 0,5-0,6 (Cleemput, 1993).

Figura 6. Residuos de Xilosa



* A) residuo de xilosa, B) residuo de xilosa sustituido en el C2 con Darabinosa, C) residuo de xilosa sustituido en el C3 con D-arabinosa, la cual esta sustituida en el C5 por ácido ferúlico, D) residuo de xilosa sustituido en los carbonos 2 y 3 con un residuo de D-arabinofuranosa.

Fuente: (Correa, 2012, p. 18)

Se los clasifica en base a su solubilidad en agua como pentosanos solubles e insolubles en agua como se muestra en la Figura 6 Absorben muchas veces (10-15 veces) su peso en agua y forman soluciones muy viscosas motivo por el cual,

aunque representan sólo el 2-2,5 % de la harina tienen gran influencia en las propiedades de la masa.

- **Rol de los pentosanos en la panificación.** Existen resultados contradictorios en relación al efecto positivo o no de los arabinoxilanos en panificación. A pesar de que constituyen aproximadamente sólo el 2% de la harina retienen más de un cuarto del agua de la masa. Los pentosanos solubles en agua influyen en la viscoelasticidad de la masa y los insolubles aumentan la consistencia y dureza de la misma. Los arabinoxilanos insolubles disminuyen el tiempo de desarrollo y aumentan la resistencia a la extensión lo que apoyaría la hipótesis de que interfieren con la formación de la masa.

En el amasado, los residuos de ácido ferúlico se unen a las proteínas del gluten, generando entrecruzamientos y aumentando la elasticidad de la masa.

En la fermentación, los pentosanos colaborarían disminuyendo la velocidad de difusión de CO₂. Además, aumentarían la estabilidad de los alvéolos gaseosos debido a que incrementan la viscosidad de la fase acuosa estabilizando de este modo a los alvéolos de gas (Hoseney y Rogers, 1990). Durante el horneado, los arabinoxilanos solubles en agua estabilizarían los alvéolos por lo que se obtendrían mayores volúmenes de pan mientras que los insolubles disminuirían la calidad del mismo. Algunos autores postulan que durante el envejecimiento del pan los pentosanos tendrían un efecto positivo ya que debido a un efecto estérico interferirían con la asociación intermolecular de la amilosa y la amilopectina (Kim y col., 1977).

4.2.2.4 Cenizas. Las cenizas representan el contenido mineral de la harina. En el grano de trigo se hallan principalmente en las cubiertas externas y en el germen por lo que durante la molienda se reduce considerablemente su contenido en relación a las presentes en el grano. El contenido medio de cenizas de una harina

es aproximadamente 0,5% y está conformado principalmente por K, P, Mg, Ca, Na, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo y Co (Czerniejewski y col., 1964). Altos contenidos de cenizas pueden impartir un color oscuro al producto terminado por lo que se debe tener en cuenta al elegir la harina (Wheat Marketing Center, 2008).

4.2.2.5 Proteínas. Las proteínas de la harina de trigo se clasifican, al igual que para otros cereales, en base a su solubilidad según la secuencia de Osborne (Tabla 2). En el caso del trigo, a las prolaminas se las denominan gliadinas y a las glutelinas, gluteninas.

Tabla 2. Clasificación de las proteínas de trigo

Fracción de Osborne	Solvente de extracción	Función en la célula
Albuminas	Agua	Metabólica y estructural
Globulinas	Solución salina diluida	Metabólica y estructural
Gliadinas (prolaminas)	Solución alcohólica	Almacenamiento
Gluteninas (glutelinas)	Extraíbles en medio ácido o básico	Almacenamiento
Residuo insoluble	No extraíble	Almacenamiento

Fuente: (Correa, 2012, p. 38)

- **Proteínas hidrosolubles.** Las proteínas hidrosolubles representan entre el 15 y el 20 % de las proteínas totales y corresponderían a las albúminas y globulinas de la secuencia de Osborne. En estas fracciones se encuentran proteínas estructurales, enzimas, inhibidores enzimáticos, etc., pero con excepción de la α – amilasa no presentan gran relevancia en el proceso de panificación. La α – amilasa corta los enlaces glucosídicos (1 - 4) generando azúcares de bajo peso molecular que sirven de sustrato a las levaduras (Hajselová, 2003).

- **Proteínas del gluten.** Con el término de gluten se designa a la red que forman gluteninas y gliadinas hidratadas durante el amasado. Son las proteínas de reserva del grano de trigo y constituyen entre el 80 y el 85% de las proteínas totales. Un tercio de su composición aminoacídica se encuentra formado por residuos de glutamina, la cual puede establecer puentes de hidrógeno, un 14% por residuos de prolina la cual favorece la formación de hojas β plegadas y presentan muy pocos residuos básicos y ácidos por lo que la densidad de carga superficial es baja.

Estas proteínas son capaces de absorber gran cantidad de agua y de constituir una red deformable, elástica y extensible que puede retener los gases durante la fermentación y posterior cocción. Durante el amasado se producen interacciones no sólo entre las proteínas y el agua para formar la red de gluten, sino también entre otros componentes de la harina como almidón, polisacáridos no almidonosos (arabinoxilanos, arabinogalactanos) y lípidos (fosfo y glicolípidos) (Carr y col., 1992; Bettge y Morris, 2000; Lee y col., 2001). Estas interacciones permiten obtener una matriz viscoelástica capaz de formar, tras la cocción, el producto con características únicas que conocemos como pan.

- **Estructura de gliadinas y gluteninas.** Las gliadinas son proteínas monoméricas altamente polimórficas (se han separado más de 100 componentes) con masas entre 30-50 kDa que presentan solubilidad en soluciones alcohólicas y constituyen aproximadamente el 50 % del gluten. En base a su estructura y composición interaccionan a través de la formación de puentes de hidrógeno y el establecimiento de interacciones hidrofóbicas (Tatham y Shewry, 1995).

Se clasifican en base a su movilidad electroforética en geles de poliacrilamida en medio ácido (lactato PAGE) en 3 grupos denominados α/β -gliadinas, γ -gliadinas y ω gliadinas, siendo las proteínas de la fracción α/β las más rápidas y las γ -gliadinas las de menor movilidad. Las α/β y γ -gliadinas son ricas en azufre

mientras que las ω gliadinas son deficientes en azufre. Se conoce la secuencia completa de aminoácidos de las α y γ -gliadinas y se puede dividir su estructura en un dominio Nterminal pequeño, un dominio central repetitivo y un dominio C-terminal no repetitivo de aproximadamente 300 residuos. Las $\alpha/\beta\gamma\gamma$ -gliadinas presentan puentes disulfuro intracatenarios y una estructura más compacta. Las α -gliadinas contienen 6 residuos de cisteína, los cuales forman tres puentes disulfuro intracatenarios mientras que las γ -gliadinas tienen 8 residuos de cisteína y forman 4 enlaces disulfuro intracatenarios. Todos los residuos de cisteína se encuentran localizados en el extremo C-terminal (Lindsay y Skerritt, 1999). Las α/β y γ -gliadinas presentan masas moleculares entre 28 y 35 kDa.

Las ω -gliadinas consisten en secuencias repetitivas ricas en glutamina, que pueden formar puentes de hidrógeno con el agua, proteínas, almidón y otros componentes de la masa. A diferencia de las α/β $\gamma\gamma$ -gliadinas no tienen puentes disulfuro y no presentan una estructura compacta. Su estructura secundaria y sus interacciones (proteína-proteína o proteína- agua) se encuentran influenciadas por el grado de hidratación.

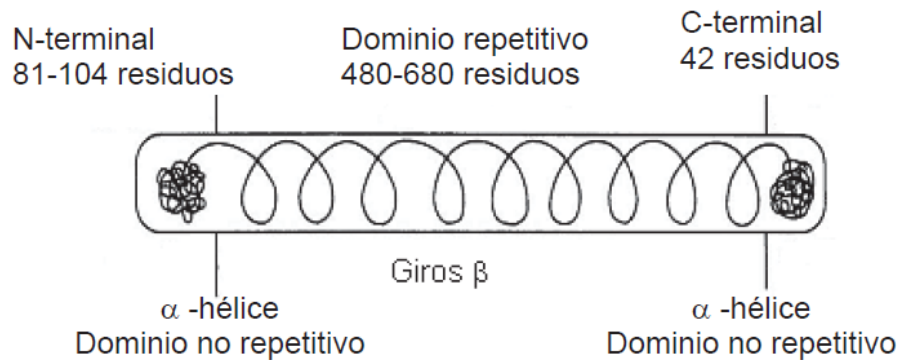
En las α/β y γ -gliadinas el contenido de glutamina es menor que el de las ω -gliadinas y la mayor parte se encuentran en la zona repetitiva por lo que queda muy restringida la cantidad de puentes de hidrógeno que pueden establecer en comparación con las ω gliadinas. Por otro lado, las gliadinas del tipo α ($\alpha+\beta$) tienen más glutamina que las γ (Fido y col., 1997).

Las gluteninas son una mezcla heterogénea de polímeros con pesos moleculares superiores a 1×10^6 . Se encuentran formadas por subunidades de alto (high molecular weight: HMW-GS) y bajo peso molecular (low molecular weight: LMW-GS) enlazadas por uniones disulfuro. La relación molar LMW-GS /HMW-GS es 2: 1. Si se reducen los puentes disulfuro, las subunidades de glutenina obtenidas presentan solubilidad en soluciones alcohólicas similar a la de las gliadinas.

Las HMW-GS (o subunidades A) se dividen en dos tipos X e Y, presentando las subunidades X masas entre 83 y 88 kDa y las subunidades Y entre 67 y 74 kDa. Presentan dominios no repetitivos en sus extremos N y C-terminales, encontrándose en estos la mayor parte de los residuos de cisteína. Ambos tipos de subunidades HMW-GS presentan un residuo de cisteína en el extremo C-terminal, en el extremo Nterminal las X tienen 3 mientras que las Y presentan 5 residuos de cisteína. El dominio central es repetitivo por lo cual forma giros β los cuales se pliegan en una estructura espiral o helicoidal mientras que los dominios no repetitivos N y C-terminales presentan estructura globular (Figura 7).

Las subunidades de bajo peso molecular se dividen según su movilidad molecular es SDS-PAGE en 3 tipos: B, C y D. Hay dos tipos principales de subunidades de LMW: m-LMW, que contienen metionina como primer aminoácido de la secuencia, y s-LMW, que tienen serina como primer aminoácido de la secuencia, ambas dentro de las subunidades del tipo B. Algunas de las secuencias N-terminales de C-LMW corresponden al tipo m-LMW mientras que otras presentan secuencias similares a las de las gliadinas por lo que se denominan α/γ -LMW. Las α/γ -LMW contienen un residuo de cisteína extra por el cual se unen covalentemente al polímero y como tienen un número impar de residuos de cisteína se denominan terminadores de cadena. Por otro lado, las B-LMW presentan un número par de residuos de cisteína por lo que se las denomina extendedores de cadena. Las D-LMW se piensa que se formaron por mutación en uno o más genes que codifican para las ω -gliadinas. Las secuencias repetitivas de las LMW representan aproximadamente el 30% de la estructura de la proteína, por lo que se diferencian dos dominios estructurales. Los giros β en el extremo N-terminal y un dominio central rico en prolina mientras que el extremo Cterminal contiene estructura hélice, la cual representa aproximadamente el 35% de la estructura de la proteína (Lindsay y Skerrett, 1999).

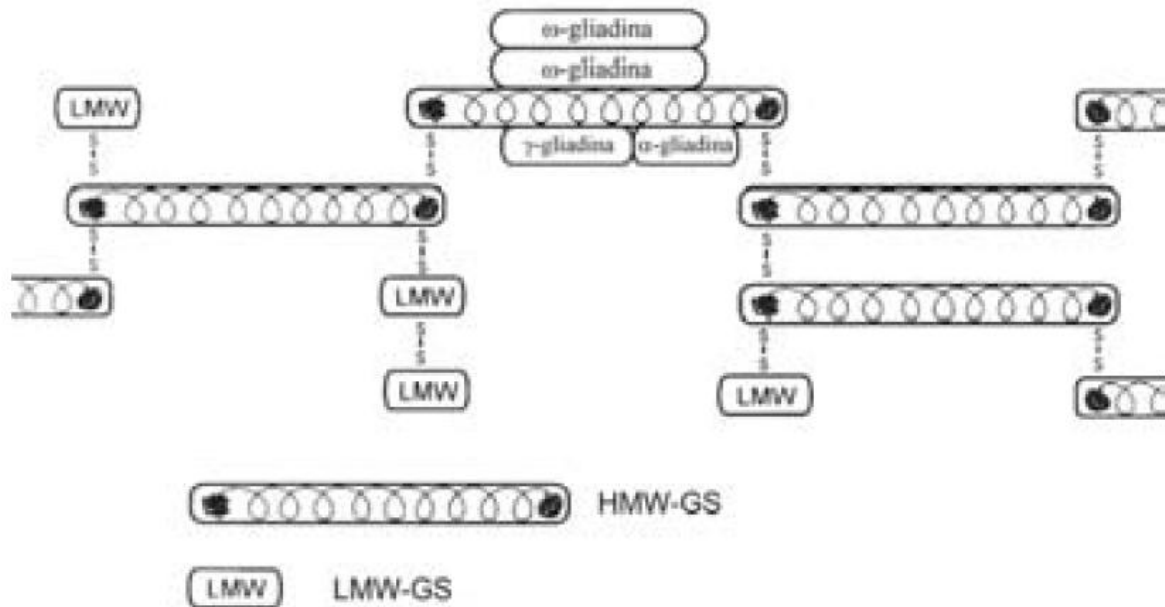
Figura 7. Subunidad de gluteninas de alto peso molecular



Fuente: (Correa, 2012, p. 28)

Aunque tanto en las gliadinas como en las gluteninas existen puentes disulfuro intracatenarios estabilizando su conformación, la capacidad de formación de puentes intercatenarios es exclusiva de las gluteninas por lo que se ha propuesto que en lamasa las HMW-GS forman el esqueleto del macropolímero a través de la formación de puentes disulfuro. La habilidad de las subunidades de glutenina para establecer enlaces disulfuro se deben a sus estructuras primaria y secundaria, ya que éstas determinan la existencia de residuos de cisteína, su disponibilidad para formar enlaces disulfuro y la capacidad de la subunidad para plegarse de la manera requerida y formar el enlace. Las HMW-GS son capaces de establecer enlaces disulfuro entre ellas y con las LMW-GS. En la Figura 8 se muestra el modelo estructural propuesto para el gluten, en el cual las HMW forman el esqueleto, un polímero formado a través de uniones disulfuro “cabeza-cola” entre HMW-GS que otorga las propiedades elásticas a la masa, y al cual las LMW-GS se unen a través de enlaces disulfuro formando las ramificaciones. En este esquema las gliadinas interaccionan a través de fuerzas no covalentes, las cuales contribuyen a la viscosidad del gluten.

Figura 8. Modelo estructural propuesto para el gluten



Fuente: (Correa, 2012)

Diversos autores han establecido diferentes rangos de masas moleculares para cada una de las fracciones proteicas, los que en muchos casos se superponen (Kruger y col., 1988; Singh, 1990; Lindsay y Skerit, 1999; Wieser y col., 2006; Wieser, 2007).

Esta situación puede atribuirse a que han empleado diferentes tipos de harina, distintos métodos de extracción, purificación y determinación de las masas moleculares (HPLC, electroforesis, etc.).

- **Rol en la panificación de gliadinas y glutenina.** En la fabricación del pan se mezcla la harina de trigo con todos los ingredientes necesarios, como agua, azúcar, mantequilla, sal, levadura, etc.; Durante el amasado la presencia de agua y la realización de un trabajo mecánico permiten la hidratación de gliadinas y gluteninas y se produce el desarrollo de una red viscoelástica, el gluten, se deja

reposar para que los azúcares, al fermentar, produzcan el anhídrido carbónico que hace aumentar el volumen, y finalmente se cuece.

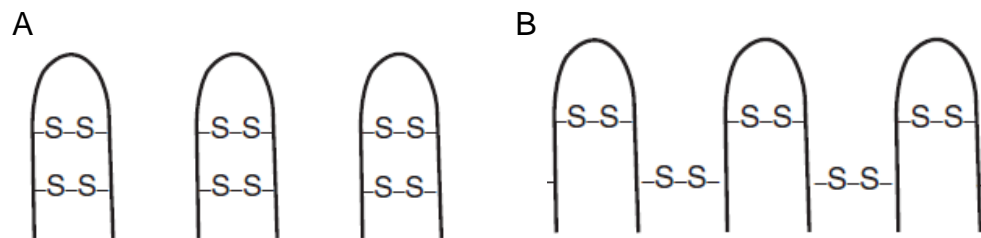
Esta capacidad de esponjamiento se debe principalmente a las proteínas, pero también influyen otros constituyentes como el almidón, los lípidos, etc. La harina contiene de 10 a 12% de proteínas, que al igual que las del maíz, son básicamente glutelinas y prolaminas del citoplasma de las células del endospermo, en donde actúan como componentes estructurales y de reserva de nitrógeno para el crecimiento; en menor proporción existen también otras, como albúminas y globulinas, que representan sólo aproximadamente 15% del total y cuyo peso molecular promedio es de 12000. La separación de cada una de las fracciones que integran las proteínas del trigo se pueden efectuar con base a la solubilidad.

Las glutelinas del trigo reciben el nombre de gluteninas, mientras que las prolaminas, el de gliadinas y ambas suman 85% de la fracción proteínica; éstas, junto con los lípidos y el agua forman el llamado gluten, responsable de las propiedades de cohesividad y de viscoelasticidad de la masa de panificación.

Las gliadinas solubles de etanol al 70% representan 50% del total de las proteínas; son una clase heterogénea de 40-60 polímeros que por electroforesis se han dividido en cuatro grupos ($\alpha, \beta, \gamma, \omega$), en una proporción de 15, 30, 30 y 25%, respectivamente. Sus cadenas simples tienen estructuras primarias con diferente composición de aminoácidos y su peso molecular varía de 15000 a 80000, con un promedio de 36000. Su conformación se estabiliza por enlaces disulfuro intramoleculares; al hidratarse forman una masa viscosa extensible, fluida pero poco elástica y son las responsables de la expansión de las masas durante la elaboración del pan. Cuando existe un exceso de gliadinas en relación con las gluteninas, el gluten se vuelve débil, permeable y no retiene el anhídrido carbónico; entonces la masa en vez de esponjarse se colapsa.

Se han identificado también 15 gluteninas en forma monomérica que tienen pesos moleculares desde 12000 hasta 135000 y que se caracterizan por su elevado número de enlaces disulfuro (aproximadamente 50 por molécula) (figura 9), que le confieren una gran estabilidad y permiten la asociación para formar polímeros de un peso molecular de varios millones. Son insolubles en soluciones salinas neutras y en etanol al 70%, solubles o dispersables en ácidos y en base débiles; al hidratarse producen una masa muy tenaz, elástica y cohesiva. Para elaborar el pan, estas proteínas deben estar en una proporción adecuada ya que en exceso el gluten presenta tanta cohesividad que inhibe la expansión de la masa y provoca una reducción del volumen final. (Dergal, 2006)

Figura 9. Enlaces disulfuro gliadina y glutenina,



***A:** Enlaces disulfuro intramoleculares de la gliadina de trigo, **B** Enlaces disulfuro intra e intermoleculares de la glutenina de trigo.

Fuente:(Dergal, 2006)

El gluten en su conjunto tiene una composición de aminoácidos de aproximadamente 6% ionizables, 45% polares y 49% apolares; se caracteriza por su elevado contenido de prolina y de glutamina (14 y 37%, respectivamente, del total de aminoácidos); la alta proporción de este aminoácido hace que los polipéptidos carezcan de una conformación helicoidal, lo que a su vez causa que el grupo amida de la glutamina tenga facilidad de establecer puentes de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares. Su baja concentración de aminoácidos

ionizables y el alto porcentaje de los hidrófobos hace que sea poco soluble a pH neutro. Contiene además un gran número de residuos de cisteína que le permite producir enlaces disulfuro intra e intermoleculares aun cuando las proteínas del trigo no forman una estructura tridimensional a base de enlaces covalentes.

Durante el amasado, manual o mecánico, las gluteninas y las gliadinas se desnaturalizan y establecen uniones disulfuro, hidrófobos e hidrófilas que hacen que estos polímeros se orienten longitudinalmente; los esfuerzos mecánicos inducen un intercambio de grupos azufrados entre las múltiples cisteínas. El resultado de este proceso es la formación de una red elástica y cohesiva necesaria para el esponjamiento ocasionado por la presión del CO₂. Dicha red se crea por una interacción de las gliadinas y las gluteninas y se estabiliza más por medio de un gran número de puentes de hidrógeno por parte de la glutenina, y de uniones hidrófobas y enlaces disulfuro intra e intermoleculares.

Por su parte, las albúminas y las globulinas del trigo desempeñan un papel importante en la formación de la costra del pan debido a que favorecen las reacciones de oscurecimiento no enzimático responsables del color y el aroma típicos de estos productos. Cabe indicar que tanto las gliadinas como las gluteninas contienen una cantidad muy baja de lisina, ya que 85% de este aminoácido se localiza en las albúminas y las globulinas.

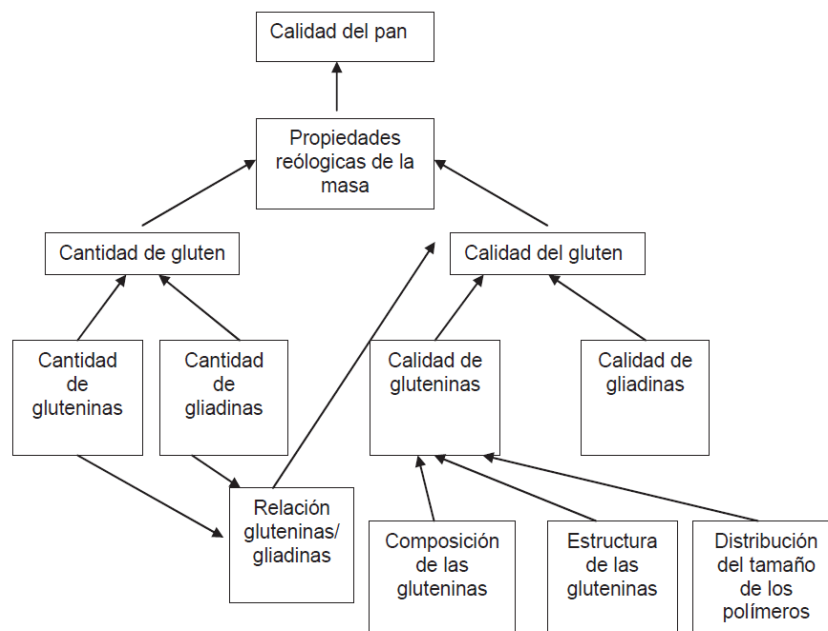
- **Factores que determinan la calidad del gluten.** Hay dos factores determinantes de la calidad del gluten para panificación (Figura 10): la relación gliadinas/gluteninas y la calidad de las gluteninas.

- 1) **Relación gliadina/glutenina.** La relación gliadinas/gluteninas es importante debido a que cumplen diferentes roles en la masa, mientras que las gluteninas otorgan resistencia a la deformación y elasticidad, las gliadinas actúan como

plastificantes otorgando plasticidad y viscosidad (Belton, 1999 y 2003). Para obtener un pan de buena calidad se necesita un balance adecuado entre viscosidad y tenacidad.

- 2) **Calidad de las gluteninas.** Se ha visto que es la fracción correspondiente a las gluteninas la que presenta mayor influencia en la calidad panadera ya que variaciones cualitativas y/o cuantitativas en sus subunidades ocasionan cambios en la misma (NG y Bushuk, 1988; Khan y col., 2002;). Las variaciones en la composición de las subunidades pueden dar lugar a diferentes interacciones covalentes que son las que determinan la elasticidad de las mismas y, a su vez, a diferentes estructuras poliméricas lo cual puede afectar su funcionalidad en el proceso de panificación. El grado de polimerización también es importante dado que según la teoría de polímeros sólo los que superan un determinado tamaño podrían contribuir a la elasticidad (Singh y MacRitchie, 2001).

Figura 10. Factores que determinan la calidad del gluten



Fuente: (Correa, 2012, p. 28)

4.3 PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

Son los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales, harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no pudiendo contener: sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudante, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares, pudiendo emplear o no aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura, con o sin relleno o con cobertura, pueden ser refrigerados o congelados.

4.3.1 Pan. Producto alimenticio resultante de la fermentación y horneado de una mezcla básica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L), agua, sal y levadura, que puede contener otros ingredientes, y/o aditivos permitidos por la legislación vigente. (NTC 1363).

4.3.2 Panes con fibra. Panes que contienen fibra proveniente de diferentes vegetales, por ejemplo: cereales como el trigo, leguminosas u oleaginosas. (NTC 1363).

4.3.3 Procedimiento de panificación. En la preparación habitual de la masa de panadería, a una mezcla apropiada de harinas (Tabla 4), se añade agua y cloruro de sodio y se amasan durante 10 a 20 minutos. El amasado permite la absorción de agua (por las proteínas y los gránulos triturados del almidón) y el desarrollo de la elasticidad y extensibilidad del gluten, debidos probablemente a la oxidación al aire de los grupos sulfhidrilo y el reagrupamiento de enlaces disulfuro. Entonces se le adiciona la levadura. Una fermentación de 2 a 3 horas origina una producción de anhídrido carbónico y la pasta crece por formación de bolsas de gas, retenidas entre las finas membranas del gluten. La duración óptima de la “maduración” de la pasta (amasado-fermentación) para obtener buenas propiedades reológicas,

depende de las fuerzas de las harinas. La tolerancia al amasado es más grande con las harinas fuertes. Entonces se corta la pasta, se le da forma y hace una raja, dejándola hinchar de nuevo durante aproximadamente una hora; se cuece (20 a 40 minutos) en un horno a 235-260°C (Tabla 3). La cocción coagula algunas proteínas y fija hace la estructura esponjosa de la miga. La preparación del pan dura 4 a 8 horas.

Tabla 3. Eventos que ocurren durante la cocción del pan

TEMPERATURA EN °C	EVENTO
30	Expansión del gas y producción enzimática de azúcares
45-50	Muerte de las levaduras
50-60	Fuente actividad enzimática, inicio de la solubilización del almidón
100	Desarrollo y producción de vapor de agua, formación de la corteza que cede agua
110-120	Formación de dextrinas en la corteza (clara y amarillenta)
130-140	Formación de dextrina parda
140-150	Caramelizarían (oscurecimiento de la corteza)
150-200	Producto crujiente y aromático (pardo y oscuro)
más de 200	Carbonización de la pieza (masa porosa y negra)

Fuente: (QUAGLIA, 1991)

Tabla 4. Componentes de una masa de panadería y su función

Componentes	Cantidad gm	Función
Harina	100	Fuente del gluten, almidón, lípidos, etc.
Agua	50 a 65	Agente plastificante
Cloruro sódico	2	Sabor, endurecimiento del gluten
Levadura	2	Fermentación
Malta	0,5	Origen de amilasas y proteasas
Sal de amonio	0,5	Sustrato para la levadura
Azúcar(sacarosa o glucosa)	6	Sabor, color; sustrato para la levadura
Leche descremada en polvo	6	Sabor, color; efecto tampón sobre el pH
Lípidos o glicolípidos (ésteres de sacarosa o lactosa y de ácidos grasos)		Mejora la textura; permite, eventualmente, un enriquecimiento por adición de proteínas de soya (>5%)
Propionato calcico	4	Agente antimicrobiano
Vitaminas y sales minerales	0,2	Enriquecimiento nutricional

Fuente: (QUAGLIA, 1991)

4.3.4 Bioquímica del pan. Se sabe que la harina de trigo y en un menor grado la de centeno, son las únicas harinas de cereales que resultan panificables. No obstante, existen notables diferencias entre una y otra harina de trigo, diferencias vinculadas no solo a la cantidad, sino también a la calidad del gluten. Recientes trabajos permiten precisar, en gran parte, la función que tienen durante la panificación los distintos componentes de la harina.

La base de estos estudios fue separar y purificar los diversos componentes por extracción, centrifugación y reconstruir después las harinas, más o menos completas, pero eliminando algunos de ellos y determinar así el valor de esas harinas para la preparación de pan. Se sabe que lo que se denomina gluten puede separarse de las proteínas solubles y del almidón por amasado de la harina en una corriente de agua. Las dos fracciones proteicas del gluten puede separarse, la una de la otra, por diversos métodos (extracción, centrifugación). También es posible conseguir separadamente los lípidos neutros de la harina (0,6% en peso) y los lípidos polares (0,8%); estos últimos consisten esencialmente en fosfolípidos y en glicolípidos; el 75% de estos lípidos polares está ligado a proteínas.

Existen interacciones entre proteínas y almidón, así como, proteínas almidón y lípidos. La adición de una cantidad suplementaria de glicolípidos naturales (mono y digalactosil diglicéridos) o de síntesis (ésteres de sacarosa o de lactosa y ácidos grasos) tiene efectos beneficiosos sobre el volumen y la textura del pan (aumenta la retención de agua) y así puede hacerse, en el caso más extremo, pan sin gluten o muy enriquecido en proteínas de soja*. Se considera que durante el amasado, se forma en la pasta una red de proteínas y de glicolípidos en torno a los gránulos de almidón, los cuales ya sufrieron en la superficie un inicio de gelatización y liberación de amilosa.

Las interacciones glicolípidos-almidón (enlaces hidrógeno) resultan reforzadas por la cocción del pan (Tabla 3) y podrían tener una importante función en la retención

del agua. Esta red deformable sería responsable de las principales propiedades de la masa de panadería, a saber:

- 1) la extensibilidad que permite un cambio de forma;
- 2) la impermeabilidad al gas, que permite la retención del anhídrido carbónico y su hinchazón;
- 3) la elasticidad, necesaria para la retención de anhídrido carbónico y la formación de una estructura esponjosa;
- 4) la fuerte retención de agua (causa de la blandura después de la cocción).

Las gluteninas son responsables de la elasticidad de la pasta, mientras que las gliadinas resultan mucho más responsables de su extensibilidad. Aunque todavía no es posible explicar totalmente mediante la estructura las propiedades funcionales de las diversas proteínas del trigo.

Algunas gluteninas serían muy parecidas a las gliadinas de elevada masa molecular. Las proporciones relativas de gluteninas y gliadinas, así como la naturaleza de los enlaces entre glicolípidos y proteínas, dependen, en parte de la naturaleza del disolvente de extracción de las proteínas. Algunas variedades de trigos contienen más gluteninas que gliadinas. Los trigos duros contienen una proporción más elevada de proteínas solubles. ** (No gluten). (QUAGLIA, 1991)

4.4 REOLOGIA

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. La reología de los alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados en la industria de alimentos. La ciencia de la reología tiene varias

aplicaciones en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos (Sandoval, Quintero y Aponte 2005).

Las principales características reológicas de la harina de trigo (*Triticum aestivum* L) son:

- Tenacidad: (Elasticidad) resistencia opuesta a romperse.
- Cohesión: adherencia interna por las fuerzas de atracción entre moléculas de la masa.
- Extensibilidad: propiedad de la masa a recuperar la forma y la extensión.
- Plasticidad: facilidad para tomar una nueva forma.
- Consistencia: resistencia a deformarse.

4.4.1 Equipos para la medición de las características reológicas.

4.4.1.1 Alveógrafo. Las cualidades plásticas de la harina y la fuerza de la misma, se determinan con un Alveógrafo (Figura 11), que suministra una curva llamada alveograma. Dicha curva tiene dimensiones variables, de acuerdo con las características de la harina ensayada.

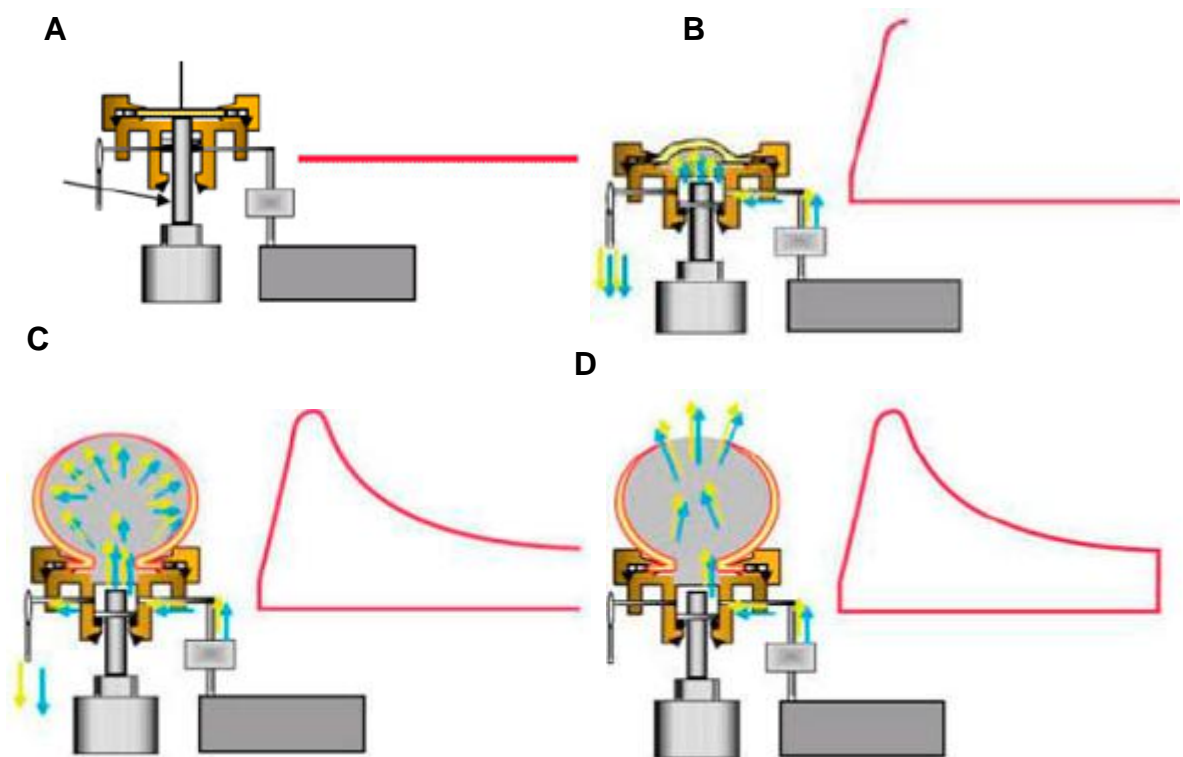
El principio del funcionamiento del Alveógrafo se basa en la extensión tridimensional de una porción de masa (denominada probeta, obtenida en condiciones estándar) que bajo la acción de una presión de aire se infla y toma la forma de una burbuja y en el registro gráfico de la presión en el interior de la burbuja hasta que ésta explota. Esta deformación simula la producida durante la fermentación bajo la presión del gas de origen biológico o químico (Figura 11).

El Alveógrafo está diseñado para medir la resistencia a la expansión y la extensibilidad de la masa en ensayo (Anexo 9).

Los alveógrafos se utilizan comúnmente en la industria de la harina y del trigo para:

- 1) Seleccionar y evaluar las variedades de trigo
- 2) Clasificación de la harina de trigo determinando sus propiedades viscoelásticas con el fin de ajustarlas a las necesidades de los diferentes procesos. NTC 5053 (Primera actualización).

Figura 11. Alveógrafo de Chopin



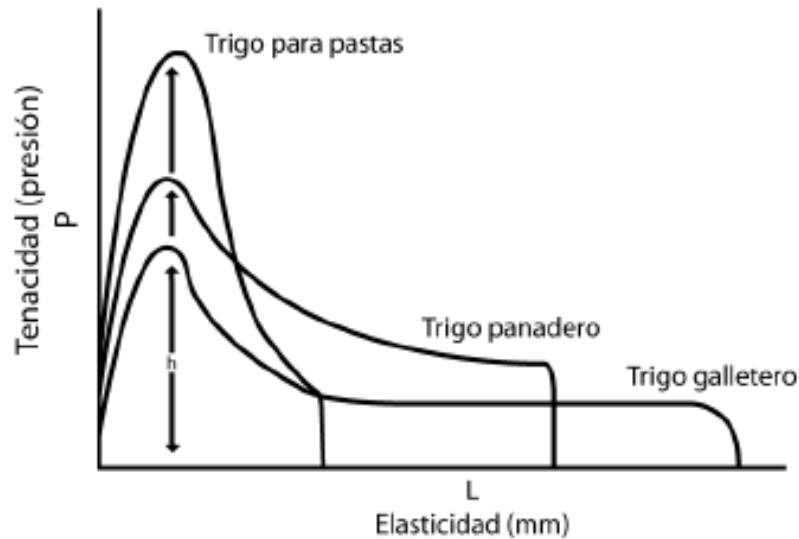
*A: Posición de partida, B: La masa ofrece resistencia a la presión del aire, C La masa se deforma en una burbuja (extensibilidad), D: Rotura de la burbuja (Fin del ensayo).

Fuente. Revista Virtual Pro, 2011.

4.4.1.2 Pruebas Alveograficas. El ensayo alveográfico se utiliza para estimar la calidad de trigos y harinas destinadas a todos los tipos de panificación. Sirve para control del proceso de molienda, selección de mezclas de trigo para la producción

de harinas y verificación de la acción de aditivos autorizados en el comportamiento de la harina. Los parámetros obtenidos son registrados en un alveograma (figura 11-12).

Figura 12. Comportamiento grafico del Alveógrafo de Chopin



Fuente (Ruiz, 2009)

Los parámetros obtenidos son:

P Tenacidad: La tenacidad es la altura de la curva media en milímetros. Indica la resistencia que la masa opone a la rotura (altura de la curva – glutenina x). Es mayor cuanto más consistencia posea la masa (Figura 12).

G punto de rompimiento. Determina la capacidad de hinchamiento de la masa

L Extensibilidad (longitud de la curva – gliadina x), La extensibilidad determina la habilidad de la masa a expandirse por el Dióxido de carbono (CO₂) producido por las levaduras durante la fermentación. Una extensibilidad excesivamente alta resulta en una masa débil y floja la cual colapsa durante la fermentación o

mientras la cocción en el horno (Sharadanant y Khan 2003). La resistencia a la extensión es una medida de la habilidad de la masa para retener el Dióxido de carbono (CO_2), y consecuentemente una medida de la capacidad de la masa de formar un pan esponjoso. Una muy baja resistencia a la extensión resulta en una baja retención del Dióxido de carbono (CO_2) y un bajo volumen de pan, mientras que una muy alta resistencia a la extensión también resulta en un bajo volumen de pan porque la masa dura no es capaz de alcanzar una óptima altura durante la fermentación (Yi y Kerr 2009, citado por Steffolani 2010).

W Fuerza de la harina. El valor W refleja el trabajo de deformación de la masa al ser ensayada en el alveógrafo. Este valor W es directamente proporcional a la fuerza de la harina en cuestión (ver Diagrama de la curva de extensión biaxial). A más W, mayor fuerza. A menos W, fuerza inferior. Es preciso que las harinas panificables posean una determinada fuerza (capacidad de una harina, para producir una pieza de pan bien crecida y de gran volumen), aunque no es deseable que presenten una fuerza demasiado alta, porque ello acarrearía problemas al panificarla, el período de fermentación es muy largo.

Fuerza de la harina (área de la curva - Julios),

Masa débil W = menor 200 J.

Masa aceptable W = 200 – 300 J.

Masa demasiado fuerte W = mayor 300 J.

P/L Equilibrio de la harina. Los valores de Tenacidad (P), y Extensibilidad (L), tienen cierta importancia. Pero lo que tiene una importancia verdaderamente capital es el cociente de dividir ambas magnitudes, lo que se denomina P/L. Efectivamente ése es un valor que diferencia y caracteriza profundamente las harinas, reflejando para qué tipo de trabajo panadero es adecuada cada una. Valores $P/L \geq 1$ son propios de harinas para masa dura o semidura.

Valores $P/L < 1$ deben poseerlos harina para masa semiblanda o blanda, descritos a continuación:

Relación de configuración de la curva (Equilibrio entre gliadina y glutenina) (Figura 13)

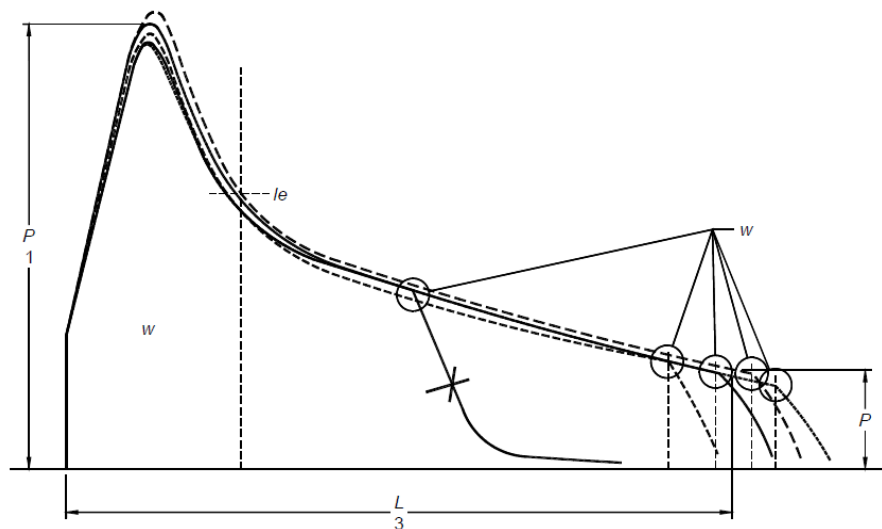
Mayor 1 = Hay más glutenina y menor gliadina

Menor 1 = Hay más gliadina y menor glutenina. Masa muy extensible.

Igual 1 = igual contenido de gliadina y glutenina

Las mejores harinas de masa blanda presentan valores P/L comprendidos entre 0.4 y 0.6.

Figura 13. Diagrama de la curva de extensión biaxial



Valor P = tenacidad, valor L = extensibilidad, valor W = trabajo, valor le = índice de elasticidad.

Fuente. Norma Técnica Colombiana NTC 5053 (2009)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES.

5.1.1 Materia primas.

5.1.1.1 Harina de trigo (*Triticum aestivum* L). Se utilizaron dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L):

- **Harina 1.** Provista por Harinera Indupan S.A., almacenada en el Laboratorio de Farinografía de Enzipan S.A., en condiciones ambiente, en bolsa de polipropileno (empaques original) (Figura 14-A) (Anexo 2).
- **Harina 2.** Provista por Harinera del Valle S.A., almacenada en el Laboratorio de Farinografía de Enzipan S.A., en condiciones ambiente, en bolsa de polipropileno (empaques original) (Figura 14-B) (Anexo 3).

Figura14. Harinas de trigo (*Triticum aestivum* L) estudiadas



*A: Harina de trigo Indupan, B: Harina de trigo haz de oros

Fuente: Los Autores

5.1.1.2 Fibra Comercial. Se utilizó una fibra comercial provista por el Laboratorio Lifebrandsinter SAS denominada “Colclean”, envasada en hojalata de 300gramos en condiciones ambiente. (Ver anexo 4) (Figura 15).

Figura15: Fibra comercial Col Clean



Fuente: Los Autores

5.2 MÉTODOS.

Los análisis fisicoquímicos y reológicas de la presente investigación se desarrollaron en el Laboratorio de Farinografía ubicado en los Laboratorios de Enzipan S.A. en Bogotá (Colombia) (Anexo 5).

5.2.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas. Se utilizó el analizador de harinas Inframatic 8000. Método AACC 08-21, el protocolo aplicado se presenta en el anexo 6 y 7

5.2.3 Prueba de Panificación. Se elaboró plan blanco y se utilizaron las siguientes cantidades de fibra 2.5%, 5.0%, 7.5% y 10.0% para ser mezclada con la

harina de trigo (*Triticum aestivum* L): con el fin de determinar la de mejor comportamiento a nivel industrial. (Anexo 8)

5.2.4 Prueba alveográfica. Se utilizó el Alveógrafo (Chopin, Francia), usando el Método AACCC 54-30 A y teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 5053. (Anexo 9),(Anexo 10).

5.2.5 Evaluación sensorial. Para esta etapa se necesitó realizar un lote para todas las cataciones que se requirieron, se llevó a cabo a las 24 horas después de realizado los panes con un panel de 30 catadores no entrenados, empleando el método descriptivo por puntaje con pruebas de aceptación o afectivas, las cuales se usan para evaluar el grado de satisfacción o aceptabilidad del producto con el fin de determinar, en una serie de productos, cuál es el más aceptable o preferido. Se realizó con una encuesta especialmente diseñada para consumidores habituales del producto con una escala hedónica de 5 puntajes para cada uno de los diferentes tratamientos. (Anexo 11)

6. DISEÑO ESTADÍSTICO

6.1 DESCRIPCION METODOLOGICA ESTADÍSTICA DE LOS DATOS

6.1.1 Resultados de la caracterización física y química. Para la presentación e interpretación de resultados, se utilizó la comparación de la media aritmética de las muestra de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) sin fibra comercial (testigos), comparada con la media aritmética de las muestra de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) con fibra comercial adicionada al 5%.

6.1.2 Resultados de las pruebas alveográficas. Para la presentación e interpretación de resultados, se utilizaron las medias estadísticas como la media aritmética, desviación estándar y el coeficiente de variación. La verificación del modelo estadístico (diseño del experimento), se realizó mediante un análisis exploratorio.

El análisis estadístico para cada variable dependiente, se realizó mediante el software estadístico SSPS y MINITAB. Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA), teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1. Análisis exploratorio de los datos (a cada variable respuesta): para verificar el cumplimiento de los supuestos del modelo:
2. Análisis gráfico vía BOX-PLOT e histogramas digitales
3. Verificación del supuesto de normalidad de errores.
4. Verificación del supuesto de homocedasticidad
5. Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores.

6. Aplicación de correctivos para la falta de normalidad.
7. Procesamiento definitivo de los datos vía SPSS y MINITAB
8. Exploración del mejor tratamiento: La prueba de Tukey no es posible realizar debido que para este estudio se usaron solo dos grupos de datos (bloques y tratamiento) y ésta prueba requiere mínimo tres grupos de datos, por lo cual se usa la Tabla K Matrix y el diagrama de variables dependientes (Relación Típ. Residual/observado).

6.2 DESCRIPCION DEL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE ALEATORIZADOS CON MÚLTIPLE RESPUESTA

Debido a que se pretende evaluar el efecto de la adición de fibra (factor o variable independiente) sobre las propiedades reológicas de la masa elaborada, usando harinas obtenidas de dos proveedores diferentes que inducen diferencias nutricionales y reológicas no atribuibles a la fibra adicionada, e igualmente de características diferentes, se introduce un factor de ruido que es necesario aislarlo para obtener el efecto “puro” de la fibra adicionada sobre la masa, usando el modelo en bloques completos al azar.

Modelo estadístico: el modelo estadístico del diseño de bloques completamente aleatorizados se describe como:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

$i=1, 2; j=1,2$ y $k=1,2,3,4,5,6$.

μ = Parámetro, efecto medio global

τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento i

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ε_{ijk} = error aleatorio, error experimental de la u.e. i,j

Y_{ijk} = Observación en la unidad experimental

Siendo k el número de réplicas por tratamiento.

Los efectos de tratamiento y de bloque se consideran, por lo general, como desviaciones de la media global, por lo que:

$$\sum_{i=1}^a T_i = 0 \text{ y } \sum_{j=1}^b \beta_j = 0$$

$$\hat{\mu} = Y_{..}$$

$$\hat{\tau}_i = Y_{i.} - Y_{..}$$

$$\hat{\beta}_j = Y_{.j} - Y_{..}$$

Las fórmulas de cálculo manual de las sumas de cuadrados, expresándolos en términos de los totales de los tratamientos y los bloques, son:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Tratamientos} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y^2}{N},$$

$$SS_{Bloques} = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y^2}{N}$$

a = número de tratamientos (dos para este experimento)

b = número de bloques (dos para este experimento)

Y la suma de los cuadrados del error se obtiene por sustracción como

$$SS_E = SS_T - SS_{Tratamientos} - SS_{Bloques}$$

La representación del Diseño de bloques completamente aleatorizados con múltiple respuesta para el presente estudio, se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Variables de estudio.

HARINA 1	HARINA2	ADICION DE FIBRA
P_1, P_2, P_3, P_4 L_1, L_2, L_3, L_4 G_1, G_2, G_3, G_4 W_1, W_2, W_3, W_4 $P/L_1, P/L_2, P/L_3, P/L_4$ le_1, le_2, le_3, le_4	P_1, P_2, P_3, P_4 L_1, L_2, L_3, L_4 G_1, G_2, G_3, G_4 W_1, W_2, W_3, W_4 $P/L_1, P/L_2, P/L_3, P/L_4$ le_1, le_2, le_3, le_4	0%
P_1, P_2, P_3, P_4 L_1, L_2, L_3, L_4 G_1, G_2, G_3, G_4 W_1, W_2, W_3, W_4 $P/L_1, P/L_2, P/L_3, P/L_4$ le_1, le_2, le_3, le_4	P_1, P_2, P_3, P_4 L_1, L_2, L_3, L_4 G_1, G_2, G_3, G_4 W_1, W_2, W_3, W_4 $P/L_1, P/L_2, P/L_3, P/L_4$ le_1, le_2, le_3, le_4	5%

Tenacidad P , punto de ruptura L , índice de hinchamiento G , fuerza de la harina W , relación P/L e índice de elasticidad le .

Fuente. Los autores.

La tabla 5 muestra la descripción del Diseño de bloques completamente aleatorizados con múltiple respuesta, donde el factor en estudio es el porcentaje de fibra comercial adicionada con dos niveles: 0% y 5% de fibra comercial. Los Bloques hacen referencia a la muestra de harina utilizada: Bloque 1 harina de trigo comercial 1 y Bloque 2 harina de trigo comercial 2.

6.3 HIPÓTESIS

6.3.1 Hipótesis general de trabajo. La adición de fibra comercial Colclean en dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) puede llegar a modificar las propiedades reológicas durante el proceso panificación.

6.3.2 Hipótesis estadística. Ho: La adición de fibra comercial Colclean en dos muestras comerciales de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) no llega a modificar las propiedades reológicas del pan durante el proceso panificación, es decir no hay diferencias significativas.

$$H_o = \mu_1 = \mu_2$$

Ha: La adición de fibra comercial Colclean en dos muestras comerciales de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) llega a modificar las propiedades reológicas del pan durante el proceso panificación, es decir las hay diferencias significativas.

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \forall i = j, i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

6.4 VARIABLES

6.4.1 Variable independiente. Se considera variable independiente el porcentaje de adición de fibra comercial (Colclean): 5% w/w (porcentaje peso a peso) de fibra comercial Colclean.

6.4.2 Variables dependientes. Se consideran variables dependientes y variables respuesta las que caracterizan reológicamente a las harinas de trigo (*Triticum aestivum* L): tenacidad *P*, punto de ruptura *L*, índice de hinchamiento *G*, fuerza de la harina *W*, relación *P/L* e índice de elasticidad *Ie*, descrito a continuación:

6.4.2.1 Parámetro de presión máxima $Y_1 = "P"$ (mm de agua (H₂O)). Este parámetro indica la presión máxima dentro de la burbuja, la cual se relaciona con la resistencia a la deformación (tenacidad) El valor de este parámetro es igual al valor promedio de las ordenadas máximas, medido en mm, multiplicado por un factor $k = 1,1$.

El valor de " P " se expresa con aproximación a la unidad.

6.4.2.2 Promedio de la abscisa de ruptura $Y_2 = "L"$ (mm). El punto de ruptura para cada curva se mide en milímetros a lo largo de la línea cero, desde el origen de las curvas hasta el punto que corresponde verticalmente al punto donde la presión empieza a caer. El promedio de las abscisas en la ruptura para las curvas representa a la longitud " L ".

El valor de " L " se expresa con aproximación a la unidad.

6.4.2.3 Índice de hinchamiento $Y_3 = "G"$. Este es el promedio de ruptura en la abscisa convertida en el índice de hinchamiento " G " leído por la escala del planímetro. Este valor es la raíz cuadrada del volumen del aire, expresado en mililitros, necesario para que la burbuja crezca hasta la ruptura, (sin tomar en cuenta el volumen de aire requerido, para desprender el pastón del plato) se calcula utilizando la siguiente fórmula: $G = 2,226\sqrt{L}$

El valor de " G " se expresa con aproximación de 0,1.

6.4.2.4 Fuerza o Energía de deformación $Y_4 = "W"$ (10-4J). El valor " W " representa la resistencia al horneado de la harina y la energía de deformación de un gramo de masa obtenida mediante el método descrito. Se calcula, según se indica a continuación, a partir de los parámetros del alveograma y varios factores experimentales.

Fuerza de la harina (área de la curva - Julios): Masa débil W = menor 200 J; Masa aceptable W = 200 – 300 J; Masa demasiado fuerte W = mayor 300 J.

6.4.2.5 Relación " P/L " = Y_5 . Esta relación se conoce convencionalmente como la relación de configuración de la curva. El valor de " P/L " se expresa con aproximación de 0,01. Equilibrio entre gliadina y glutenina: Mayor 1 = Hay más glutenina y menor gliadina; Menor 1 = Hay más gliadina y menor glutenina. Masa muy extensible; Igual 1 = igual contenido de gliadina y glutenina

6.4.2.6 Índice de elasticidad $Y_6 = I_e$ (%). Es la relación entre " P_{200} " y " P ", expresada en porcentaje. El parámetro " P_{200} " es proporcional a la presión en el interior de la burbuja cuando se han inyectado 200 ml de aire por debajo del pastón, el cual corresponde al valor de la tenacidad P a 4 cm desde el origen de la curva.

El valor de " I_e " se expresa con aproximación de 0,1%.

Los valores dependientes se realizaran por cuatro réplicas y se medirán las seis condiciones reológicas por separado, utilizando el diseño de bloques completos al azar.

6.4.3 Variables ruido. Se consideran variables de ruido cambios en el medio y en proceso como humedad relativa ambiental, tiempos alistamiento de las muestras, temperatura ambiental, presiones ambientales, genética, variedad de trigo y control de calidad de las materia primas.

6.4.4 Variables controlables. Cantidad de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) para las dos muestras la cual fue de 250gr \pm 0.5 gramos para todos los

tratamientos. La forma de operación del Alveógrafo de Chopin: solución de cloruro de sodio (2,5%), período de reposo en cámara de fermentación (20 minutos a 25°C).

7. RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA MATERIA PRIMA

Tabla 6. Resultados Caracterización fisicoquímica de las muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L).

PRUEBA	UNIDAD	HARINA 1	HARINA 2	MEDIA TESTIGO ^a	HARINA 1 5% FIBRA ^a	HARINA 2 2 5% FIBRA ^a	MEDIA AL 5% ^a
Humedad	g/100g	14,3	13,4	13,85	13,7	13,0	13,35
Gluten Húmedo	g/100g	31,31	33,32	32,315	28,15	32,59	30,37
Gluten Seco	g/100g	10,37	11,09	10,73	10,09	10,83	10,46
Índice Gluten		97,61	97,53	97,57	96,75	97,15	96,95
Cenizas	g/100g	0,68	0,68	0,68	0,77	0,8	0,79
Falling Number	Seg.	378	435	406,5	361	404	382,5 0
Absorción	g/100g	58,59	59,29	58,94	58,81	59,91	59,36
Almidón Dañado	UCD	23,65	21,16	22,405	23,49	22,11	22,80
Proteína	g/100g	11,64	12,27	11,955	12,03	12,43	12,23
Índice de Dureza		60,73	0,85	30,79	62,43	64,62	63,53
Fibra dietaria		5,5	5,23	5,365	6,74	6,72	6,73
Grasa		0,79	0,71	0,75	2,53	2,42	2,48
Zeleny		29	37	33	30	38	34,00
Ph		6,35	6,18	6,265	6,18	6,12	6,15

Granulometría (retención malla 212μ)	g/100g	0,01	0,04	0,025	4,64	4,24	4,44
Granulometría (Filtración malla 132μ)	g/100g	98,98	97,29	98,135	87,27	87,91	87,59
	L	89,98	88,94	89,46	87,22	86,27	86,75
Color	a*	-0,54	-0,71	-0,625	-0,89	-0,88	-0,89
	b*	9,34	9,65	9,495	8,52	8,92	8,72
Hierro (Micronutrientes)	mg/kg	44	44	44	44	44	44,00
Ácido Ascórbico	mg/kg	40	90	65	40	90	65,00
Bromatos	mg/kg	0	0	0	0	0	0,00

^a Media aritmética

Fuente. Resultado de experimentación

7.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR DESEMPEÑO EN PLANTA

Tabla 7. Ensayo prueba de panificación

Ensayo	% H1 Indupan	%H2 Haz de oros	% Fibra comercial
1	100	100	0
2	97.5	97.5	2.5
3	95	95	5
4	92.5	92.5	7.5
5	90	90	10

Fuente. Los autores.

7.3 EVALUACIÓN DEL PUNTAJE

Figura 16. Optimización de la calidad y del rendimiento.



Harina 1

Harina 2

* 1: Testigo, 2: pan al 2% de fibra comercial, 3: pan al 5% de fibra comercial, 4: pan al 7.5 % de fibra comercial

Fuente. Los autores.

Tabla 8. Resultados de aplicación en panificación harina de trigo 1. Indupan

Prueba #	Volumen	Peso	V/P	Fibra adicionada	Evaluación puntaje
1	1300	135.6	9.59	Testigo	8.0
2	1300	135.7	9.58	Testigo	8.0
3	800	135.7	5.90	Fibra 2.5%	7.0
4	700	135.8	5.15	Fibra 5%	6.0
5	600	135.8	4.42	Fibra 7.5%	5.0
6	500	135.8	3.68	Fibra 10%	4.0

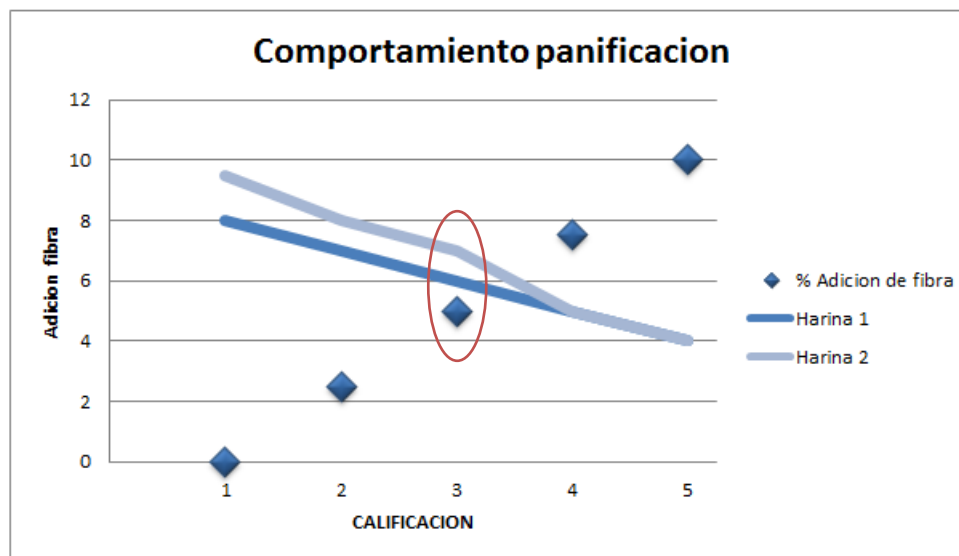
Fuente. Resultados de aplicación en panificación. Pruebas en laboratorio Enzipan Laboratorios S.A.

Tabla 9. Resultados de aplicación en panificación harina de trigo 2. Haz de oros.

Prueba #	Volumen	Peso	V/P	Fibra adicionada	Evaluación puntaje
1	1450	135.5	10.70	Testigo	9.5
2	1400	135.4	10.34	Testigo	9.4
3	1100	135.7	8.11	Fibra 2.5%	8.0
4	900	135.6	6.64	Fibra 5%	7.0
5	600	135.8	4.42	Fibra 7.5%	5.0
6	500	135.8	3.68	Fibra 10%	4.0

Fuente. Resultados de aplicación en panificación. Pruebas en laboratorio Enzipan Laboratorios S.A.

Figura 17. Comportamiento de las harinas en panificación.



Fuente. Los autores.

7.4 PRUEBAS ALVEOGRÁFICAS

Tabla 10. Resultados pruebas Alveográficas

PARAMETRO	UNIDAD	HARINA 1				HARINA 2				FIBRA ADICIONADA
Tenacidad P	(mm de H ₂ O)	162	156	139	151	100	95	100	98	0%
Extensibilidad L	(mm)	68	58	64	67	87	101	107	83	
Plasticidad G	(ml)	18,4	17	17,8	18,2	20,8	22,4	23	20,3	
Fuerza W	(10-4J)	429	373	347	390	330	357	399	307	
Equilibrio P/L	(U)	2,38	2,69	2,17	2,25	1,15	0,94	0,93	1,18	
Índice elasticidad Ie	(%)	63,4	62,5	60,3	60,7	64,6	66,5	67,6	62,9	
Tenacidad P	(mm de H ₂ O)	165	162	157	146	108	108	107	101	5%
Extensibilidad L	(mm)	35	39	38	43	59	73	64	72	
Plasticidad G	(ml)	13,2	13,9	13,7	14,6	17,1	19	17,8	18,9	
Fuerza W	(10-4J)	253	269	254	257	260	297	266	275	
Equilibrio P/L	(U)	4,71	4,15	4,13	3,4	1,83	1,48	1,67	1,4	
Índice elasticidad Ie	(%)	0	0	0	50,8	60,5	59,7	58,4	59,6	

Fuente. Resultados alveográficos. Pruebas en laboratorio Enzipan Laboratorios S.A.

7.4.1 Tenacidad de la masa.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos variable tenacidad.

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Tenacidad de la masa elaborada (mm)				
% de fibra adicionada	Tipo de harina empleada	Media	Desviación típica	N
0 %	Harina comercial (1)	152,00	9,764	4
	Harina comercial (2")	98,25	2,363	4
	Total	125,12	29,474	8
5 %	Harina comercial (1)	157,50	8,347	4
	Harina comercial (2")	106,00	3,367	4
	Total	131,75	28,151	8
Total	Harina comercial (1)	154,75	8,908	8
	Harina comercial (2")	102,13	4,941	8
	Total	128,44	28,052	16

Fuente. Resultados de experimentación

Tabla 12. ANOVA variable Tenacidad (lnray)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

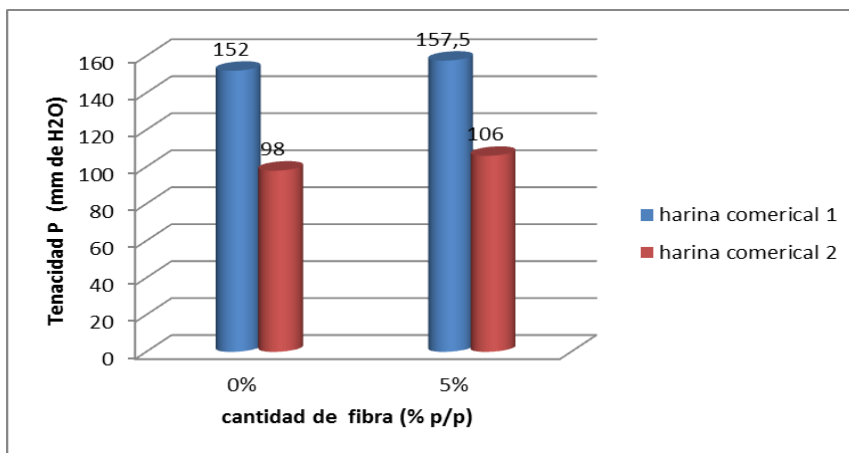
Variable dependiente:lnray1

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,078 ^a	2	,039	163,335	,000
Intersección	41,521	1	41,521	173917,764	,000
FIBRA	,001	1	,001	5,818	,031
Harina	,077	1	,077	320,853	,000
Error	,003	13	,000		
Total	41,602	16			
Total corregida	,081	15			

a. R cuadrado = ,962 (R cuadrado corregida = ,956)

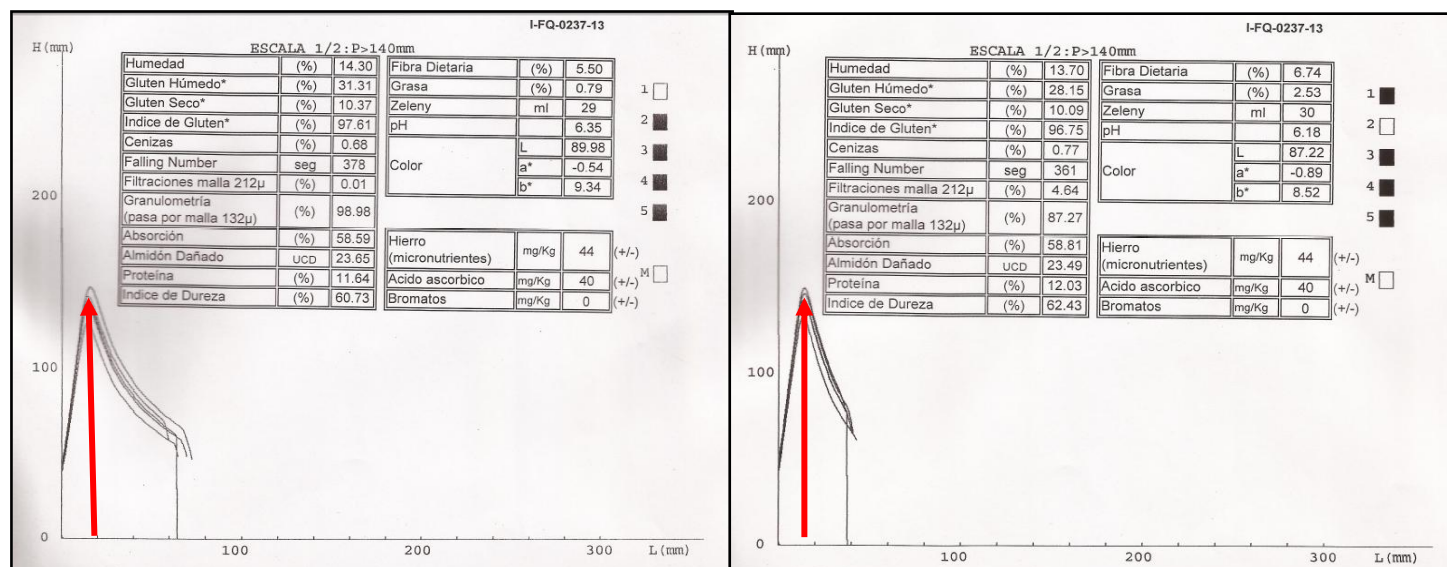
Fuente. Resultados de experimentación

Figura 18. Representación gráfica parámetro Tenacidad.



Fuente. Resultados de experimentación

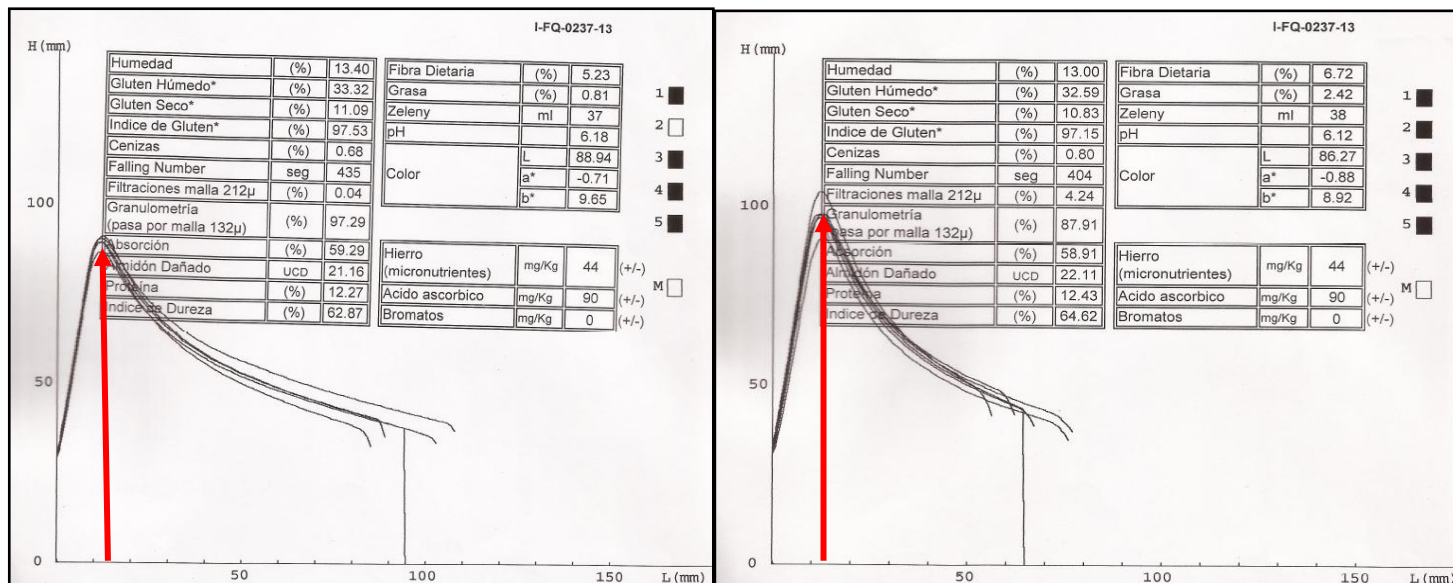
Figura 19. Alveogramas harina 1:



*Análisis fisicoquímico v alveográfico. La Costa (0%)
Fuente. Resultados de la experimentación

*Análisis fisicoquímico v alveográfico. La Costa (5%)

Figura 20: Alveogramas harina 2: Fuente.



*Análisis fisicoquímico y alveográfico. Haz de oros (0%)
Fuente: Resultados de la experimentación.

*Análisis fisicoquímico y alveográfico Haz de oros (5%)

7.4.2 EXTENSIBILIDAD DE LA MASA:

Tabla 13. Resumen descriptivo estadístico de la extensibilidad

		Estadístico (mm)
Extensibilidad de la masa (mm)	Promedio	66,13
	I.C	Lím. infer. 54,74
		Límsuper. 77,51
	Mediana	65,50
	Desv. típ.	21,37
	Mínimo	35.00
	Máximo	107.00
	Cc	0.32
	Amplitud intercuartil	34.00
	Asimetría	0,31
	Curtosis	-0,39

Fuente. Resultados de experimentación

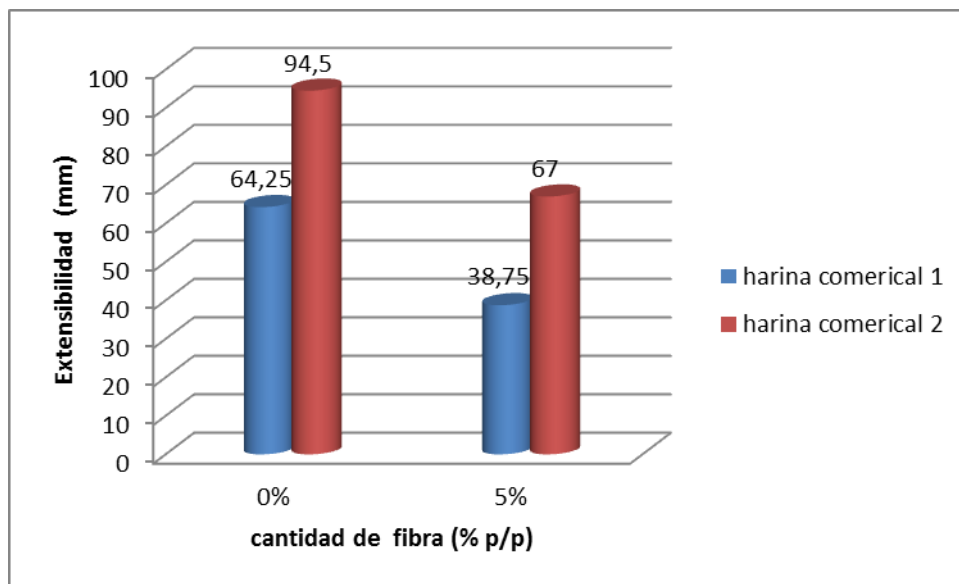
Tabla 14. Anova variable extensibilidad.

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6231,250 ^a	2	3115,625	65,486	0,0001
Intersección	69960,250	1	69960,250	1470,466	0,0001
Harina	3422,250	1	3422,250	71,931	0,0001*
FIBRA	2809,000	1	2809,000	59,041	0,0001**
Error	618,500	13	47,577		

Total	76810,000	16			
Total corregida	6849,750	15			
<p>* El bloqueo aísla bastante gran parte del error experimental, lo que justifica el empleo del diseño en bloques completos al azar.</p> <p>** Valor “altísimamente” significativo.</p> <p>a. R cuadrado = ,910 (R cuadrado corregida = ,896)</p>					

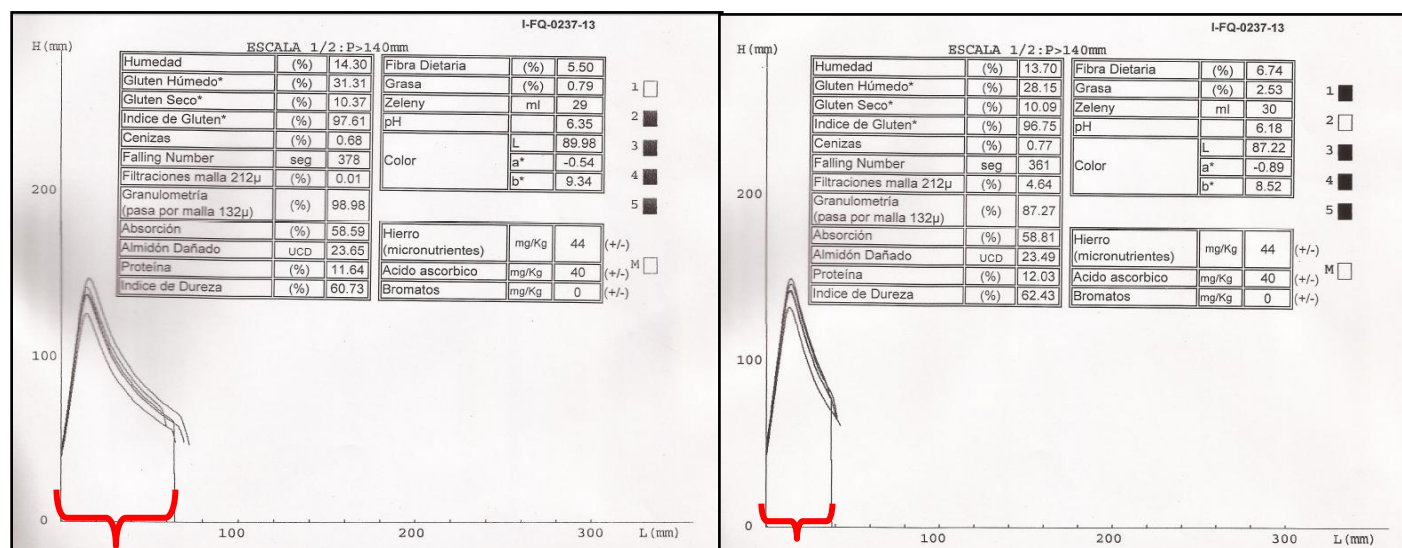
Fuente. Resultados de experimentación.

Figura 21. Extensibilidad



Fuente. Resultados de experimentación

Figura 22. Alveogramas harina 1:

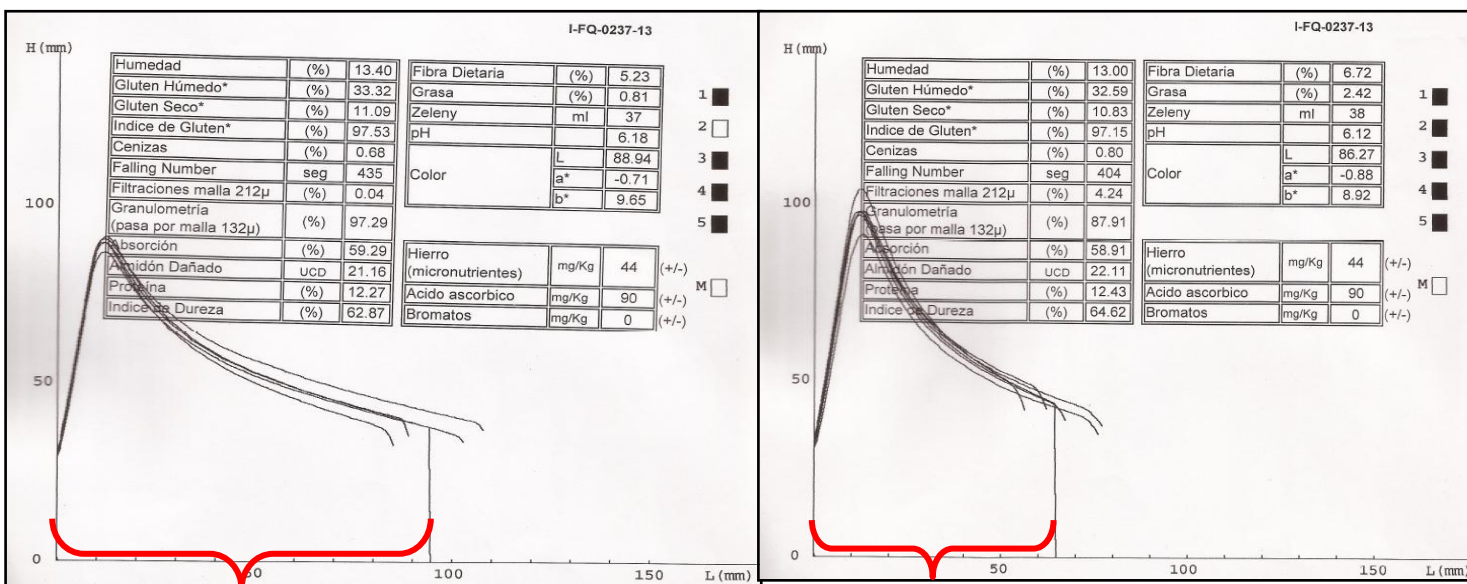


*Análisis fisicoquímico v alveográfico. La Costa

*Análisis fisicoquímico v alveográfico. La Costa (5%)

Fuente. Resultados de la experimentación.

Figura 23. Alveogramas harina 2:



*Análisis fisicoquímico v alveográfico. Haz de oros (0%)

*Análisis fisicoquímico v alveográfico. Haz de oros(5%)

Fuente. Resultados de la experimentación

7.4.3 Plasticidad de la masa.

Tabla 15. Resumen descriptivo de la variable plasticidad

			Estadístico
Plasticidad de la masa (ml.)	Media		17,881
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	16,306
		Límite superior	19,456
	Mediana		18,000
	Desv. típ.		2,956
	Cv		0,160
	Máximo		23,000
	Mínimo		13,200
	Asimetría		-0,021
	Curtosis		-0,620

Fuente. Resultados de experimentación

Tabla 16. ANOVA variable plasticidad

Variable dependiente: Plasticidad de la masa (ml.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	121,146 ^a	2	60,573	79,395	0,00000
Intersección	5115,826	1	5115,826	6705,474	0,00000
FIBRA	55,131	1	55,131	72,261	0,00000*
Harina	66,016	1	66,016	86,529	0,00000**
Error	9,918	13	0,763		
Total	5246,890	16			
Total corregida	131,064	15			

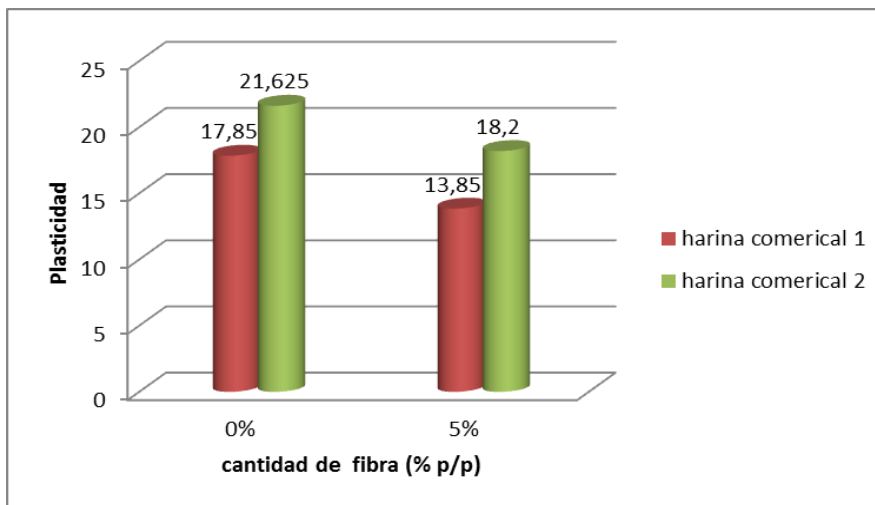
*Valor altísimamente significativo.

** El bloqueo aísla bastante gran parte del error experimental.

a. R cuadrado = ,924 (R cuadrado corregida = ,913)

Fuente. Resultados de experimentación.

Figura 24. Plasticidad



Fuente. Resultados de la experimentación

7.4.4 Fuerza de la masa

Tabla 17. Resumen descriptivo de la variable fuerza Descriptivos

		Valor en (J)
Fuerza de la masa (J.)	Media	316,44
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior 284,92
		Límite superior 347,96
	Mediana	302,00
	Desv. típ.	59,15
	Mínimo	253,00
	Máximo	429,00
	Cv	0,19
	Asimetría o sesgo	0,54
	Curtosis	-1,11

Fuente. Resultados de experimentación

Tabla 18. Anova variable fuerza, pruebas de los efectos inter-sujetos

*Variable dependiente: Fuerza de la masa (J.)

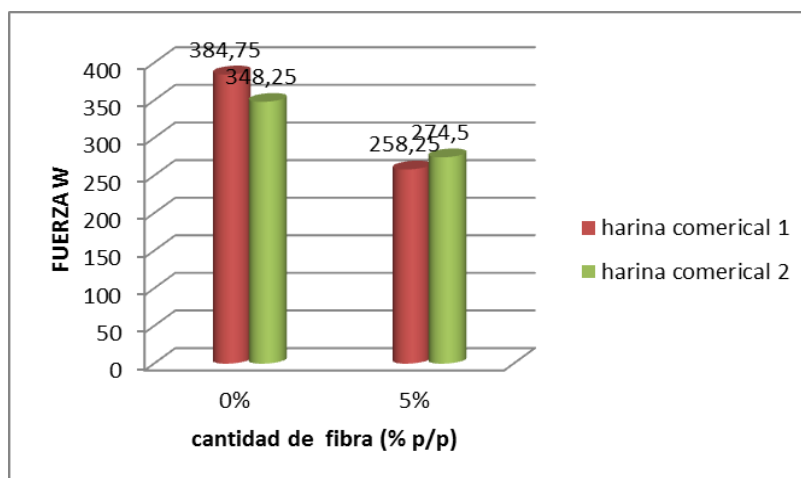
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	40510,125 ^a	2	20255,063	21,998	0,000
Intersección	1602123,063	1	1602123,063	1740,011	0,000
Fibra	40100,063	1	40100,063	43,551	0,000*
Harina	410,063	1	410,063	,445	0,516**
Error	11969,813	13	920,755		
Total	1654603,000	16			
Total corregida	52479,938	15			

R cuadrado = ,772 (R cuadrado corregida = ,737)

*altísimamente significativa

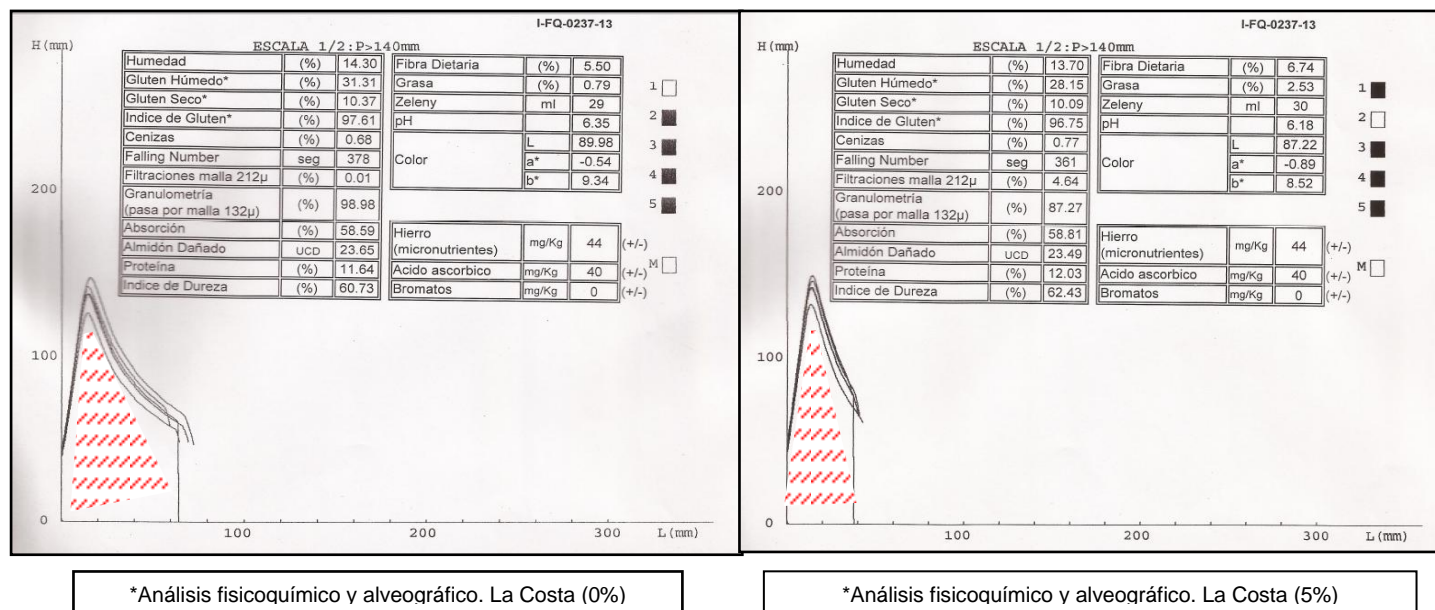
**los bloques realmente no aíslan ruido o erro experimental

Figura 25. Fuerza



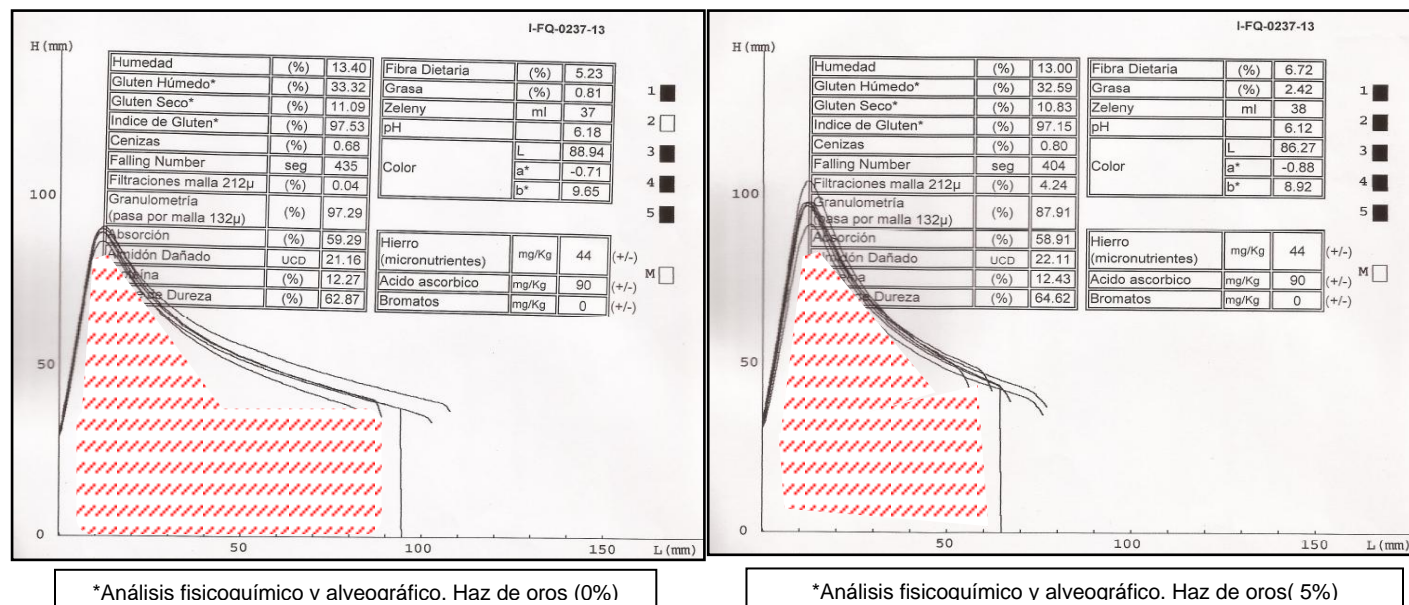
Fuente. Resultados de experimentación.

Figura 26: Alveogramas harina 1:



Fuente. Resultados de la experimentación

Figura 27. Alveogramas harina 2



Fuente. Resultados de la experimentación.

7.4.5 Equilibrio P/L de la masa.

Tabla 19. Anova variable equilibrio de la masa P/L - Pruebas de los efectos inter-sujetos

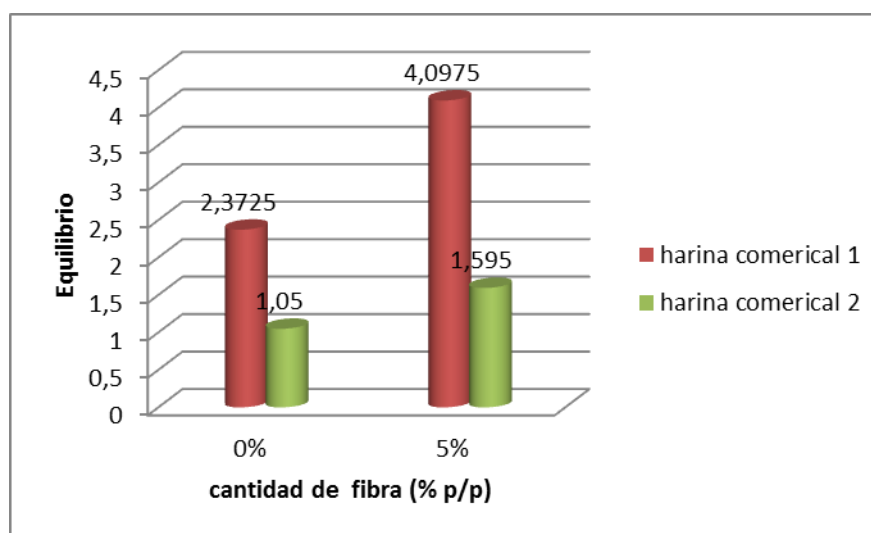
*Variable dependiente: Equilibrio P/L de la masa

Origen	Suma de cuadrados de tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	19,784 ^a	2	9,892	49,837	0,000
Intersección	83,083	1	83,083	418,596	0,000
FIBRA	5,153	1	5,153	25,962	0,000
Harina	14,631	1	14,631	73,713	0,000
Error	2,580	13	0,198		
Total	105,447	16			
Total corregida	22,364	15			

*a. R cuadrado = 0,885 (R cuadrado corregida = ,867)

Fuente. Resultados de experimentación.

Figura 28. Equilibrio



Fuente. Resultados de experimentación

7.4.6 Índice de elasticidad de la masa

Tabla 20. ANOVA índice de elasticidad de las masas - Pruebas de los efectos inter-sujetos

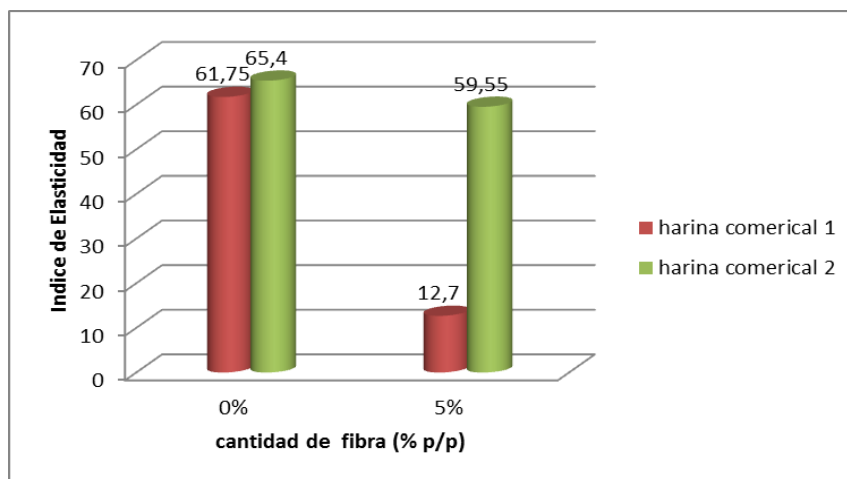
*Variable dependiente: Índice de elasticidad (%)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5564,041 ^a	2	2782,021	9,465	,003
Intersección	39750,391	1	39750,391	135,232	,000
FIBRA	3011,266	1	3011,266	10,244	,007
Harina	2552,776	1	2552,776	8,685	,011
Error	3821,238	13	293,941		
Total	49135,670	16			
Total corregida	9385,279	15			

*a. R cuadrado = ,593 (R cuadrado corregida = ,530)

Fuente. Resultados de experimentación.

Figura 29. Índice de Elasticidad



Fuente. Resultados de experimentación

Tabla 21. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su fuerza e índice de equilibrio

Fuerza W	Harina 1	Harina 2	Índice de equilibrio	Harina 1	Harina 2	Uso
$300 > W > 200$	258,25	274,5	$6 > P/L > 4$	4,0975		Panadería
$W < 200$			$P/L < 4$		1,595	Galletas
$W > 300$			$P/L > 6$			Pastas

Fuente. De la Vega, 2009 - Autores.

8. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

8.1 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Las harinas de trigo (*Triticum aestivum* L) elegidas como receptoras de la fibra, son harinas comerciales normales, provenientes de trigos duros y perfectamente panificables (Tabla 6, P51).

Los valores individuales para las harinas testigo en relación a la Humedad, indican que al adicionar fibra, no hay una modificación relevante. Los valores obtenidos en la muestras de harina 1 al 5% fibra y harina 2 al 5% fibra, se ubican dentro del rango de los requisitos exigidos para humedad en la NTC-529 (Humedad % (m/m): 14,5% máximo). En investigaciones similares, se ha observado que al adicionar fibra a muestras de harina de trigo, el porcentaje de humedad tiende a disminuir; cuando la harina de trigo se mezcla con fuentes de fibra (como plátano verde, zanahoria, remolacha), al comparar los resultados con las muestra de referencias (0.0% de fibra) se han obtenido valores inferiores, por ejemplo, Pacheco, 1998 parte de una harina con un 11.42% de Humedad y al realizar mezclas con fibra de zanahoria y remolacha, la humedad final se encuentran en el rango de 8.98%-10.74%, Escobar, 2009, parte de una harina con un 9.0% de humedad y obtiene humedades finales de 7.7-6.3%. Lo anterior indica que el comportamiento de los datos de humedad en la tabla 6 (P51) sigue un comportamiento semejante a lo expuesto por los autores en referencia.

Los valores individuales para las harinas testigo en relación al Índice de gluten, indican que al adicionar fibra, no hay una modificación relevante, lo que coincide con los trabajos publicados por diversos autores, quienes han concluido que el

índice de gluten es un parámetro de calidad en el que el factor genotipo presenta una elevada contribución a la varianza del carácter (Ames y col. 1999, 2003; Autran y col. 1986; Marchylo y col. 2001). McCann y Li (2013) reportan en su investigación que éste coeficiente se relaciona directamente con la formación de las fibrillas de la red del gluten, estructura proteínica que influye en la resistencia de la masa y Alvarez (n.d) indica en su estudio que un valor bajo de índice de gluten da idea de un gluten flojo y poco consistente, se concluye que el gluten de las muestras analizadas en la presente investigación hay presencia de gluten fuerte y consistente.

Al hidratarse las proteínas del trigo insoluble en agua, gluteninas y gliadinas, por lixiviación de una masa de harina con una corriente de agua salada que al mismo tiempo arrastra al almidón presente y a las proteínas solubles en agua, se forma un complejo proteínico: el gluten húmedo, es una sustancia gomosa que le confiere a la harina sus propiedades elásticas, por lo que se puede decir que es el responsable de la estructura del pan (Alvarez, n.d.). De acuerdo a los estudios realizados por O et al, 2013 el valor aceptable para panificación es de 28% gluten húmedo, lo anterior indica que el comportamiento de los datos de gluten húmedo en la tabla 6 (P51) sobrepasan comportamiento de acuerdo a lo expuesto por los autores en referencia, lo cual influirá de manera positiva en el desarrollo elástico de las masas.

El gluten seco se obtiene, finalmente, desecando el gluten húmedo centrifugado y su valor suele ser aproximadamente la tercera parte del obtenido para éste. (Alvarez, n.d.), lo cual coincide con los datos obtenidos en la tabla 6 (P51).

Los valores individuales para las harinas testigo en relación a la presencia de cenizas, indican que al adicionar fibra, aunque aumenta el porcentaje, no hay una modificación relevante, de acuerdo a la investigación de Gómez et al, 2007, la presencia de cenizas en un porcentaje mayor al 2% reduce la calidad de la harina

de trigo y el rendimiento panadero y de acuerdo a la tabla 6 (P51) los resultados son inferiores a la unidad y, además los valores se ubican dentro del rango de los requisitos exigidos para cenizas en la NTC 267 (contenido de cenizas en fracción de masa en base seca máximo 1,0%).

Gomez et al, 2007, muestra que aquellas harinas que tengan una elevada actividad enzimática (<80s) mostrarán bajos valores de índice de caída, ya que el gel de almidón será degradado rápidamente, una actividad amilásica elevada se traduce en panes más oscuros y con migas más pegajosas, por el elevado porcentaje de dextrinas y harinas que tengan una baja actividad de alfa-amilasa (>300s) presentan problemas en panificación y se recomienda ser mezcladas con harinas de alta actividad enzimática (Concereales, 2013). La investigación de Cuniberti et al, 2013 muestra el análisis de dos tipos de trigo fuerte, donde el Falling Number fue de 413 seg y 390 seg, valores normales para granos sin problemas de brotado e índices de baja actividad alfa-amilasa en las harinas. De acuerdo a lo expuesto por los autores en referencia el valor obtenido en la tabla 6 (P51), muestra que aunque la adición de fibra disminuye el Falling number, las harinas con o sin fibra se ubican dentro del rango de muy baja actividad alfa-amilásica (>360s) lo que posiblemente provocará una rápida degradación del almidón en panificación.

Repo et al, 2007 reporta que en harinas compuestas de trigo y de avena, la capacidad de absorción de agua y la estabilidad al amasado aumentan con la cantidad de avena añadida en la mezcla y en la investigación de Cuniberti et al, 2013 muestra el análisis de dos tipos de trigo fuerte, donde La absorción de agua farinográfica estuvo entre 55 y 57%. Gómez, 2007 indica que, en general las harinas con buena calidad panadera suelen tener mayores valores de absorción lo que mejora el comportamiento de las diferentes harinas en los procesos de amasado. De acuerdo a lo expuesto por los autores se tiene que la adición de fibra provocó una modificación positiva de las muestras en relación al porcentaje de

absorción (tabla 6, P51), lo que influirá en un mejor tiempo y estabilidad en el amasado.

Los valores obtenidos en las muestras harina 1 al 5% fibra y harina 2 al 5% fibra, se ubican dentro del rango de los requisitos exigidos para proteínas en la NTC-529 proteína % (m/m): 14,5% máximo), en la NTC 267 (proteína $N \times 5,7$ fracción de masa en base seca mínimo 7%) y en la NTC-1363 (proteínas porcentaje mínimo: 9%). Pacheco, 1998 al realizar mezclas con fibra de zanahoria (2,5%) y remolacha (5%), encuentra que el porcentaje de proteína se encuentran en el rango de 8.60% y 10.89% respectivamente y Martínez et al, 2013 al sustituir 5% harina de trigo por harina de trigo extruido obtiene 11,78% de proteína. De acuerdo a lo expuesto por los autores en referencia el valor de proteína obtenido en la tabla 6 (P51), muestra que la adición de fibra no modifica sustancialmente las muestras y aumenta la cantidad de proteína presente en las muestras, debido a la presencia de la mezcla de fibras adicionales (fibra comercial Colclean al 5%).

Los valores individuales para las harinas testigo en relación al Zeleny, indican que al adicionar fibra, no hay una modificación relevante. El Índice de Zeleny o sedimentación es un parámetro que mide la fuerza del gluten del trigo, estando muy influenciado por la cantidad y calidad de sus proteínas; igualmente se relaciona con los valores que se obtienen con el alveógrafo de Chopin. (Alvarez, nd). Esta prueba, además de ser simple y altamente reproducible, ha sido considerada como un buen indicador de la calidad de pan (Axford y otros 1979, Blackman y Gill 1980, Dick y Quick 1983, Kruger y Hatcher 1995, Wang y Kovacs 2001) y como una herramienta eficiente para seleccionar trigos en programas de mejoramiento genético (Ayoub y otros 1993, Carter y otros 1999). Medallo, 2000 muestra los rangos de sedimentas respecto a la fuerza donde Cifras de 17 a 26,9 cm^3 corresponden a un trigo suave. Cifras de 27 a 32,9 cm^3 corresponden a un trigo intermedio. Cifras iguales o mayores de 33 cm^3 corresponden a un trigo fuerte, por lo que se encuentra que las harinas usadas son de tipo fuerte.

Aunque la adición de 5% de fibra comercial, aumenta la presencia de fibra en las muestras de harina, los valores obtenidos en la muestras harina 1 5% fibra y harina 2 al 5% fibra, no alcanzan el rango de los requisitos exigidos para panes con fibra en la NTC-1363 (fibra cruda: mínimo 15% y máximo 30%), sin embargo en el estudio de Angioloni y Collar 2009, se encontró que el pan enriquecido con fibras dietéticas (DF desde el 0% hasta el 12%), de naturaleza química diferente (galactomannans y oligosaccharide) obtuvieron reconocimiento médico multidisciplinario. La adición de fibra al 5% coincide con los trabajos publicados por diversos autores, quienes han concluido que el mejor porcentaje de adición de sustitutos es $\leq 5\%$ (Correa, 2012; Gómez et al, 2010; Martínez et al, 2013; Pallarés et al, 2007; Yildiz, 2013).

8.2 DETERMINACIÓN DEL MEJOR DESEMPEÑO EN PLANTA

Se realizó un análisis de panificación para determinar la proporción de fibra comercial adicionada que mantiene la materia prima dentro de los parámetros panificables.

Para la formulación del pan se hicieron diferentes ensayos mezclando harina de trigo comercial y fibra comercial en cuatro proporciones (Tabla 7, P52) para luego, encontrar la mejor sustitución de fibra comercial, teniendo en cuenta su aporte nutricional y las características panificables.

8.3 EVALUACIÓN DEL PUNTAJE.

Se determinan cualitativamente en una escala de 0 a 10, donde 0 es el mínimo desempeño y 10 representa el máximo desempeño en panificación (tablas 8, P53 y 9, P54), dada por parámetros como: Simetría, Tamaño y Homogeneidad de la

miga, Volumen, Relación volumen/peso, Color de la corteza y Dureza de la corteza.

En la prueba de panificación se obtuvieron panes con diferentes tamaños y volúmenes de acuerdo al porcentaje de fibra adicionado (figura 16, P53), donde se realiza la siguiente clasificación para ambas muestras (harina 1 y harina 2):

1. Testigo: En las muestras testigo se evidencia su excelente calidad panadera, las dos muestras presentan buena simetría, el tamaño se adaptó perfectamente al molde, el color de la corteza y dureza en ambas muestras fue muy similar, cabe resaltar que la harina 2 tiene una mejor relación peso/volumen (Figura 16 /1).
2. Adición del 2% de fibra comercial: En las muestras se evidencia un cambio respecto al testigo, en la muestra de la harina 1 la simetría bajó, aumentó su dureza; la muestra de harina 2 conservó más su simetría la dureza de la miga aumento, el color de la corteza es mejor respecto a la muestra harina 1 (Figura 16 /2).
3. La adición del 5% de fibra comercial en las dos muestras, se ve reflejado el efecto de la fibra, en ambos casos presentan similitudes en su textura, volumen y homogenidad de la miga (Figura 16 /3).
4. Adición del 7.5 % de fibra comercial: la harina 2 presenta una mejor simetría, para ambas muestra el aspecto de la miga es similar, la dureza de la miga aumento en consideración con la muestra anterior, el volumen se ve afectado en ambos casos (Figura 16 /4).

Las pruebas permiten definir cuál formulación presenta mejor desempeño en planta. Luego de realizar las pruebas de panificación, se determina que el porcentaje de 2.5%, aunque presenta la mejor evaluación en panificación, no aportaría fibra dietaría de manera significativa en el producto final. Los porcentajes

de 7.5% y 10% aportarían significativamente fibra dietaría en el final, pero se alejan de los valores óptimos de panificación, teniendo en cuenta que 0 es el mínimo desempeño y 10 representa el máximo desempeño en panificación, y con la adición de fibra en éstos porcentajes se obtienen calificaciones de 5 y 4 puntos respectivamente (tablas 8 y 9).

Tomando como base la investigación realizada por Peressini y Sensidoni (2.009) en el cual el uso Inulina en porcentajes de 2.5, 5.0 y 7,5% en materia seca (harina de trigo además de inulina) sugirió que un nivel de 5% de inulina HP (Raftiline HP) y ST (Raftiline ST) produce un pan funcional y de gran aceptación sensorial; la investigación realizada por Campos (2009) utilizo inulina en porcentajes de 4, 6 y 8% en elaboración de pan de caja obteniendo los mejores resultados de aceptación con el 6% de adición, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la prueba de panificación (resaltado en la figura 17, P54), se elige para las pruebas alveográficas del presente estudio, la adición de 5% de fibra comercial la cual en las dos harinas analizadas está por encima del promedio, obteniendo calificaciones de 6 y 7 puntos (tablas 8 y 9) y representando un aporte nutricional significativo de fibra (tabla 6).

8.4 PRUEBAS ALVEOGRÁFICAS

En la tabla 10 (P55) se presentan los datos cuantitativos de los resultados de las pruebas alveográficas.

8.4.1 Tenacidad de la masa. En la tabla 11 (P55) se presentan los estadísticos generales y en la tabla 12, el ANOVA correspondiente para medir el efecto de la adición de fibra sobre este parámetro.

La prueba alveográfica “tenacidad de la masa” arrojó los resultados que se observan en la tablas 11(P55), 12 y figura 18(P56). El análisis estadístico, indica que la media de los datos para las muestras con 5% de fibra presenta diferencias significativas entre sí (Harina 1 y harina 2), ya que el valor P es 0,031 cuando el valor alfa es igual $\alpha = 0.05$ (Anexo 12). Esto indica que adicionar fibra comercial de la marca Colclean al 5% modifica la consistencia (Elasticidad) de la masa dada por el contenido de Glutenina. Por lo tanto en el desarrollo de esta investigación se acepta la hipótesis H_a en relación a la tenacidad de la masa.

La tenacidad de la masa está dada por la altura de cada curva (figuras 19 y 20, P57), se observa que aumenta significativamente cuando se le adiciona 5% de fibra. Se observa que este comportamiento se relaciona con la absorción de agua ya que las medidas alveográficas se hacen con hidratación constante.

La tenacidad de una masa (P) se entiende como la resistencia que presenta la masa panadera a romperse y se relaciona con el contenido de Glutenina. Indica una medida de la elasticidad de la masa, la cual es necesaria para la retención de dióxido de carbono (CO_2) y la formación de la estructura esponjosa dada por la desnaturalización de las glutelinas durante el amasado. La masa panadera debe ser fuerte para evitar que el gas se escape con facilidad. De acuerdo a esto, es importante decir que la adición de fibra comercial Colclean le proporciona a las muestras Harina 1 y harina 2 mayor elasticidad y le confiere una mayor estabilidad a la estructura proteínica del gluten, probablemente al aumentar las interacciones proteína-fibra, que pueden favorecer en el desarrollo de la masa la retención de gas durante la cocción y aumentar la esponjosidad de la miga. Este mismo análisis lo hace Martínez et al (2013), quienes encontraron que al sustituir 5% de harina de trigo por harinas de trigo extruidas, aumenta la tenacidad de las muestras y la producción de gas, sin embargo no altera significativamente las propiedades reológicas de las mismas, se analiza que es posible obtener una masa adecuada y

pan con buenas características reológicas utilizando masa con 5% de harina de trigo extruido. De igual manera con base en el valor de la tenacidad media 131,75 (Tabla 11. Estadísticos descriptivos variable tenacidad) y lo reportado en el estudio de Gómez O et al, 2011 indican que la harina todavía es panificable y puede utilizarse para elaborar productos en los cuales la masa no requiera desarrollo total de la red proteica, por ejemplo en panes de los grupos plano y esponjados (tostadas, cochinitos, magdalenas, yoyos, etc.) a excepción de mantecadas. La adición de fibra condiciona dentro de la masa el desarrollo del gluten, afecta la interacción intramolecular de la Glutenina en la formación del gluten, interviniendo fuertemente en el rendimiento de panificación (Veraverbeke y Delcour 2.011).

8.4.2 EXTENSIBILIDAD DE LA MASA:

La prueba alveográfica “extensibilidad de la masa” arrojó los resultados que se observan en las tablas 13 - 14 y figura 21(P58-59). El análisis estadístico, indica que la media de los datos para las muestras con 5% de fibra presenta diferencias significativas entre sí (Harina 1 y Harina 2), ya que el valor P es de 0,0001 cuando el valor alfa es igual $\alpha = 0.05$. Al comparar cada muestra de harina con y sin fibra, estas últimas presentan diferencias significativas, es decir, que la adición de fibra modifica la extensibilidad de las masas, es decir, que la adición de fibra condiciona dentro de la masa el desarrollo del gluten.

Se concluye que la extensibilidad difiere para los dos tipos de harina, por lo cual se rechaza la hipótesis de igualdad de efectos. El coeficiente de determinación (0,910) indica que la variabilidad en la respuesta está explicada en un 91% entre las cantidades de fibra adicionada y los tipos de harina. (Análisis post hoc).

La extensibilidad de la masa está dada por la longitud de la curva expresada en mm (es la base del alveograma), (figuras 22 y 23, P60), (Anexo 13), se observa que disminuye significativamente cuando se le adiciona 5% de fibra comercial. En estas gráficas se valida que este comportamiento se relaciona con la absorción de agua, ya que las medidas alveográficas se hacen con hidratación constante.

La extensibilidad de la masa (L) indica la mayor o menor capacidad que posee la masa para ser estirada y está relacionada con el contenido de gliadina, proteínas que aportan la extensibilidad a la masa y son, por tanto responsables de la habilidad de la masa para retener el dióxido de carbono (CO_2) durante la fermentación y del volumen del pan. La masa panadera debe ser fuerte para evitar que el gas se escape con facilidad. De acuerdo a esto, es importante decir que la adición de fibra comercial Colclean le proporciona a las muestras Harina 1 y harina 2 menor extensibilidad lo que se ve reflejado en un menor volumen del pan (Figura 16, P53), sin que ello afecte negativamente el desarrollo de la glutenina. Jasim et al, 2013 identifican que una adición de fibra insoluble DF (≤ 5 g/100 g) también registra disminución de la extensibilidad de harinas de trigo estándar. Garófalo et al, 2010 identificaron que sustituir harina de trigo por polisacáridos no amiláceos (arabinosa y xilosa), en el intervalo de 0,7% a 1,4% (w/w) disminuye la extensibilidad de la masa (L) en diferentes variedades de trigo. De manera contraria ocurre en el estudio de Steffolani, 2010, las masas elaboradas con la enzima pentosanasa Pn poseen menos tenacidad, pero son más extensibles, lo que indica que la enzima modificó las propiedades de agregación de la red de gluten, debido al menor tamaño de los pentosanos que causó cambios en las interacciones principalmente entre las proteínas del gluten modificando la solubilidad de las gliadinas y de las gluteninas, la formación de los puentes disulfuro y la redistribución del agua desde los pentosanos hacia el gluten. Gómez O. (2011) deduce que no es recomendable incrementar la adición de sustitutos más allá del 6%, ya que en la investigación realizada, al incrementar la cantidad

de avena adicionada a la masa hasta 9%, disminuye el porcentaje de gluten y se pierde extensibilidad en la masa.

8.4.3 Plasticidad de la masa. El descriptivo estadístico de los datos se presenta en la Tabla 15 el Análisis de varianza ANOVA en la tabla 16(P61). El comportamiento de los datos se analiza en la figura 24.

La prueba alveográfica “plasticidad de la masa” arrojó los resultados que se observan en la tabla 15 y 16 y figura 24 (P61-62). El análisis estadístico, indica que la media de los datos para las muestras con 5% de fibra presenta diferencias altísimamente significativas entre sí (HARINA 1 y HARINA 2), ya que el valor P (P value según tabla 15 P61) es de 0,0000 cuando $\alpha = 0.05$. Al comparar cada muestra de harina con y sin fibra, éstas últimas presentan diferencia significativas, es decir, que la adición de fibra modifica la plasticidad de las masas. La adición de fibra condiciona dentro de la masa el desarrollo del gluten, la interacción intermolecular de la glutenina y la glutenina afectan la extensión biaxial de la masa generando masas poco resistentes y poco elásticas.

En el desarrollo de ésta investigación se concluye que la plasticidad de las masas difiere significativamente para las dos muestras de harina, por lo cual se rechaza la hipótesis de igualdad de efectos.

El índice de hinchamiento (G) está relacionado con el volumen de aire necesario para romper el alveolo formado al insuflar aire en la masa, para el presente estudio la adición de fibra comercial en las muestras de las harinas de trigo (*Triticum aestivum* L) generó disminución de la plasticidad de las masas (figura 24, P62) reduciendo así la capacidad de la masa de retener el CO₂ producido durante la fermentación. Gómez O. (2011) recomienda cantidades menores o iguales a 6% de sustitutos, los cuales se pueden utilizar en masa para bizcocho, con ligera disminución de volumen pero aceptable por el consumidor.

Esta plasticidad o índice de hinchamiento (G) se relaciona la extensibilidad (L), por lo tanto se concluye que los valores de G tendrán un comportamiento similar a los valores de L en la adición de fibra al 5%; tanto L como G tienden a disminuir, entiéndase que la fibra afecta de manera significativa las propiedades de extensibilidad y plasticidad de las muestras HARINA 1 y HARINA 2, por lo tanto, se debe profundizar en el análisis sobre el efecto de la fibra comercial Colclean y su interacción con las proteínas del gluten en posteriores investigaciones.

8.4.4 Fuerza de la masa. El descriptivo estadístico de los datos se presenta en la Tabla 17 (P63) el Análisis de varianza ANOVA en la tabla 18 (P64), El comportamiento de los datos se analiza en la Figura 25 (P64).

En la tabla 18 (P64) ANOVA se observa que entre las muestras de harina al 0% el valor P es 0.516, cuando $\alpha = 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre harina 1 y harina 2 sin fibra, pero al comparar éste valor para las muestras acondicionadas con fibra se obtiene el valor P es 0.000 ($\alpha = 0.05$), quiere decir que entre harina 1 y harina 2 al 5% hay diferencias significativas, por tanto se rechaza la hipótesis de igualdad de efectos H_0 .

La fuerza de la masa está dada por el área bajo la curva (figuras 26-27, P65) en estas gráficas se observa que disminuye significativamente cuando se le adiciona 5% de fibra comercial. De acuerdo a la clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su fuerza ($W \times 10^{-4}$ JOULES) (De la Vega, 2009), las muestras testigos están clasificadas dentro del rango de masas fuertes ($W > 300$) y al adicionar fibra disminuye la fuerza para clasificarse dentro del rango de masa promedio o aceptables ($300 > W > 200$) (Anexo 14).

La fuerza de la masa también llamada trabajo específico de deformación, por ser el necesario para deformar la lámina de masa hasta su rotura, se relaciona con el contenido de Gliadinas, lo que comprueba que la fibra interfiere en la formación del gluten. La fibra debe reducir las uniones intermoleculares entre la gliadina y glutenina. La fibra comercial según su composición, debe hacer uniones químicas con los extremos hidrofílicos de la gliadina inclusive con las cisteína, reduciendo así los puentes disulfuro importantes en la formación del gluten, pero estas afirmaciones debe ser verificadas en futuras investigaciones en el tema.

Kumar et al (2012) en su estudio genético de la fuerza del gluten, comprueba que las gliadinas pueden tener efectos secundarios o la modificación directa de la fuerza del gluten, siendo mayor el contenido de gliadinas en trigos duros que en trigos blandos, así se demuestra en el estudio de Zhao et al (2010), donde la diferencia de la fuerza de tracción en la extensión al 500% en diferentes clases de trigo, es altamente significativa, varió desde 0,12 hasta 0,67 N de gluten de trigo duro y de 0,10 a 0,20 para el gluten de trigo blando, por lo que se identifica en la presente investigación, que el trigo usado es de carácter duro y se ve modificada directamente la red proteica de las muestras con la adición de fibra comercial, sin embargo se mantiene dentro de los parámetros de harina de trigo para uso en panadería ($300 > W > 200$), de acuerdo con los trabajos publicados por diversos autores (Cuniberti 2013; De la Vega, 2009; Pallarés et al, 2007;)

8.4.5 Equilibrio P/L de la masa. El Análisis de varianza ANOVA en la tabla 19 (P66). El comportamiento de los datos se analiza en la Figura 28 (P67).

La prueba alveográfica “Equilibrio P/L de la masa” arrojó los resultados que se observan en la tabla 19 y figura 28(P66-67). El análisis estadístico, indica que la media de los datos para las muestras con 5% de fibra presenta diferencias significativas entre sí (HARINA 1 y HARINA 2), ya que el valor P es 0,000. Al

comparar cada muestra de harina con y sin fibra, éstas últimas presentan diferencias altísimamente significativas, $P \text{ value} = 0,000$ según tabla 19(P66), es decir, que la adición de fibra modifica el equilibrio P/L de la masa, por tanto condiciona dentro de la masa el desarrollo de la Glutenina y la Glutenina, tal y como se señaló en el análisis de resultados de la Tenacidad (P) y la Extensibilidad (L), (Anexo 15).

En el desarrollo de ésta investigación, se concluye que adicionar fibra altera altamente el equilibrio de las masas, por lo cual se rechaza la hipótesis de igualdad de medias (H_0) y se concluye que las muestras difieren entre sí (H_a).

De acuerdo a la clasificación de la harina de trigo de acuerdo a su índice de equilibrio (De la Vega, 2009), las muestras testigos están clasificadas dentro del rango de masas extensibles ($P/L < 4$) y al adicionar fibra las muestras presentan comportamientos diferentes, mientras HARINA 2 se mantiene como una masa extensible ($P/L < 4$), HARINA 1 se clasifica dentro de las harinas con gluten balanceado, de acuerdo a los estudios realizados por De la Vega, 2009, en la actualidad, son pocos los trigos que presentan este equilibrio, por lo que comúnmente se hacen mezclas de trigos desbalanceados para alcanzar el equilibrio entre gliadinas y gluteninas.

El equilibrio de las masas es una propiedad que está directamente relacionada con las modificaciones que puedan presentar tanto la tenacidad (P) como la extensibilidad (L) y para el presente estudio, la adición de fibra comercial en las muestras de las harinas de trigo (*Triticum aestivum* L) produjo aumento en la tenacidad y disminución en la extensibilidad lo que generó un desequilibrio de las masas, así mismo Martínez et al (2013) encuentra en su investigación que sustituir 5% de harina de trigo por harinas de trigo extruidas, disminuye la extensibilidad (L), aumenta la tenacidad (P) de las muestras y la producción de gas. Gómez O. (2011) indica que a medida que se incrementa la adición de sustitutos, la relación

de P/L aumenta lo que significa que se presenta un desequilibrio entre tenacidad y extensibilidad, efecto no positivo para la calidad de la masa.

8.4.6 Índice de elasticidad de la masa. El análisis de varianza ANOVA en la tabla 20 (P67). El comportamiento de los datos se analiza en la Figura 29 (P67).

La prueba alveográfica “índice de elasticidad de la masa” arrojó los resultados que se observan en la tabla 20 y Figura 29 (P67). El análisis estadístico, indica que la media de los datos para las muestras con 5% de fibra presenta diferencias significativas entre sí (Harina 1 y Harina 2), ya que el valor P según tabla 20 (P67) es de 0,007 cuando $\alpha = 0.05$. Al comparar cada muestra de harina con y sin fibra, éstas últimas presentan diferencia significativas, P value = 0,007, según tabla 20 (P67), es decir, que la adición de fibra modifica el índice de elasticidad de masas, es decir, que, la adición de fibra condiciona dentro de la masa el desarrollo del gluten.

En el desarrollo de ésta investigación rechaza la hipótesis de igualdad (H_0) de medias y se concluye que las muestras difieren, en relación al índice de elasticidad de las masas.

La adición de fibra comercial en las muestras de las harinas de trigo (*Triticum aestivum* L) generó disminución del índice de elasticidad de las masas (figura 29, P67), contrario a otras investigaciones: para Correa (2.012), la adición de hidrocoloides (dos tipos de hidroxipropilmetilcelulosa de distinto grado de sustitución (HPMC F 4M y HPMC F50), celulosa microcristalina (MCC), carboximetilcelulosa (CMC), y dos tipos de pectinas, una amidada de bajo grado de esterificación (PBM) y otra de alto grado de esterificación (PAM)) entre el 0,25 y 2 %, dieron como resultado panes con migas más blandas, de mayor cohesividad, resiliencia y elasticidad; de igual manera en el estudio de Yildiz (2.013) indica que

el efecto del tipo de fibra dietética (avena, guisante, limón y manzana) y la concentración (0, 2,5, 5, 10, 15 y 20% w / w) en las propiedades reológicas del almidón de trigo, aumentaron la elasticidad del gel de almidón de trigo. De acuerdo a la investigación de Veraverbeke y Delcour (2011) la elasticidad de la harina de trigo está dada por la naturaleza polimérica de la glutenina, que para el presente estudio se vio alterada significativamente en la muestra Harina 1.

De acuerdo al análisis de las pruebas alveográficas, se concluye que en las condiciones de este trabajo, se acepta la hipótesis H_a en donde se afirma que la adición de fibra comercial Colclean en dos muestras comerciales de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) llega a modificar las propiedades reológicas del pan durante el proceso panificación, es decir las dos muestras si tienen diferencias significativas; es así que la adición de fibra al 5% modifica las propiedades funcionales extensibilidad (L), plasticidad (G), fuerza (W), relación P/L e Índice de elasticidad (Ie), por lo tanto, se deduce que con la adición de 5% de fibra comercial Colclean, la muestra Harina 1 si es apta para elaboración de pan (tabla 21 P68), mientras que la muestra Harina 2 es apta para la elaboración de galletas, debido principalmente al desequilibrio P/L (< 2) obtenido con la adición de fibra, (Anexo 16).

9. EVALUACIÓN SENSORIAL.

Para determinar la aceptabilidad del pan adicionado con fibra comercial, se realizó el análisis sensorial para 30 catadores no entrenados, los cuales participaron en un panel de aceptación en el cual se encontró que no hay una diferencia significativa entre las preparaciones según el análisis estadístico descrito posteriormente.

Los atributos de este pan tipo molde que se perciben a través de los sentidos, se encaminan con preguntas concretas relacionadas con la cuantificación que cada participante del panel de catación tiene con respecto al siguiente cuestionario:

Se codifican las muestras con 3 dígitos:

325: HAZ DE OROS

876: HAZ DE OROS CON FIBRA

256: INDUPAN

666: INDUPAN CON FIBA

Se evalúan aleatoriamente con una escala de aceptación de 5 casillas siendo:

Primera “me desagrada mucho”

Segunda “me desagrada”

Tercera “ni me agrada ni me desagrada”

Cuarta “me agrada”

Quinta “me agrada mucho”,

Así que tienen una escala de 5 valores para poder cuantificar la aceptación. Luego se le presenta al catador las cuatro muestras (harina 1 con y sin fibra, harina 2 con

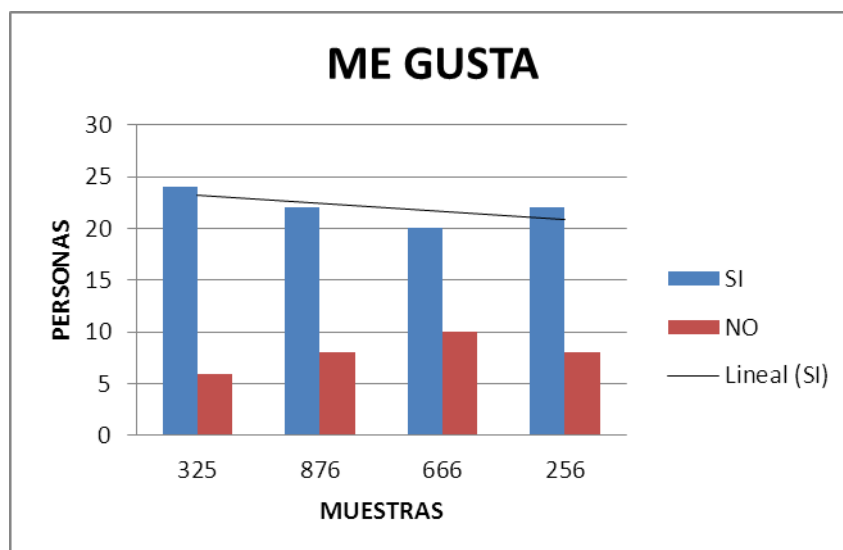
sin fibra) y estelas evalúa en un sitio iluminado y libre de distracciones, se utilizó agua para eliminar el sabor entre muestras y así tener una evaluación con pocas desviaciones.

Tabla 22. Prueba sensorial pregunta le gusta Si/No

<i>Me gusta</i>	<i>CRITERIO</i>	<i>MUESTRAS/ PUNTAJE</i>			
		325	876	666	256
	SI	24	22	20	22
	NO	6	8	10	8

Fuente: Los autores

Figura 30. Gráfica prueba sensorial pregunta le gusta Si/No



***325**: HAZ DE OROS, **876**: HAZ DE OROS CON FIBRA, **256**: INDUPAN, **666**: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

El efecto de la adición de fibra en cuanto a gusto se refiere, se evidencia en la gráfica anterior, demostrando que entre las muestras no hay diferencias significativas, ya que los puntajes promedio que los panelistas dan a estos productos varían entre 20 y 24, esto quiere decir que en sabor los panes no son

muy diferentes entre sí, cabe resaltar que las muestras de la marca haz de oros tuvieron una mejor aceptación (Figura 30) (Tabla 22).

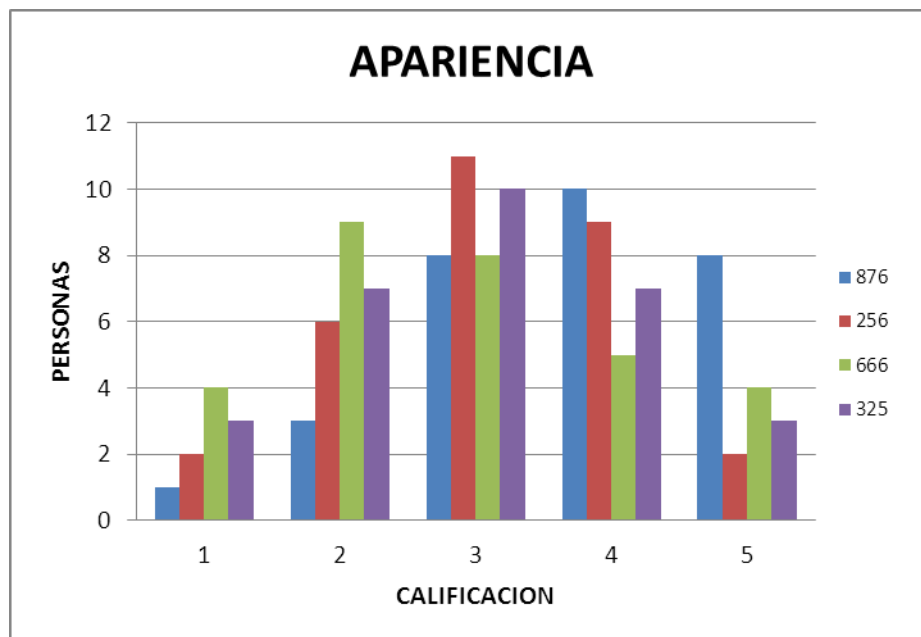
Tabla 23. Prueba sensorial Apariencia

	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
Apariencia	256	2	6	11	9	2
	666	4	9	8	5	4
	325	3	7	10	7	3
	876	1	3	8	10	8

1“me desagrada mucho”, 2“me desagrada”,3 “ni me agrada ni me desagrada”,4 “me agrada”,
5 “me agrada mucho”,

Fuente: Los autores

Figura 31. Prueba sensorial Apariencia



***325**: HAZ DE OROS, **876**: HAZ DE OROS CON FIBRA, **256**: INDUPAN, **666**: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

Se aprecia en la gráfica, para la muestra 666 se obtuvo el resultado con el índice más bajo frente a las otras muestras 4 personas respondieron que les “desagrada mucho”, ante la siguiente alternativa, con el índice más bajo frente a las otras muestras 9 personas dijeron que les “desagrada” su apariencia esto nuevamente para la muestra 666, la tercera 10 personas informan “no agrada ni desagradarle” esto para la muestra 325, para la alternativa de “me agrada” 10 personas responden agrada la apariencia de la muestra 876, finalmente ocho personas manifiestan que le agradaba mucho la apariencia de la muestra 876, es decir que la muestra haz de oros con adición de fibra fue la que mejor aceptación tubo frente a los encuestados, frente a las negativas iniciales correspondientes a la harina Indupan con fibra (Figura 31)(Tabla 23).

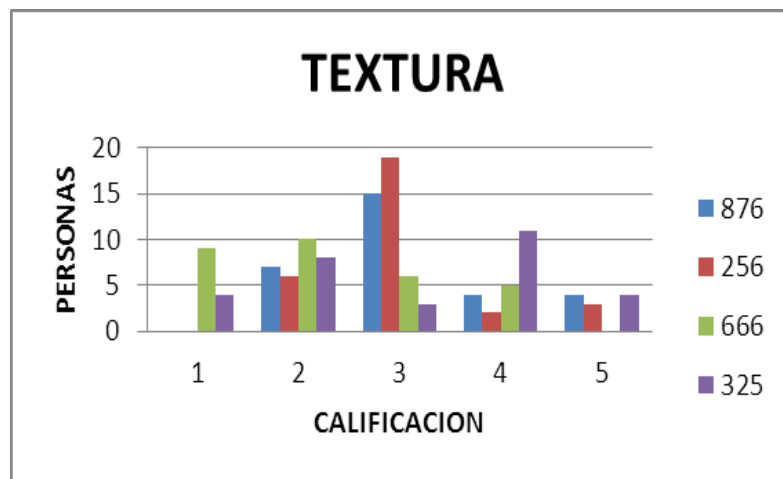
Tabla 24. Prueba sensorial Textura

	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
Textura	876	0	7	15	4	4
	256	0	6	19	2	3
	666	9	10	6	5	0
	325	4	8	3	11	4

1“me desagrada mucho”, 2“me desagrada”, 3 “ni me agrada ni me desagrada”, 4 “me agrada”, 5 “me agrada mucho”,

Fuente: Los autores

Figura 32. Prueba sensorial Textura



*325: HAZ DE OROS, 876: HAZ DE OROS CON FIBRA, 256: INDUPAN, 666: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

Se aprecia en la gráfica, para la muestra 666 se obtuvo el resultado con el índice más alto frente a las otras muestras 9 personas respondieron que les “desagrada mucho”, ante la siguiente alternativa, nuevamente con el índice más alto frente a las otras muestras 10 personas dijeron que les “desagrada” su textura, la tercera 6 personas informan “no agrada ni desagradar” 5 personas respondieron que les agradaba su textura, sin embargo ninguna persona dijo agrada mucho, esto para la muestra 666, la muestra de haz de oros sigue siendo la más aceptada, frente a las muestras de Indupan.

La apreciación frente a la muestra 876 (HAZ DE OROS CON FIBRA) fue la siguiente: 6 respondieron que les “desagradaba” su textura, 15 personas y con uno de los índices más altos, dijeron que “ni les agradaba ni les desagradaba”, 4 personas dijeron que les “agradaba” otras 4 respondieron que les “agradaba mucho”

Para la muestra 256 (INDUPAN), a 6 personas y con el índice más bajo no les agrado su textura, a 18 personas y con el índice más alto “ni les agrada ni les

desagrada”, a 2 personas les agrada y a 3 personas les agrada mucho (Figura 32)(Tabla 24).

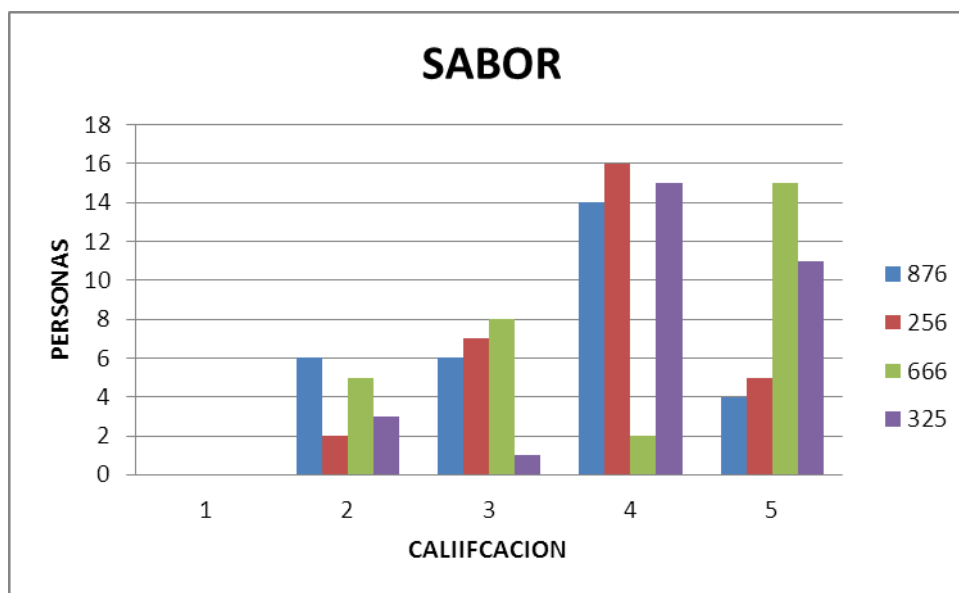
Tabla 25. Prueba sensorial Sabor

	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
Sabor	876	0	6	6	14	4
	256	0	2	7	16	5
	666	0	5	8	2	15
	325	0	3	1	15	11

1“me desagrada mucho”, 2“me desagrada”,3 “ni me agrada ni me desagrada”,4 “me agrada”,
5 “me agrada mucho”,

Fuente: Los autores

Figura 33. Prueba sensorial Sabor



*325: HAZ DE OROS, 876: HAZ DE OROS CON FIBRA, 256: INDUPAN, 666: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

la gráfica muestra que ninguno de los encuestados respondieron que les desagradaba mucho alguna de las muestras , por su parte el sabor de la muestra 876 le desagradó a 6 personas, a 6 ni les agrada ni les desagrada, con un índice alto 14 personas dijeron que les agradaba la muestra , con el índice más bajo frente a las otras muestras 4 personas dijeron que les agradaba mucho el sabor de esta muestra, en cuanto a la muestra 256 con el índice más bajo frente a las otras muestras 2 personas dijeron desagradarles su sabor, a 8 ni agradares ni desagradarles, dos personas dijeron agradarles y con el índice más alto siendo la muestra a la que 15 personas dijeron gustarle mucho. De la muestra 325 a 5 personas les desagradó, a 8 n les agrada ni les desagrada, 15 personas respondieron que les agradaba y 11 personas respondieron que les agradaba mucho. Por lo que podemos concluir que los cuatro sabores de las muestras fueron agradables a los encuestados (Figura 33) (Tabla 25).

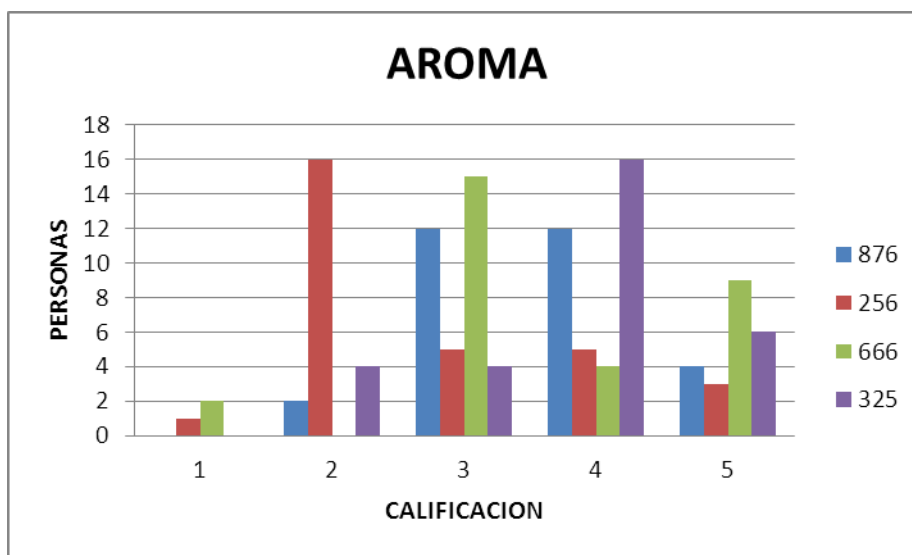
Tabla 26. Prueba sensorial Aroma

	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
Aroma	876	0	2	12	12	4
	256	1	16	5	5	3
	666	2	0	15	4	9
	325	0	4	4	16	6

*1“me desagrada mucho”, 2“me desagrada”,3 “ni me agrada ni me desagrada”,4 “me agrada”,
5 “me agrada mucho”,

Fuente: Los autores

Figura 34. Prueba sensorial Aroma



*325: HAZ DE OROS, 876: HAZ DE OROS CON FIBRA, 256: INDUPAN, 666: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

La Figura 34 nos muestra que a 16 personas y con un índice significativamente alto dijeron desagradarles el aroma de la muestra 256, 5 personas dijeron ni agradarles ni desagradarles, a 5 personas les agrado y 3 personas dijeron agradarle mucho el aroma de esta muestra; la muestra 876 a dos personas les desagrado su aroma, a 12 ni es agrado ni les desagrado, a 12 personas les agrado el aroma y a 4 les agrado mucho, el aroma de la muestra 666 le desagrado mucho a 2 personas, a 15 ni les agrado ni les desagrado , a 5 personas les agrado y a 9 personas les agrado mucho, la muestra 325 a 4 personas no es agrado su aroma, a 16 les agrado y a 6 les agrado mucho, por lo que podemos concluir que el aroma que más agrado fue el de la muestra 325, y el que más le desagrado a la gente fue el aroma de la muestra 256 con índices muy significativos respectivamente (Figura 34)(Tabla 26).

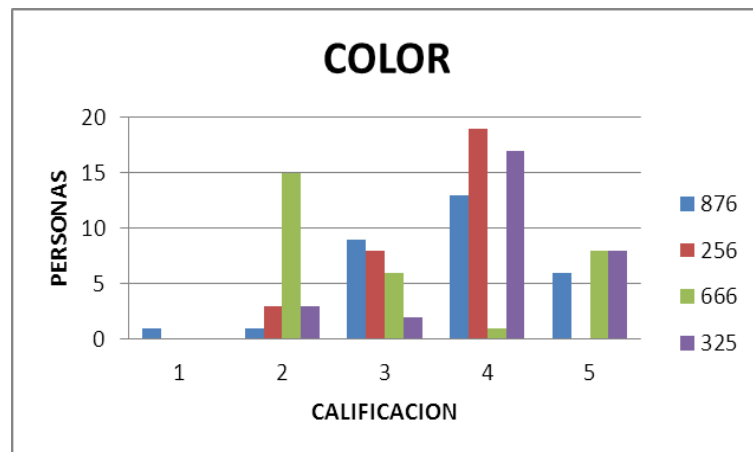
Tabla 27. Prueba sensorial Color

<i>Color</i>	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
	876	1	1	9	13	6
	256	0	3	8	19	0
	666	0	15	6	1	8
	325	0	3	2	17	8

1“me desagrada mucho”, 2“me desagrada”,3 “ni me agrada ni me desagrada”,4 “me agrada”,
5 “me agrada mucho”,

Fuente: Los autores

Figura 35. Prueba sensorial Color



***325:** HAZ DE OROS, **876:** HAZ DE OROS CON FIBRA, **256:** INDUPAN, **666:** INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

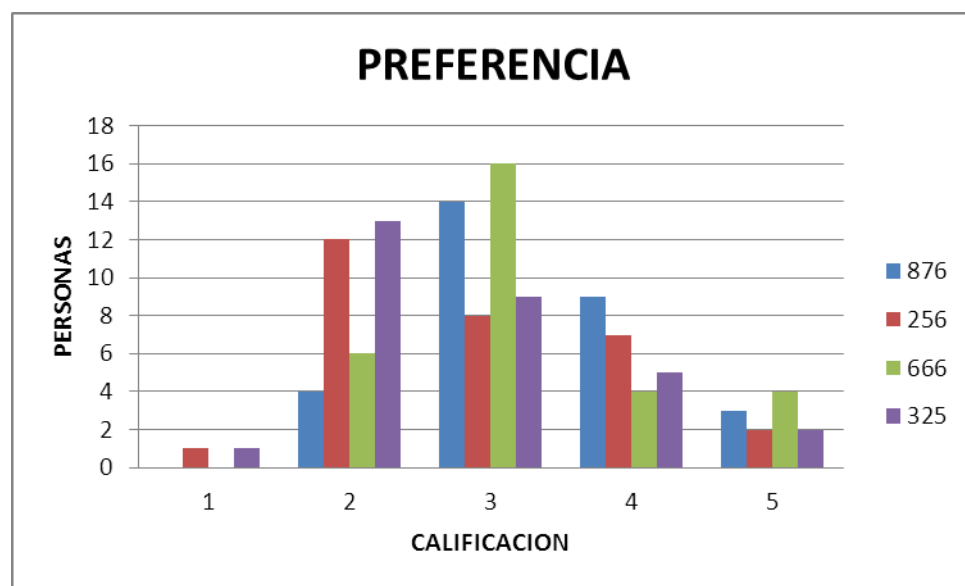
El grafico de parámetro color indica que a 1 persona de los encuestados no le gusto el color de la muestra 876, el color que más desagrado fue el de la muestra 666, el color de la muestra que más agrado fue el de a 325 y con un empate el color que gusto mucho entre los encuestados fue la muestra 666 (Indupan con fibra) y la 325 (Haz de oros) ambas con una participación de 8 personas (Figura 35) (Tabla 27).

Tabla 28. Prueba sensorial Preferencia

	muestra	PUNTAJE				
		1	2	3	4	5
Preferencia	876	0	4	14	9	3
	256	1	12	8	7	2
	666	0	6	16	4	4
	325	1	13	9	5	2

Fuente: Los autores

Figura 36. Prueba sensorial Preferencia



*325: HAZ DE OROS, 876: HAZ DE OROS CON FIBRA, 256: INDUPAN, 666: INDUPAN CON FIBRA

Fuente: Los autores

A preferencia de las muestras podemos notar que no hubo una inclinación considerable por ninguna, sino que por el contrario la gente se mostró muy imparcial mostrando los índices más alto frente a la alternativa de ni me agrada ni me desagrada mucho (Figura 36) (Tabla 28).

CONCLUSIONES

La tenacidad de las muestras de harina de trigo (*Triticum Aestivum L*) aumentó significativamente con la adición de 5% de fibra comercial, lo que le proporciona a las masas mayor elasticidad y estabilidad en la estructura proteínica del gluten, probablemente al aumentar las interacciones proteína-fibra, que favorecen el desarrollo de la masa y aumenta la esponjosidad de la miga.

La adición de fibra comercial en las muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) generó disminución de la extensibilidad de las masas, lo que debilita la habilidad de la masa durante la fermentación, viéndose reflejado en un menor volumen del pan.

La plasticidad de las muestras analizadas con adición de fibra comercial no se vio afectada significativamente, lo que ayuda a reducir el efecto de la disminución de la extensibilidad.

La fuerza de las muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) está afectada con o sin fibra debido a que las muestras tienen orígenes de trigo duro, sin embargo al adicionar fibra comercial disminuye, manteniéndose dentro de los parámetros de harina de trigo para uso en panadería ($300 > W > 200$) en ambas muestras.

Aunque la tenacidad (P) y la extensibilidad (L) fueron modificadas con la adición de fibra comercial, los resultados en la relación de éstas dos (equilibrio P/L), indica para qué tipo de trabajo panadero serán adecuadas, por tanto se deduce que la muestra de harina 1 si es apta para elaboración de pan, mientras que la muestra

harina 2 es apta para la elaboración de galletas, debido principalmente al desequilibrio P/L (< 2) obtenido con la adición de fibra.

El índice de elasticidad (le) de las muestras disminuye significativamente al adicionar 5% de fibra comercial, especialmente en la muestra Harina 1, lo cual puede influir negativamente en la expansión de la masa durante la fermentación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es muy posible que la adición de la fibra comercial Colclean al 5% en las muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum* L), influye en los puentes disulfuro y en los enlaces intramoleculares e intermoleculares de las dos muestras estudiadas.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda:

Analizar la presencia de fibra y grasa al adicionar fibra comercial con métodos diferentes a la caracterización fisicoquímica del Inframatic 8000 con el fin de corroborar los resultados con otros métodos de análisis.

Realizar experimentos con otros tipos de fibra y puntos intermedios de adición (entre 2.6 y 4.9%) y analizar las respectivas revisiones de la curvas alveográficas y estadísticas pues se encuentra en diferentes investigaciones resultados positivos con adiciones de fibra en estos rangos

Realizar mediciones reológicas con diferentes métodos y equipos como Farinógrafo, Extensógrafo, Mixolab, entre otros, para determinar la interacción proteína-fibra de manera más detallada.

Realizar estudios de calorimetría diferencial de barrido (en inglés: *Differential Scanning Calorimetry* o **DSC**) para determinar si se presentan o no pérdidas de la fibra total en el proceso de cocción del pan.

Para próximas investigaciones es recomendable hacer un análisis reológico incluyendo mínimo un factor adicional de estudio (t. T, ingredientes, etc.) y realizando mayor número de réplicas.

Verificar en próximas investigaciones de qué manera la adición de fibra comercial influye en los puentes disulfuro y en los enlaces intramoleculares e intermoleculares de la harinas de trigo (*Triticum aestivum* L).

ANEXOS

ANEXO 1. CONTENIDO NUTRICIONAL DE LA HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

HARINA DE TRIGO (<i>Triticum aestivum</i> L)					
Aporte por					
Aporte por ración		Minerales		Vitaminas	
Energía [Kcal]	341,00	Calcio [mg]	17,00	Vit. B1 Tiamina [mg]	0,11
Proteína [g]	9,86	Hierro [mg]	1,00	Vit. B2 Riboflavina [mg]	0,03
Hidratos carbono [g]	70,60	Yodo [mg]	10,00	Eq. niacina [mg]	2,33
Fibra [g]	4,28	Magnesio [mg]	23,00	Vit. B6 Piridoxina [mg]	0,10
Grasa total [g]	1,20	Zinc [mg]	0,78	Ac. Fólico [µg]	16,00
AGS [g]	0,16	Selenio [µg]	4,00	Vit. B12 Cianocobalamina [µg]	0,00
AGM [g]	0,13	Sodio [mg]	2,00	Vit. C Ac. ascórbico [mg]	0,00
AGP [g]	0,51	Potasio [mg]	146,00	Retinol [µg]	0,00
AGP / AGS	3,19			Carotenoides (Eq. β carotenos) [g]	0,00
(AGP + AGM) / AGS	4,00			Vit. A Eq. Retinol [µg]	0,00
				Vit. D [µg]	,00

Colesterol [mg]	0,00	Fósforo [mg]	0,00
Alcohol [g]	0,00		
Agua [g]	14,10		

Ácidos grasos

Mirístico C14:0 [g]	0,00	Palmi oleico C18:1 [g]	0,00	Araquidónico C20:4 [g]	0,00
Palmítico C16:0 [g]	0,15	Oleico C18:1 [g]	0,12	Eicosapentaenoico C20:5 [g]	0,00
Esteárico C18:0 [g]	0,01	Linoleico C18:2 [g]	0,48	Docosapentaenoico C22:5 [g]	0,00
Omega 3 [g]	0,03	Linolénico C18:3 [g]	0,03	Docosahexaenoico C22:6 [g]	0,00
Ac. Grasos cis	0,00	Omega 6 [g]	0,48	Omega 3/ Omega 6	0,00
AGP c	0,51	Ac. Grasos trans	0,00	AGM cis	0,13
		AGM trans	0,00	AGP trans	0,00

Aminoácidos

Alanina [mg]	303,00	Glicina [mg]	398,00	Prolina [mg]	1.221,00
--------------	--------	--------------	--------	--------------	----------

Arginina [mg]	347,00	Histidina [mg]	181,00	Serina [mg]	502,00
Ac. aspártico [mg]	398,00	Isoleucina [mg]	372,00	Tirosina [mg]	286,00
Ac. glutámico [mg]	3.318,00	Leucina [mg]	702,00	Treonina [mg]	277,00
Cistina [mg]	208,00	Lisina [mg]	191,00	Triptófano [mg]	104,00
Fenilalanina [mg]	467,00	Metionina [mg]	147,00	Valina [mg]	416,00
		Hidroxiprolina [mg]	0,00		

Hidratos de carbono					
Hidratos de carbono simples		Ácidos orgánicos		Fitosteroles	
Glucosa [g]	0,00	Ac. orgánicos disponibles [g]	0,00	Fitosteroles totales [mg]	0,00
Fructosa [g]	0,00	Oxálico [g]	0,00	Beta-sitosterol [mg]	0,00
Galactosa [g]	0,00	Cítrico [g]	0,00	Campesterol [mg]	0,00
Sacarosa [g]	0,00	Málico [g]	0,00	Estigmasterol [mg]	0,00
Lactosa [g]	0,00	Ac. Tartárico [g]	0,00	Estigmasterol D7 [mg]	0,00
Maltosa [g]	0,00	Ac. Acético [g]	0,00	Brásica-esterol	0,00
Oligosacáridos [g]	0,00	Ac. Láctico [g]	0,00		

ANEXO 2. REGISTRO SANITARIO HARINA DE TRIGO INDUPAN

FICHA TECNICA HARINA DE TRIGO INDUPAN

Datos Generales del Producto						
Expediente	227834	Nombre producto	HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES ESPECIAL SIN MEJORANTES, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES PARA PANIFICACION, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES PARA PANIFICACION, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES PARA PASTAS, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES PARA REPOSTERIA, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES CON POLVO DE HORNEAR, HARINA DE TRIGO FORTIFICADA CON VITAMINAS Y MINERALES INTEGRAL.			
Registro Sanitario	RSAD14I00198	Vencimiento	2018/06/24	Modalidad	FABRICAR Y VENDER	Estado Registro Vigente
Observaciones						
Marcas	COORATIENDAS, DE LA ABUELA, INDUPAN, LA NIEVE, SUPERCONDOR					
Datos de Interes						
Tratamiento	MOLIDO	Condiciones de conservación	MEDIO AMBIENTE			
Presentaciones Comerciales						
Presentacion Comercial						
50Kg, 12.5 Kg, 11.4Kg, 10 KG, 2.5 Kg, 1Kg, 0.5 Kg.						
Roles por Producto						
Rol	Nombre / Razon Social		Direccion			
FABRICANTE	HARINERA INDUPAN S.A.S.		CR 22 No. 14-12			
FABRICANTE	MOLINOS DEL ATLANTICO S.A.S.		VIA 40 N° 62 - 174			
TITULAR REGISTRO SANITARIO	HARINERA INDUPAN S.A.S.		CR 22 No. 14-12			

http://web.sivicos.gov.co:8080/consultas/consultas/consreg_encabcum.jsp

(23/09/13)

ANEXO 3. REGISTRO SANITARIO HARINA DE TRIGO HAZ DE OROS

FICHA TECNICA HARINA DE TRIGO HAZ DE OROS

Datos Generales del Producto							
Expediente	1982276	Nombre producto	HARINA DE TRIGO FORTIFICADA				
Registro Sanitario	RSIAV14M02792	Vencimiento	2022/03/20	Modalidad	FABRICAR Y VENDER	Estado Registro	Vigente
Observaciones							
Marcas	HAZ DE OROS						
Datos de Interés							
Tratamiento	MOLIDO	Condiciones de conservación	MEDIO AMBIENTE				
Presentaciones Comerciales							
Presentación Comercial							
Bolsa de polietileno: 100, 200, 300, 400, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000, 2500, 5000g							
Bolsa laminado BOPP+polipropileno monorientado: 500, 1000, 1100g							
Roles por Producto							
Rol	Nombre / Razon Social		Direccion			Pa	
FABRICANTE	HARINERA DEL VALLE S.A.		Cra 1A N° 47 -20			COLO	
TITULAR REGISTRO SANITARIO	HARINERA DEL VALLE S.A.		Cra 1A N° 47 -20			COLO	

http://web.sivicos.gov.co:8080/consultas/consultas/consreg_encabcum.jsp

(23/09/13)

ANEXO 4. REGISTRO SANITARIO COLCLEAN. FICHA TECNICA FIBRA COMERCIAL COLCLEAN

Datos Generales del Producto						
Expediente	20008319	Nombre producto	ALIMENTO A BASE DE LINAZA, SALVADO, GERMEN DE TRIGO, FIBRAS DE TRIGO, NARANJA Y MANZANA, PSYLLIUM, PITAYA.			
Registro Sanitario	RSAD10I55809	Vencimiento	2019/07/16	Modalidad	FABRICAR Y VENDER	Estado Registro
Observaciones	NI,9001781276					
Marcas	FIBRAFIT., KOLBRAN, COLBRAN, COLCLEAN, COLSAN, COLEDREN MAX, COL-CLEN, FIBRAPLUS, FIBRALIFE					

Datos de Interés	
Tratamiento	MEZCLADO
Condiciones de conservación	MEDIO AMBIENTE

Presentaciones Comerciales	
Presentacion Comercial	
15, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500,700, 1000 g	
280, 600 GRAMOS HOJALATA; SACHET EN FOIL DE ALUMINIO , CARTÓN CON FOIL DE ALUMINIO.	

Roles por Producto			
Rol	Nombre / Razon Social	Direccion	País
FABRICANTE	LIFE BRANDSINTER SAS	CALLE 7 B Nº 69D 04	COLOMB
TITULAR REGISTRO SANITARIO	LIFE BRANDSINTER SAS	CALLE 7 B Nº 69D 04	COLOMB

http://web.sivicos.gov.co:8080/consultas/consultas/consreg_encabcum.jsp

(12/02/13)

Colclean polvo es un alimento mezclado a base de linaza, salvado, germen de trigo, fibras de trigo, naranja y manzana, psyllium y pitaya.

Cada 100 g de polvo contienen:

Cassia acutifolia (polvo seco de hojas) 15.0 g

Rheumofficinale (polvo seco de hojas) 16.0 g

Rhamnuspurshiana (polvo seco de corteza) 10.0 g

Platagoovata (polvo seco de semillas) 54.0 g

Fuente. EXPEDIENTE 226078 (Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, 1998)

ANEXO 5. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO GENERAL



Fuente. Los autores.

ANEXO 6. FICHA TÉCNICA INFRAMATIC

Inframatic 8600 Flour Analyzer

El Analizador de Harinas Inframatic 8600 es un espectrómetro en el Infrarrojo Cercano (abreviado en inglés NIR) específicamente diseñado y optimizado para el análisis de granos y harinas. La velocidad y facilidad de uso del Inframatic ahorra tiempo y dinero ya que permite análisis rápidos y reproducibles. Esto ayuda al molinero a optimizar el proceso de molienda, obteniéndose ahorros sustanciales.

Su sistema óptico basado en filtros es tan preciso como los sistemas monocromadores, pero más económico, con ahorros en mantenimiento, y gran flexibilidad en longitud de onda. Perten Instruments cuenta con más de 20 años de experiencia en instrumentos NIR enfocados a la industria de cereales y es el proveedor n° 1 a nivel mundial con más de 7.000 unidades instaladas.

Especificaciones y Beneficios

Calibraciones: El instrumento se entrega con calibraciones estándar listas para usarse, basadas en miles de muestras con un amplio rango de variedades.

Método patentado y oficialmente aprobado para medir cenizas: Análisis de Cenizas en 20 segundos con una precisión similar al método de referencia. Una sola calibración para todas las harinas de trigo en un rango de 0.3 a 0.7 %. Método patentado y aprobado oficialmente (AACC 08-21).

Fácil de usar: El Inframatic se opera con solo dos botones, haciendo fácil su manejo por personal no técnico, reduciendo así costosos errores.

Sistema Independiente: Evita el uso de un ordenador externo. Esto simplifica la operación y permite situar el instrumento en ambientes hostiles a estos.

Sistema de presentación de muestra único: Reduce significativamente el tiempo de presentación de la muestra y mejora la repetibilidad. No es necesario el uso de portamuestras frágiles y costosos de reemplazar.

Aplicaciones

Análisis de Materia Prima: Determinación de proteína, humedad, dureza y otros parámetros para asegurar que se paga el precio justo según la calidad del grano.

Optimización de Procesos: La determinación de cenizas en 20 segundos permite ajustes al máximo en la extracción y a la vez obtener una harina dentro de especificaciones.

Verificación de Producto Terminado: Verificar cumplimiento de especificaciones del producto y disminuir los costosos cuellos de botella al analizar cada camión de despacho.

Accesorios recomendados

Laboratory Mill 120 ó 3100: Molino tipo martillo aprobado para preparación de muestras de grano.

PICS: Software basado en Windows para colección de datos, optimización del instrumento y desarrollo de calibraciones.

Compactador de Precisión: Mejora y facilita la presentación de la muestra.

Especificaciones

Requerimientos eléctricos: 115 ó 230 V, 50 ó 60 Hz (especifique al pedir)

Dimensiones (AlxPxAn): 260x410x370 mm

Peso Neto: 23 kg

Tiempo de Análisis: 20-45 segundos.

Rango de longitudes de onda: 500 - 2300 nm

Longitudes de onda: 7 - 20 (dependiendo de la aplicación)

Productos: Granomolido, Harinas de Trigo, Centeno, Avena, Maíz y arroz.

Parámetros: Proteína, Humedad, Cenizas, Dureza, Zelenio, Absorción de Agua, Color, etc.

ESPECIALISTAS EN CONTROL DE CALIDAD DE GRANO, HARINA, ALIMENTOS Y PIENSOS

www.perten.com

Perten
INSTRUMENTS

Ver 3.1 2005.07.06

Fuente. Perteninstruments, 2005 Fuente. www.perten.com (tomado el 15/07/13)

ANEXO 7. PROTOCOLO CARACTERIZACION FISICOQUIMICA EN INFRAMATIC.

DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema Inframatic 8600 se utiliza para analizar, en particular, la composición de los productos alimenticios por la medición de las características de reflectancia de una muestra a longitudes de onda específicas cerca de la región de longitud de onda infrarroja.

Se usa para determinar Humedad, Cenizas, Proteína, Grasa, Fibra, Gluten Húmedo, Gluten Seco, Índice de Gluten, FallingNumber, Almidón Dañado, Dureza, Absorción, Zeleny, Granulometría, pH, color , presencia de micronutrientes y de mejorantes.

Normalmente la medición se realiza sin productos químicos y sin ponderación de la muestra y poca o ninguna preparación de la muestra. Esto hace que la técnica sea segura de usar, rápida y sencilla.

La técnica NIR es empírica, lo que significa que la Inframatic debe ser calibrada antes de que pueda ser utilizada. Para muchos productos existen calibraciones, que pueden ser adoptadas con un mínimo de trabajo.

Calibraciones estándar y otras aplicaciones

El sistema de Inframatic 8600 se entrega generalmente con calibraciones estándar de fábrica para el trigo, la cebada y la harina de trigo. Estas se hallan incluidas en los Apéndices. (Para mayor información visite <http://www.granotec.com.br/arquivos/Inframatic8600.pdf>)

REQUISITOS AMBIENTALES - CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El Inframatic debe estar en un nivel y posición libre de vibraciones.

Hay evidencia de una pequeña pero significativa dependencia de las lecturas en NIR de la temperatura y esto se debe tener en cuenta si el entorno del instrumento o las muestras están sujetos a variaciones en la temperatura de ± 5 °C o más (ICC Recomendación N ° 202).

Es importante que el Inframatic no esté situado en la luz solar directa o cerca de otras fuentes de calor (por ejemplo, un horno de ceniza), ya que éstos pueden provocar grandes variaciones de temperatura que el termostato Inframatic no puede compensar. Temperatura ambiente se debe mantener dentro de 15 - 35 grados C.

El Inframatic compensará automáticamente los cambios en la fuente de alimentación hasta ± 10 voltios. Si se sospecha que las fluctuaciones de tensión más grandes, se sugiere un estabilizador de tensión externa

CONEXIÓN DEL SISTEMA Y DE CALENTAMIENTO

El Inframatic debe haber alcanzado la temperatura ambiente antes de conectarlo a un suministro eléctrico. Si la unidad está equipada con un teclado alfanumérico separado, coloque el Inframatic en la caja para teclado y levante la unidad un poco para conectar el cable del teclado, en la parte inferior del Inframatic. Compruebe que el teclado se desliza fuera y dentro de la caja del teclado con facilidad. Hay un interruptor de corriente y un interruptor de llave - un interruptor operado por una llave - en la parte posterior del Panel del Inframatic.

1. Asegúrese que el interruptor de llave está en posición vertical. El pequeño conector rectangular (9-pin D-sub) es el conector interfaz RS-232

1. Conecte la entrada de red Inframatic a una toma de tierra, cerciórese del suministro eléctrico correcto. Revise los detalles en la placa de características del aparato.
2. Apague el interruptor de red hacia abajo para encender la unidad. La lámpara roja interruptor estará iluminada.
3. Cuando el Inframatic 8600 se enciende, se llevará a cabo un auto-check a través de todos los filtros y controles de todas las funciones.

La pantalla mostrará la fecha y la hora (si está instalado el calendario / reloj opcional).

El número disponible de los productos y nombres de productos se muestran en la parte izquierda de la pantalla y los parámetros disponibles en el producto, indicados con un asterisco *, se muestran en el lado derecho de la pantalla.

Instrumento de preparación

Por lo menos 50 minutos antes de la operación de calentamiento, la temperatura ambiente es requerida. Se recomienda dejar la unidad encendida continuamente

DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

En la parte frontal del instrumento es la pantalla LCD con 3 llaves, la impresora opcional y la puerta en polvo con el compartimento de la muestra.

La puerta en polvo se fija mediante un bloqueo de resorte cargado. Tire hacia afuera la puerta para abrirla.

Las teclas [↑] y [↓] [S].

En el modo de funcionamiento normal, (el interruptor de llave en la posición vertical), las teclas [↑] (arriba) y [↓] (abajo) se utilizan para seleccionar el producto a analizar. Al pulsar estas teclas pasos arriba y abajo en la pantalla LCD. El

asterisco (*) a la izquierda del campo del nombre indica el producto que está actualmente seleccionado. El parámetro en el producto seleccionado se muestra a la derecha.

La tecla [S] se utiliza para iniciar el análisis

Modo de inicio

Con la llave de contacto en posición horizontal (modo de entrada) con el apoyo del Sistema se activa.

Este modo se utiliza para leer, escribir o cambiar las constantes de calibración. Consulte Introducción o cambio constantes de calibración y el modo de soporte del sistema para obtener más información (para mayor información visite <http://www.granotec.com.br/arquivos/Inframatic8600.pdf>)

Toma de muestras y preparación de la muestra

El muestreo debe ser lo más representativo posible y cumplir con las prácticas recomendadas.

Para las muestras de suelo, la muestra general, no requiere mayor preparación, que no sea mezclando para asegurarse de que una muestra homogénea se presenta a la Inframatic.

Para otros productos como los cereales, la muestra se muele a un tamaño de partícula uniforme. El mismo molinillo y el tamiz se deben utilizar para todas las muestras. Se recomienda que una muestra de 100 a 200 g sea preparada con el fin de obtener una muestra representativa de la prueba. Mezclar bien la muestra de suelo y deje que se enfríe a temperatura ambiente si la muestra se convirtió en caliente durante el proceso de molienda. Si se muele una serie de muestras es bueno analizar la primera - esto permite que las muestras se refresquen.

Operación - Análisis de una muestra

Seleccione el producto a analizar pulsando las teclas [↑] o hacia abajo [↓] para arriba. La asterisco (*) representa el producto seleccionado actualmente.

No se requiere el peso de la muestra.

1. Use una cuchara para transferir aproximadamente 10-15 g de la muestra bien mezclada al compartimento de la muestra. No vierta la muestra ya que esto puede provocar la segregación del material.

Utilice el compresor suministrado y comprima cuidadosamente la muestra.

Un embalaje consistente es importante para obtener resultados reproducibles.

2. Asegúrese de que el producto correcto ha sido seleccionado e inicie el análisis pulsando la Tecla S.
3. El análisis comienza y el resultado se presenta en la pantalla. Si el instrumento está equipado con una impresora de resultados se pueden imprimir.
4. Abra el compartimiento de la muestra y limpie la muestra con el cepillo suave suministrado. Mantenga la ventana de muestras limpia en todo momento. En caso de estar contaminada la ventana con aceite o grasa de residuos es mejor eliminar con un paño suave humedecido con alcohol o alcoholes metilados. Este tipo de limpieza también puede ser necesario entre el cada muestra si el aceite / grasa de la muestra es alta. Para muestras de trigo, cebada y harina de trigo, la limpieza con el cepillo suave es suficiente.
5. Se recomienda analizar cada muestra por duplicado y tomar el promedio como resultado.

Para continuar con el análisis de un mismo producto, se llenan de una nueva muestra y pulse de nuevo la tecla S.

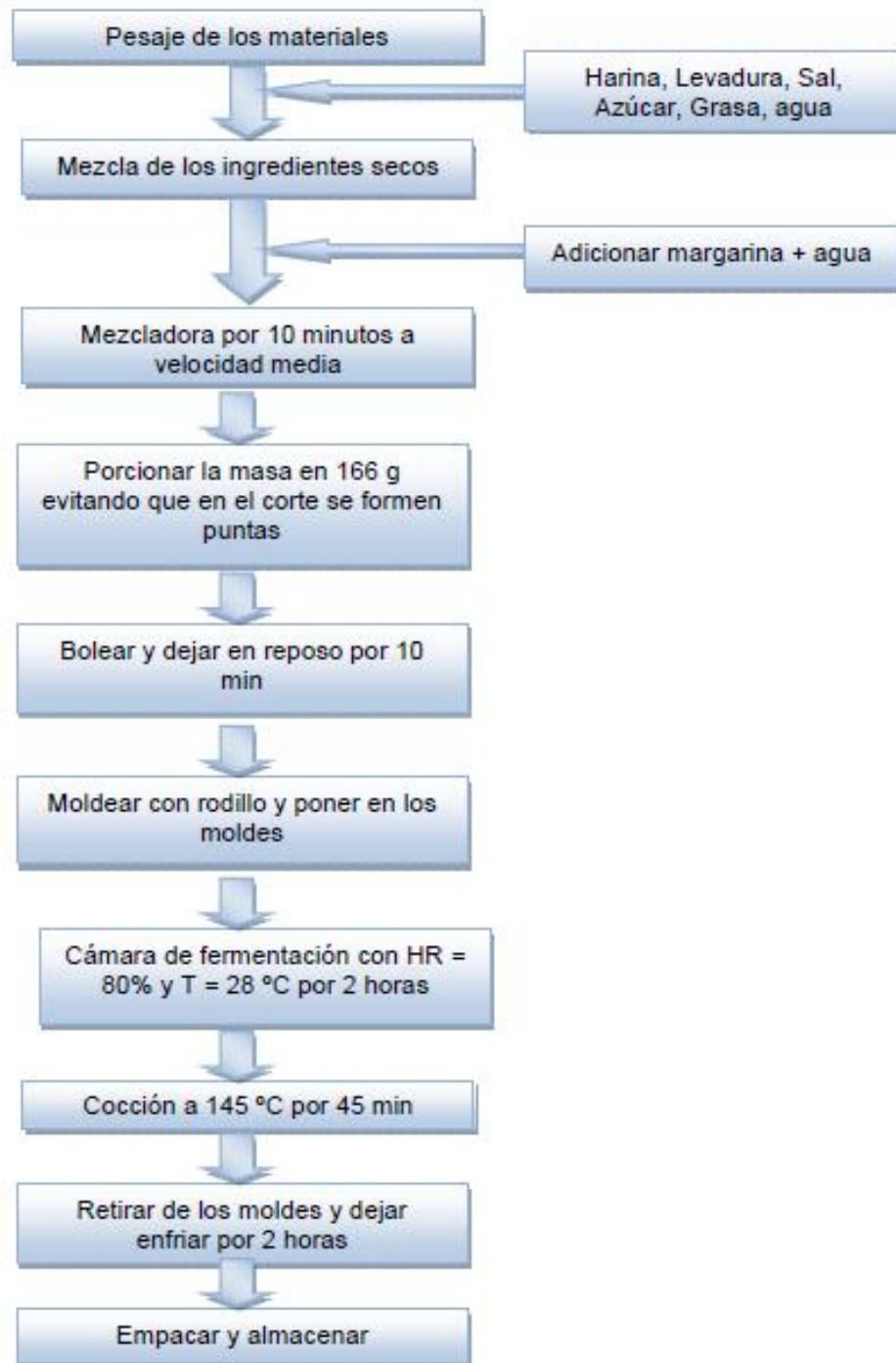
Para cambiar a otro producto, pulse el botón arriba o abajo, hasta que se cumple el asterisco del producto deseado.



Proceso de caracterización fisicoquímica de las harinas en Inframati.

Fuente:<http://perten.com/en/Products/Inframatic-8600/Operation-and-handling/>

ANEXO 8. PROCESO DE PANIFICACION



Fuente. García 2.011

ANEXO 9. FICHA TÉCNICA ALVEO-CONSISTOGRAFO

ALVEO-CONSISTÓGRAFO®



Organismo de almacenamiento

- Garantice las transacciones de su trigo y harina utilizando una referencia internacional.
- Clasifique su trigos (W, P, G, P / L).
- Identifique los trigos dañados por insectos.

Molineros

Molineros

- Optimice la mezcla de su trigo y harina gracias a la ley de fusión.
- Adapte su harina para su uso final optimizando la dosificación de aditivos.

Industrias de horneado

- Controle el cumplimiento de las entregas de harina.

El Alvéografo cumple las siguientes normas: AACC 54-30.02- ICC 121- GOSTR 51415-99 y NF EN ISO 27971 para la determinación de las características reológicas de la harina.

Principio

El Alveo-Consistógrafo es un sistema completo para analizar el comportamiento de la masa a hidratación constante o adaptada. Este equipo está compuesto por tres elementos :

- el mezclador de extracción para preparar y dar forma a las piezas de masa,
- el Alvéografo para deformar las muestras,
- el registrador de curva : Alveolink.

Test del Alvéografo

Pronóstico de la plasticidad (tenacidad, extensibilidad, elasticidad y fuerza de horneado) de su trigo y harina a una hidratación constante.

Ventajas

- **Simplicidad :** Un solo equipo se ocupa tanto del proceso de preparación de muestras como del proceso de ensayo.
- **Fiabilidad :** Mediciones reproducibles y estandarizadas.

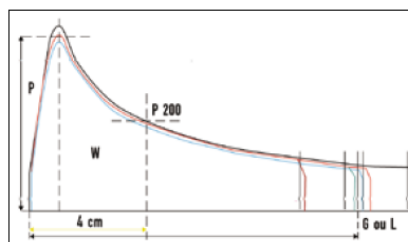
Alvéografo

Extensión tridimensional de una muestra de la masa (harina + agua + sal), que cambia de forma en una burbuja bajo el efecto de la presión del aire. Este modo de extensión reproduce la deformación de la masa bajo la influencia de la presión gaseosa de origen biológico o químico.

Alveolink

Esencial junto al Alvéografo, permite :

- ahorro de tiempo gracias al cálculo instantáneo de los resultados,
- mejor trazabilidad de los resultados gracias al almacenamiento de 200 análisis y la posibilidad de transferir los resultados a un ordenador,
- resultados más precisos gracias a la función «Auto-calibración» (correcciones de la configuración de P y L con pruebas realizadas en las harinas de referencia).



Interpretación de la curva Alveográfica

Las curvas obtenidas con el equipo Alvéografo se interpretan utilizando los siguientes parámetros :

- P: tenacidad (presión máxima necesaria para dar nueva forma a las muestras)
- L: extensibilidad (longitud de la curva)
- W: fuerza de horneado (área de la curva)
- P/L: índice de configuración de la curva
- le = P200 / P: elasticidad (P200: presión a 4 cm desde el inicio de la curva)

Características

Alimentación : 220 VAC monofásicos - 50 Hz*
Potencia : 1000 W (amasadora) - 250 W (Alvéografo) - 35 W (Alveolink)
Dimensiones totales (LxD): 200 x 55 cm
Peso neto : 82 kg
Peso bruto : 108 kg
Volumen : 0,62 m³

Información del pedido

Código	Artículo
ALVEOCONSISTO	Alveo-Consistógrafo
KIT-ALVEO-CONSI	Kit de mantenimiento del Alveo-Consistógrafo
ALVEOLINK	Alvéografo NG

Opción:

- *60 Hz

Fuente. Chopin Technologies, 2013

ANEXO 10 PROTOCOLO PRUEBA ALVEOGRÁFICA

PROTOCOLO DETERMINACION DE LA PRUEBA ALVEOGRAFICA

OBJETIVO

Conocer las características reológicas de masas elaboradas a partir de harinas de trigo con y sin aditivos, mediante el uso de un equipo de reología denominado alveógrafo.

ALCANCE

Cubre el examen reológico de masas elaboradas con todo tipo de harinas de trigo y/o sus mezclas, incluso con harinas provenientes de otros cereales, con el fin de diagnosticar su aplicación en el campo de la alimentación humana.

DEFINICIONES

Abaco: Instrumento de medida con el que se obtienen los datos necesarios para las valoraciones alveográficas de fuerza, extensibilidad, plasticidad, etc.

Alveógrafo: Equipo de reología inventado por un físico francés a mediados del siglo pasado, compuesto por una amasadora, el alveógrafo propiamente dicho y un manómetro para registrar el alveograma, el cual es utilizado para la determinación del nivel de fuerza, tenacidad, extensibilidad y equilibrio de masas elaboradas con harinas destinadas preferiblemente al consumo humano.

Alveograma: *Gráfica de extensión tridimensional generada por pastón de masa formada por la integración de harina, agua y sal, que bajo la acción de una presión*

de aire se deforma en burbuja, dando lugar a una gráfica que se registra, “Análisis alveográfico y fisicoquímico para harinas de trigo”, formulario preimpreso y de medidas específicas.

Biaxial: Termino que se refiere al desplazamiento del inflamiento del pastón en dos direcciones simultáneamente.

Extensibilidad: Registro de la aptitud de elongación o estiramiento que tiene la masa.

Extrusión: Proceso en el cual, un material es forzado a salir bajo una o más variedad de condiciones mezclado, calentamiento o cizallamiento, a través de una placa/boquilla para darle forma.

Fuerza panadera (W): Reflejo de la capacidad que ofrece la masa al trabajo mecánico, determinada por área de la curva alveográfica.

Insuflar: Introducción de gas en un cuerpo.

Pastón: Porción de masa en forma de disco plano.

Plasticidad: Registro de las características de máxima tolerancia a la deformación de la masa (punto de ruptura de la burbuja generada por un alveógrafo).

Tenacidad (P): Resistencia que ofrece la masa al estiramiento, registra la presión máxima necesaria para la deformación de la masa.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AACC 54-30 A Alveograph method for soft and hard wheat flour

NTC 5053 Harina de trigo. Características físicas de la masa. Determinación de las propiedades reológicas con el uso del alveógrafo

FDS-90-01 **Tabla de adición de agua en prueba alveográfica**

Chopin Dubois Manual de documentación técnica del fabricante

REGISTROS DE CONTROL

FOR-90-11 Control de mantenimiento y calibración alveógrafo

FOR-90-35 Control de pruebas alveográficas

FOR-90-37 Resultados análisis F.Q.

FOR-90-116 Análisis fisicoquímico y alveográfico

7. INSPECCIONES

INSPECCIONES PREVIAS

Antes de iniciar cualquier análisis, se debe realizar una revisión de los parámetros de control del equipo, descritos en el formato **FOR-90-11** “Control de mantenimiento y calibración alveógrafo”.

Calibrar presión de insuflado de aire a 60 mm y 92 mm, de acuerdo al protocolo del fabricante.

Verificar la temperatura de la amasadora en $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y de las cámaras de reposo en $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Asegurar que las condiciones ambientales cumplan con el protocolo de ensayos: humedad relativa 50 - 80% y temperatura: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, puesto que afecta las posibilidades de regulación de la temperatura de la amasadora y de las cámaras

de reposo, al igual que afecta las condiciones de hinchamiento de la burbuja y la perforación de la membrana al final de la medida.

Revisar que la temperatura de la harina y de la solución salina estén alrededor de los $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

El ensayo alveográfico exige que los pastones a la salida de la amasadora-extractora y durante el ensayo de hinchamiento, estén cubiertas de una película de aceite que evite que la masa se pegue y se seque. Usar aceite de oliva puro. No utilizar aceites con ácidos grasos saturados.

Preparar previamente la solución salina al 2.5% de NaCl en agua desionizada.

Verificar el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración del equipo.

INSPECCIONES DURANTE

Verificar las condiciones de temperatura del equipo y las condiciones ambientales nombradas en el numeral anterior. En caso de presentarse aumento de la temperatura, activar el sistema de refrigeración del equipo y/o aire acondicionado.

Inspeccionar el correcto funcionamiento del equipo y engrase de accesorios en contacto con la masa.

Cuando se insufla aire a la masa, revisar el sitio de ruptura, que por lo general, sucede en la parte superior de la burbuja, si esta se produce por detrás, fuera del campo visual del operador se debe observar el momento en que detiene su crecimiento, ya que si no se percibe a tiempo, la curva se alargaría erróneamente debido a la caída de la presión.

INSPECCIONES POSTERIORES

Finalizado el gráfico, es necesario inspeccionar su trazo correcto. La inspección durante la medición de las variables de fuerza, plasticidad, etc., debe ser permanente para evitar lecturas no conformes.

CONTROL DE PROCEDIMIENTO

Correr mensualmente una muestra de harina que haya sido procesada dentro de un ejercicio interlaboratorios (BIPEA). Paralelamente correr una muestra que haya sido analizada en el mismo periodo con la muestra de interlaboratorios, de tal manera que sirva como patrón de referencia ya que las muestras de interlaboratoriostienen limitantes por la poca cantidad disponible.

Realizar la calibración de las líneas a 60 mm y 92 mm diariamente antes de hacer uso del equipo.

Realizar control de estanqueidad mensualmente, el cual está incluido en el formato “Control de mantenimiento y calibración alveógrafo”.

Diligenciar el control establecido en el formato Control de pruebas alveográficas”, para el primer análisis que se realice en la mañana y el primer análisis que se realice en la tarde.

MATERIALES Y EQUIPOS

Alveógrafo MA 87

Alveógrafo NG

Amasadora

Manómetro

Bureta

Balanza Analítica, precisión 0.001g

Espátula acrílica, metálica y plástica
Cuadro y rodillo de laminado
Sacabocados metálico
Juego de laminillas de reposo
Tamiz de 300 micras
Determinador de humedad
Abaco planimétrico y ábaco de índice de inflamamiento G
Impresora

REACTIVOS

Aceite de oliva
Aceite mineral
Solución de Cloruro de Sodio al 2,5% (Pesar 25 g de cloruro de sodio y completar a 1000 ml con agua desionizada).

PRINCIPIO

La prueba alveográfica está basada en la evaluación de las características reológicas de una masa que previa a un proceso de amasado y extrusado se somete a insuflado de aire hasta su ruptura.

Durante el insuflado la masa de prueba es extendida en dos direcciones de modo biaxial, de forma que a través de la curva proporcionada por el ensayo podemos medir las características reológicas de una harina y predecir su aplicación y comportamiento en los procesos industriales.

PREPARACIÓN DEL MATERIAL Y EQUIPO

Calibración del alveógrafo

El alveógrafo y sus accesorios deben ajustarse de acuerdo a las instrucciones y recomendaciones suministradas por el fabricante y debe mantenerse en condiciones mecánicas y físicas adecuadas, cualquier suciedad o anomalía puede generar resultados erróneos.

Para el funcionamiento apropiado del alveografo son esenciales dos calibraciones, ajuste del caudal del generador de aire y control de estanqueidad. Para realizar la calibración proceder de la siguiente manera:

En el caso del alveografo NG:

Ingresar en la pantalla del alveolink, en el icono **60/92**.

Colocar la boquilla, enroscar el portaboquilla entre la placa aplanadora y el anillo. Ajustar la platina para asegurar la estanqueidad. Abrir al máximo y hacia el lado izquierdo, el potenciómetro del caudalímetro.

Presionar el botón **92/60**, que se encuentra en la parte izquierda del alveografo. Primero se calibra a **92mm**, la barra debe aparecer de color verde para que acepte la calibración, de lo contrario se ajusta con las flechas que aparecen al lado izquierdo del alveografo. Presionar **OK**. Continuar con la calibración a **62mm**, esta se realiza girando el potenciómetro hacia la derecha, hasta lograr que la barra tome el color verde. Presionar **YES**

Para el control de estanqueidad, después de calibrar el alveografo, dejar puesta la boquilla de calibración. En el alveolink, ingresar al icono superior izquierdo, en donde aparece la curva, seleccionar la opción **ALVEO** y luego **HC**, presionar dos veces **OK**, hasta que aparezca la pantalla **PREPARACION ENSAYO**, presionar el botón circular ubicado en la parte inferior, para permitir el paso del aire, contabilizar 30 segundos aprox., presionar nuevamente el botón circular para cortar el paso del aire. Repetir esta operación 2 veces más, en la misma hoja de

trabajo. Al finalizar, se debe verificar que la lectura que arroja el parámetro **P**, de cada uno de los trazos sea de 65 ± 3 mm. Marcar el ensayo ingresando al icono de la parte superior derecha de la hoja. Imprimir en el **FOR-90-116** “Análisis alveográfico y fisicoquímico” y archivar en la carpeta “Control de pruebas Alveograficas”

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

En el caso de muestras de harinas enviadas por el cliente, mezclar y homogeneizar la muestra pasándola a través de un tamiz de 300 micras, durante 2 minutos. Esta operación puede realizarse con ayuda de un aparato electromecánico. En el caso de harinas obtenidas por molienda de trigos en **ENZILAB**, no es necesario el anterior procedimiento.

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO

Pesar $250 \pm 0,5$ g de harina y con ayuda de un embudo incorporar en la amasadora, medir en la bureta la solución salina necesaria, según la humedad de la harina.

Si la humedad de la harina es menor o mayor a la capacidad de la bureta, se remite a la ficha de soporte **FDS-90-01** “Tabla de adición de agua en prueba alveográfica”, que determina la cantidad de solución salina a adicionar a la bureta del equipo.

Poner en marcha el motor (función amasado) el cual automáticamente acciona el cronómetro y simultáneamente se inicia la hidratación de la masa.

11.4.1. Operación de amasado

Adicionar por el orificio de la tapa de la cubeta de la amasadora la cantidad de solución salina en un término máximo de 20 segundos, transcurrido un minuto de

amasado, incluidos los 20 segundos de adición de solución salina, retirar el cierre de la cubeta de la amasadora y con la ayuda de una espátula acrílica desprender la harina adherida a las paredes y esquinas de la cubeta de tal forma que la totalidad de la masa participe de la hidratación, operación que debe hacerse a más tardar en un minuto. Colocar nuevamente la tapa de la cubeta, accionándose la marcha del motor automáticamente hasta completar el tiempo total de amasado de 8 min., contados a partir de la incorporación de la solución salina.

Los dos cuadros de laminado formados por dos pequeños rieles metálicos y dispuestos en forma lineal para recibir los pastones deben estar engrasados con ± 3 gotas de aceite de oliva para cada uno de los pastones, al igual que el juego de laminillas con ± 1 gotas cada uno.

11.4.2. Extrusión – Formación de los pastones (Aplica para alveografo NG y MA 87)

Antes de completar los 8 minutos de amasado, girar el tornillo de la lámina móvil, subir de tal forma que el paso de la masa quede libre y accionar la amasadora en posición de extrusión y una vez se inicie la salida de la masa en forma de cinta, cortar y eliminar la primera parte (unos 2 cm) en razón a la excesiva fuerza a la que fueron sometidos. En cada extracción engrasar la parte superior e inferior de la boquilla de salida.

Continuar con el proceso de extrusión y cortar con ayuda de la espátula metálica el primer pastón, cuando la masa alcance la ranura señalizada en la lámina extractora adherida a la cubeta de la amasadora. Tomar control de temperatura de la masa ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) para el primer análisis de la mañana y el primer análisis de la tarde y registrarlo en el formato **FOR-90-35** “Control de pruebas alveográficas”.

Una vez cortada la masa (pastón), trasladar rápidamente a la bandeja del cuadro laminador con la ayuda de una espátula plástica, mientras tanto, el proceso de extrusado de la masa continúa en la misma forma, hasta obtener el cuarto pastón, el cual cierra la capacidad total de la bandeja del cuadro de laminado. Detener manualmente la amasadora, una vez obtenido el quinto pastón, el cual permanecerá en la placa extractora momentáneamente antes de ser trasladado a la bandeja del cuadro laminador.

Laminar los pastones de dos en dos, y aplanar doce veces seguidas (± 1 por segundo), deslizando el rodillo laminador, previamente engrasado con ± 3 gotas de aceite de oliva, sobre los rieles del cuadro laminador, luego colocar el sacabocados en el centro del pastón ejerciendo la presión necesaria con la palma de la mano hasta lograr su corte y retirar la parte sobrante de masa, es decir la que ha quedado fuera del sacabocados. Cuando se ha cortado cada pastón, colocar en las laminillas debidamente engrasadas e ingresar a la cámara de reposo, en el orden en que fueron extraídos, de arriba hacia abajo. Realizar la misma operación con el quinto pastón.

En caso de adherirse la masa a las paredes del sacabocados, sujetar éste con la mano y despegar el pastón golpeando sobre la mesa de trabajo con el borde de la mano, evitando su deslizamiento o contacto con los dedos. En caso de que el pastón quede adherido al vidrio, se puede ayudar con la espátula plástica para levantarla suavemente y deslizarla hacia la laminilla.

Los pastones quedan en reposo hasta completar el minuto 28, tiempo que se controla con ayuda de un reloj temporizador. La temperatura de la cámara de reposo debe oscilar entre $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, la cual es regulada y controlada automáticamente por el equipo. Limpiar la amasadora durante el periodo de reposo, teniendo en cuenta la lubricación del brazo amasador con aceite mineral.

En el caso del alveografo NG:

Durante el tiempo de reposo, en el alveolink, ingresar al icono superior izquierdo, en donde aparece la curva, seleccionar la opción **ALVEO** y luego **HC**, ingresar el dato de humedad, presionar dos veces **OK**, hasta que aparezca la pantalla **PREPARACION ENSAYO**, ingresar al icono de la parte superior derecha, registrar los datos solicitados para identificar la curva.

Al llegar al minuto 28, en el alveografo, ubicar el pastón centrado en la platina previamente aceiteada, colocar el tapón, encima el anillo estriado y enroscar la platina hasta el tope. Retirar el anillo estriado y el tapón.

Presionar el botón circular ubicado en la parte inferior, para permitir el paso del aire. Observar la burbuja y presionar nuevamente el botón en el momento en que aparezca un orificio o se detenga el crecimiento de la burbuja. Repetir la misma operación con los cuatro pastones restantes. Proceder a la impresión de la curva en el formato **FOR-90-116** “Análisis alveográfico y fisicoquímico”. Al finalizar el ensayo, presionar **OK**, para guardar la curva.

CÁLCULO Y REPORTE DE RESULTADOS

Los resultados son calculados, teniendo como base las cinco curvas obtenidas. No obstante, si una de ellas se desvía notablemente de los cuatro restantes, como consecuencia en particular de una ruptura prolongada o prematura de la burbuja, no se tendrá en cuenta al expresar los resultados. Los resultados obtenidos de los equipos **NG** son registrados en el formato “Análisis alveográfico y fisicoquímico”,

En el caso del alveografo NG:

El alveolink automáticamente realiza la lectura de cada pastón, y al final de la prueba emite el promedio de todos los resultados.

Las variables a tener en cuenta son:

Tenacidad o presión máxima “P”: La media de las ordenadas máximas, medida en milímetros y multiplicada por 1,1 representa el valor de la sobrepresión máxima “P” que está en relación con la resistencia de la masa a la deformación.

Extensibilidad o abscisa media a la ruptura “L”: La abscisa a la ruptura de cada curva se mide en milímetros, sobre la línea cero, partiendo del origen de las curvas hasta el punto que corresponda perpendicularmente al punto de la curva en donde se aprecia claramente la caída de la presión, debida a la ruptura de la burbuja. La media de abscisas en el punto de ruptura de la curva representa la longitud “L”.

Índice de hinchamiento “G”: Es la media de los índices de hinchamiento, leídos en el ábaco de hinchamiento que correspondan a las abscisas de ruptura L, información suministrada por el fabricante según cuadro de conversión de “L” en “G”

Relación P/L: Relación que se denomina convencionalmente relación de configuración de la curva.

Fuerza panadera o trabajo de deformación “W”: Se dibuja el diagrama medio, a partir de la media de las ordenadas y hasta la abscisa media la ruptura “L”. Este diagrama reemplaza a las curvas reales para proceder a los cálculos. Superficie del diagrama en cHarina 2, se mide por medio del ábaco o de un planímetro suministrado por el fabricante.

En el caso de harinas corrientes con índice “G” comprendido entre 12 y 26, medido por medio del ábaco, se utiliza siguiente fórmula: $W = 6,54 \times S$

Este coeficiente es válido, sí:

La duración de la rotación del tambor, de tope a tope, es de 55 s.

El caudal de aire equivale a 60mm. en el manómetro.

Se tiene en cuenta el coeficiente 1,1 del manómetro.

Los resultados deben de ser considerados como producto de un ensayo tecnológico y expresado de la forma siguiente:

P y L: A la unidad más próxima (sin fracción decimal de mm)

G: A la mitad de la unidad más próxima

W: De 5 en 5 unidades

P: Valor medio de las ordenadas máximas $\times 1, 1$.

G: Valor medio de los índices de hinchamiento que corresponden a las abscisas de ruptura, medida sobre el ábaco de hinchamiento del planímetro.

ANEXO 11. FORMATO ENCUESTA EVALUACIÓN SENSORIAL

El objeto de este cuestionario es recoger información acerca del grado de aceptación de panes enriquecidos con fibra alimentaria.

Su apreciación es muy importante para determinar el potencial industrial de dicho alimento. Esperamos de su parte la mayor sinceridad en las respuestas.

Frente a usted hay cuatro muestras codificadas de pan, usted debe evaluarlas según su apariencia y agrado. Pruébelas una por una, emplee la escala de uno a cinco para hacer la evaluación (siendo uno (1) la calificación más baja y cinco (5) la mayor) y marque el número de escala que mejor describa lo que usted siente por la muestra.

Para la evaluación puede tener en cuenta:

Textura y Color de la corteza

Textura y Color de la miga

Sabor, color y aroma.

Para cada una de las muestras favor de indicar tu nivel de agrado utilizando la siguiente escala:

Me desagrada mucho: marque 1

Me desagrada: marque 2

Ni me agrada ni me desagrada: marque 3

Me agrada: marque 4

Me agrada mucho: marque 5.

Característica	MUESTRA #325					MUESTRA #666					MUESTRA #256					MUESTRA #876				
Color	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Apariencia	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Textura	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sabor	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Aroma	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Preferencia	325					666					256					876				
Me gusta	Si		No			Si		No			Si		No			Si		No		

ANEXO 12 ANALISIS DE TENACIDAD

Análisis gráfico vía BOX-PLOT e histogramas digitales:

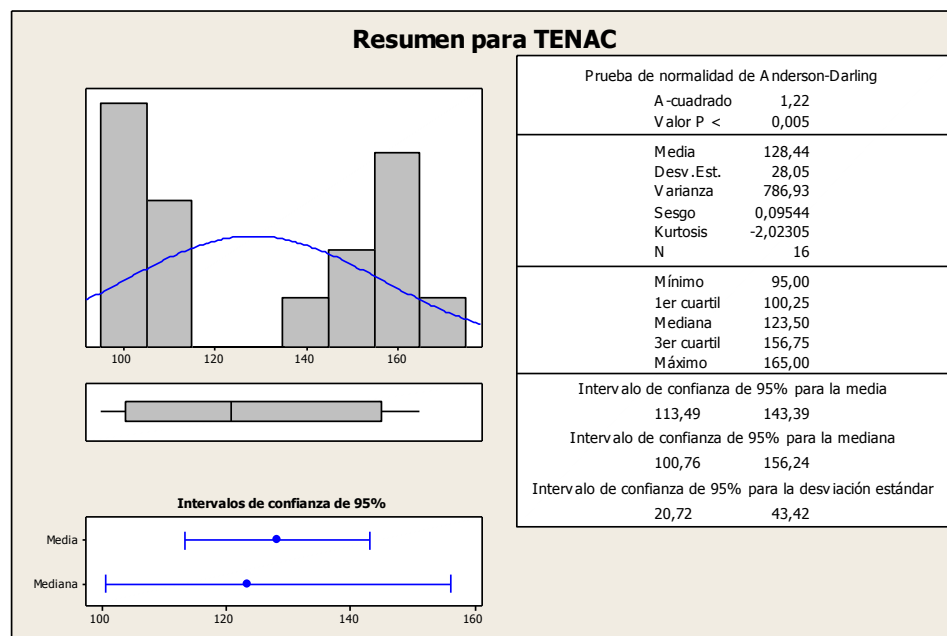
Resumen descriptivo de la variable tenacidad de la masa

		Estadístico
Tenacidad de la masa elaborada (mm)	Media	128,44
	Intervalo de confianza para la media al 95%	
	Límite inferior	113,49
	Límite superior	143,39
	Mediana	123,50
	Desv. típ.	28,052
	Cv	,218
	Amplitud intercuartil	57
	Asimetría	,095
	Curtosis	-2,023

Fuente. Resultados de experimentación

Coeficiente de variación 0,218 presenta homogeneidad

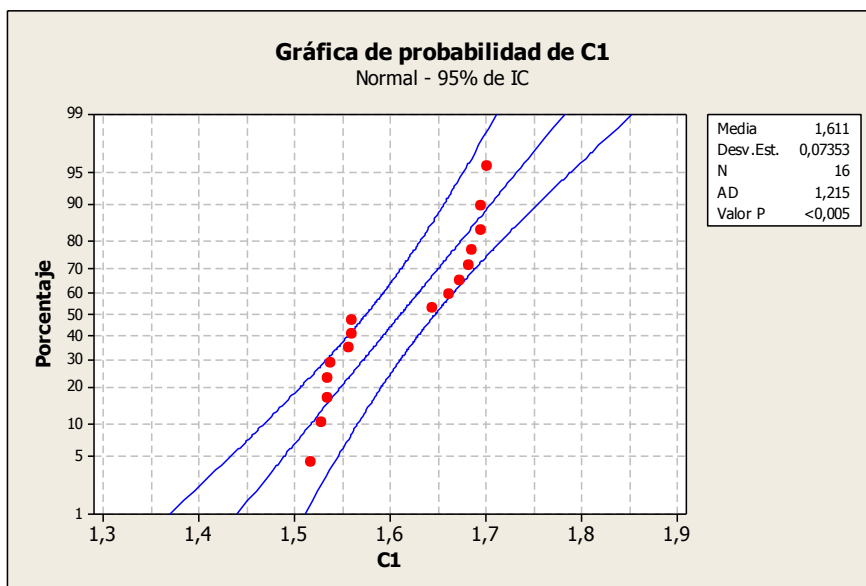
El resultado de la Curtosis está por debajo de los límites (-2,023)



Resumen comportamiento estadístico de la variable tenacidad.

Fuente. Resultados de experimentación

Obsérvese en la tabla que no se cumple supuesto de normalidad, la variable forma dos grupos.



Se aplicó el corrector aunque no se logra corregir totalmente, se tiene un punto por fuera de los límites de la prueba, que es grave por estar en el centro del diagrama.

Verificación del supuesto de normalidad de errores. Los datos se aproximan

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a

Variable dependiente:lnray1

F	gl1	gl2	Sig.
1,072	3	12	0,397

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + FIBRA + Harina

a la normalidad: Los datos se aproximan a la normalidad.

Verificación del supuesto de homocedasticidad: Presenta homocedasticidad debido a que las varianzas son iguales.

Tabla. Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a de la variable tenacidad

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a

Variable dependiente:lnray1

F	gl1	gl2	Sig.
1,072	3	12	0,397

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + FIBRA + Harina

Fuente. Resultados de experimentación.

Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. No hay evidencia que se presenta auto correlación ni correlación parcial de ningún. Sin embargo falta es necesario incluir un factor adicional de estudio.

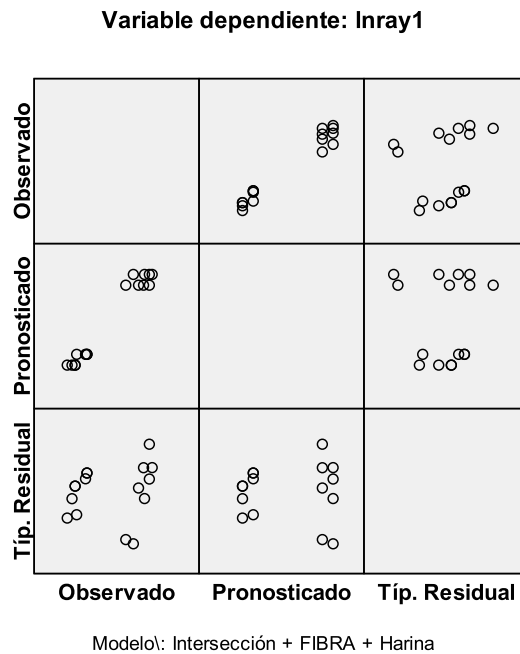


Figura. Relación Logaritmo natural de la raíz cúbica (Inray) de la variable tenacidad

Fuente. Resultados de experimentación

Los bloques aíslan el ruido de manera altamente significativa.

La fibra y la harina, a pesar de que influyen en la tenacidad no presenta efecto de interacción (efecto combinado)

ANEXO 13. ANALISIS EXTENSIBILIDAD

Verificación del supuesto de normalidad de errores.

Tabla. Pruebas de normalidad de la variable extensibilidad

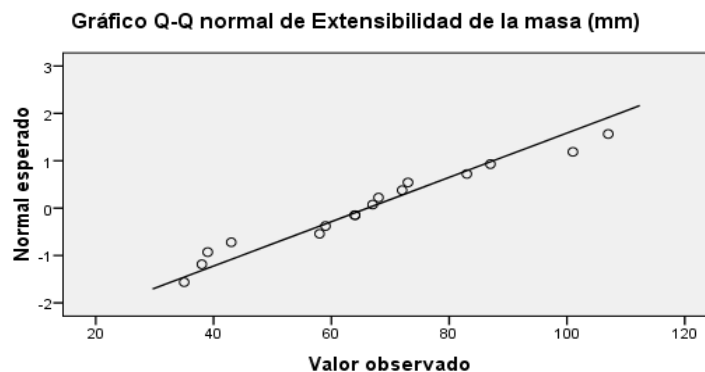
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Extensibilidad de la masa (mm)	,124	16	,200*	,952	16	0,53

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Fuente. Resultados de experimentación

De acuerdo a los datos obtenidos en la prueba de Shapiro-Wilk, no se rechaza la hipótesis de normalidad ($p = 0,53$), además la prueba gráfica siguiente confirma que no se observan valores discordantes:



Prueba gráfica de normalidad de la extensibilidad.

Fuente. Resultados de experimentación

Verificación del supuesto de homocedasticidad. No obstante que la extensibilidad de la masa se ajusta a la normalidad, presenta heterocedasticidad (0,005), por lo que es necesario realizar las pruebas de hipótesis con el estadístico modificado para varianzas diferentes.

Tabla. Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a de la variable extensibilidad.

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a			
Variable dependiente: Extensibilidad de la masa (mm)			
F	gl1	gl2	Sig.
7,100	3	12	0,005

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + Harina + FIBRA + Harina * FIBRA

Fuente. Resultados de experimentación.

Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. La incorrelacionalidad de errores queda garantizada por la asignación aleatoria de tratamientos a unidades experimentales y por el estricto control que se tuvo en la corrida del experimento y en la realización de las medidas.

Procesamiento definitivo de los datos vía SPSS y MINITAB

Se concluye que la extensibilidad difiere para los dos tipos de harina, por lo cual se rechaza la hipótesis de igualdad de efectos. El coeficiente de determinación (0,910) indica que la variabilidad en la respuesta esta explicada en un 91% entre las cantidades de fibra adicionada y los tipos de harina. (Análisis post hoc).

Tabla. Exploración del mejor tratamiento variable extensibilidad.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Extensibilidad Inter- (Combinadas)	2809,000	1	2809,000	9,732	,008
de la masa grupos					
(mm) * Intra-grupos	4040,750	14	288,625		
Porcentaje de Total	6849,750	15			
fibra adicionada					
a la masa					

a. Con menos de tres grupos, las medidas de linealidad para Extensibilidad de la masa (mm) * Porcentaje de fibra adicionada a la masa no se pueden calcular.

Fuente. Resultados de experimentación.

Los datos de la ANOVA confirman que se rechaza la hipótesis de igualdad (0,008).

La prueba de Tukey no se puede realizar con menos de tres grupos de datos.

No se observan valores discordantes, aunque se presenta un levísimo sesgo positivo (0,31), es decir, una leve tendencia a producir una extensibilidad superior al promedio. La extensibilidad promedio es 66,13mm; el intervalo de 95% de confianza recorre desde 54,7mm hasta 77,5mm, sin tener en cuenta el efecto de las harinas individuales y presenta baja heterogeneidad (32%). Asimetría y curtosis se encuentran dentro de los límites establecidos para normalidad de la variable (-2, +2) (ver tabla 12 Resumen descriptivo estadístico de la extensibilidad).

Porcentaje de fibra adicionada a la masa variable extensibilidad

Variable dependiente: Extensibilidad de la masa (mm)

Porcentaje de fibra adicionada a la masa	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 %	79,375	2,439	74,107	84,643
5 %	52,875	2,439	47,607	58,143

Fuente. Resultados de experimentación.

ANEXO 14. ANALISIS PLASTICIDAD

La plasticidad promedio es 17,88ml, indica un comportamiento muy cercano al óptimo recomendado. El coeficiente de variación es 16, lo cual indica que tiene un comportamiento homogéneo (0,160), aunque algunas muestras llegaron a producir un máximo de 23ml.

No se observan valores discordantes, aunque se presenta un levísimo sesgo a izquierda (-0,021), indicando una levísima tendencia a producir plasticidad por debajo del promedio.

Asimetría y curtosis se encuentran dentro de los límites establecidos para normalidad de la variable (-2, +2)

Verificación del supuesto de normalidad de errores.

Tabla. Pruebas de normalidad de la variable plasticidad(Y3).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Plasticidad de la masa (ml.)	0,133	16	0,200*	0,953	16	0,537

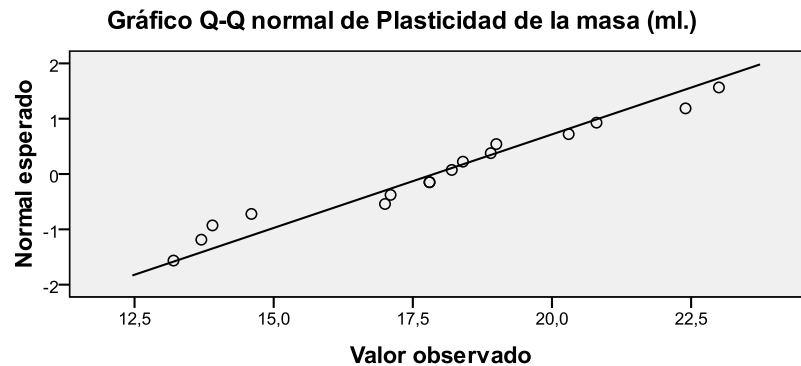
a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Fuente. Resultados de experimentación

No se puede rechazar la hipótesis de normalidad de los datos por lo que se puede afirmar que esta variable tiene distribución normal ($p = 0,53$).

La siguiente prueba gráfica, confirma lo anteriormente dicho:



Prueba gráfica de normalidad de la variable plasticidad.

Fuente. Resultados de experimentación

Verificación del supuesto de homocedasticidad. Se observa que no se rechaza la hipótesis de homocedasticidad.

Tabla. Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas errora variable plasticidad

Variable dependiente: Plasticidad de la masa (ml.)

F	gl1	gl2	Sig.
3,154	3	12	,065

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + FIBRA + Harina

Fuente. Resultados de experimentación.

Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. La incorrelacionalidad de errores queda garantizada por la asignación aleatoria de tratamientos a unidades experimentales y por el estricto control que se tuvo en la corrida del experimento y en la realización de las medidas.

Exploración del mejor tratamiento.

Exploración del mejor tratamiento variable plasticidad.

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Porcentaje de fibra adicionada a la masa	11,619	15	0,000	1,500	1,22	1,78

Fuente. Resultados de experimentación.

Los datos de la ANOVA confirman que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias. La prueba de Tukey no se puede realizar con menos de tres grupos de datos.

ANEXO 15. ANALISIS FUERZA

No se observan valores discordantes grandes y presenta un moderado sesgo a derecha, indicando una tendencia moderada a producir fuerzas menores al promedio.

La variable se comporta homogéneamente con variabilidad de 0,19.

La fuerza media de 316,4J puede considerarse alta, en comparación con los estándares y podría deberse al efecto de la adición de la fibra. Debería intentarse verificar que pasa cuando se adiciona un 7% o un 10% de fibra, por ejemplo.

Asimetría y curtosis se encuentran dentro de los límites establecidos para normalidad de la variable (-2, +2) (ver tabla 23).

Verificación del supuesto de normalidad de errores.

Tabla. Pruebas de normalidad de la variable fuerza

Pruebas de normalidad

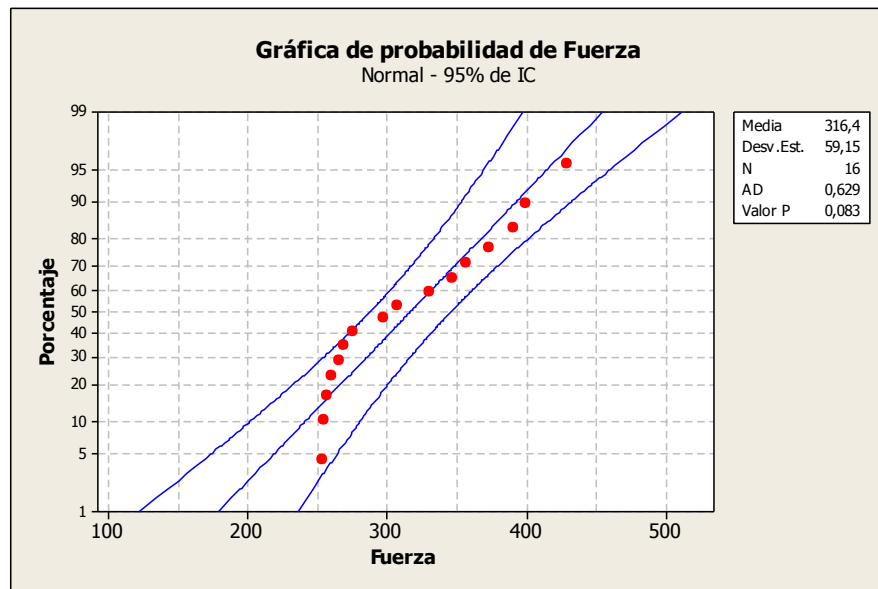
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fuerza de la masa (J.)	0,196	16	0,103	0,894	16	0,064

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente. Resultados de experimentación

No se puede rechazar la hipótesis de normalidad de los datos, por lo que se puede afirmar que esta variable tiene distribución normal ($p = 0,064$).

La siguiente prueba gráfica, confirma lo anteriormente dicho:



Prueba gráfica de normalidad de la variable fuerza.

Fuente. Resultados de experimentación

Verificación del supuesto de homocedasticidad. Se observa que no se rechaza la hipótesis de homocedasticidad, es decir que el modelo cumple con los supuesto fundamentales.

Tabla. Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a de la variable fuerza

Variable dependiente: Fuerza de la masa (J.)

F	gl1	gl2	Sig.
1,056	3	12	,404

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

Diseño: Intersección + FIBRA + Harina

Fuente. Resultados de experimentación.

Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. La incorrelacionalidad de errores queda garantizada por la asignación aleatoria de tratamientos a unidades experimentales y por el estricto control que se tuvo en la corrida del experimento y en la realización de las medidas.

Exploración del mejor tratamiento.

Tabla K Matrix (equivalente a la prueba de Tukey).

Resultados de la prueba

Variable dependiente: Fuerza de la masa (J.)

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Contraste	40100,063	1	40100,063	43,551	0,000
Error	11969,813	13	920,755		

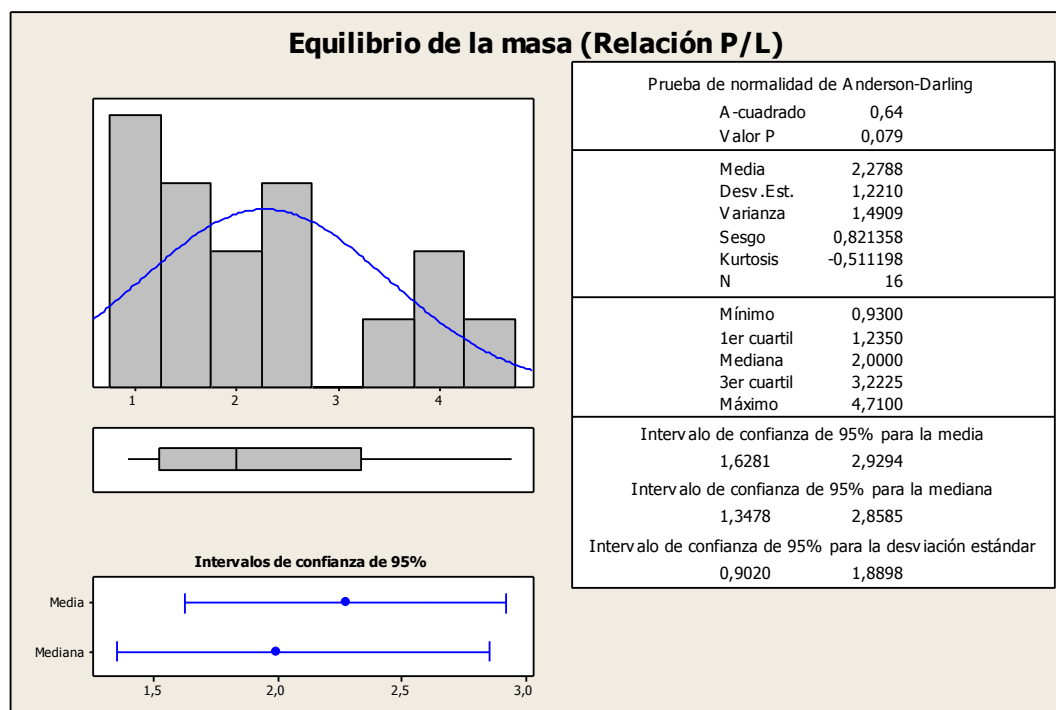
Fuente. Resultados de experimentación.

Los datos de la ANOVA confirman que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se concluye que difieren. La prueba de Tukey no se puede realizar con menos de tres grupos de datos.

ANEXO 16. ANALISIS DE EQUILIBRIO P/L

Hay diferencias significativas entre los porcentajes de fibra adicionada, hay diferencias altísimamente significativas entre los porcentajes de fibra adicionados. Se observa que el bloqueo aísla un alto porcentaje de ruido.

El porcentaje de fibra infiere altísimamente para los tipos de harina, además el modelo BDCA muestra que es bastante adecuado para representar el equilibrio, ya que el coeficiente de determinación R cuadrado = 0,885.



Resumen estadístico variable equilibrio de la masa P/L

Fuente. Resultados de experimentación

Se presenta sesgo positivo

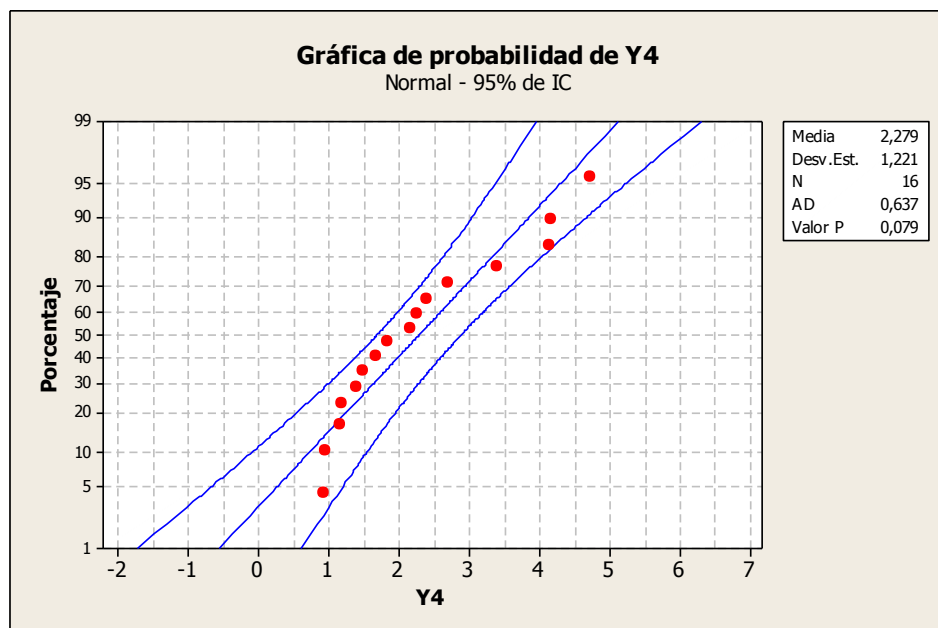
No se observan valores discordantes grandes y presenta un moderado sesgo a derecha, indicando una tendencia moderada a producir equilibrios menores al promedio.

Asimetría y curtosis(-0,51) se encuentran dentro de los límites establecidos para normalidad de la variable (-2, +2).

$1.2210 / 2.2788 = 0,5358$ coeficiente de variabilidad altamente heterogénea.
(Prueba de Normalidad de Anderson Darling)

Verificación del supuesto de normalidad de errores.

La prueba de normalidad de Anderson Darling que es el equivalente a la prueba de Shapiro Wilk, indica que no se puede rechazar la hipótesis de normalidad de los datos, al con un nivel de significancia del 5%; es decir, hay diferencias significativas, dado que el valor de significancia $p=0,079$ (por encima de 0,05), (la misma grafica anterior).



Gráfica de normalidad de la variable equilibrio P/L

Verificación del supuesto de homocedasticidad. Se observa que no se rechaza la hipótesis de homocedasticidad, es decir que el modelo cumple con los supuestos fundamentales.

Fuente. Resultados de experimentación.

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error variable equilibrio de la masa P/L

Variable dependiente: Equilibrio

F	gl1	gl2	Sig.
,896	3	12	,471

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

Fue a. Diseño: Intersección + FIBRA + Harina
nte.

Resultados de experimentación.

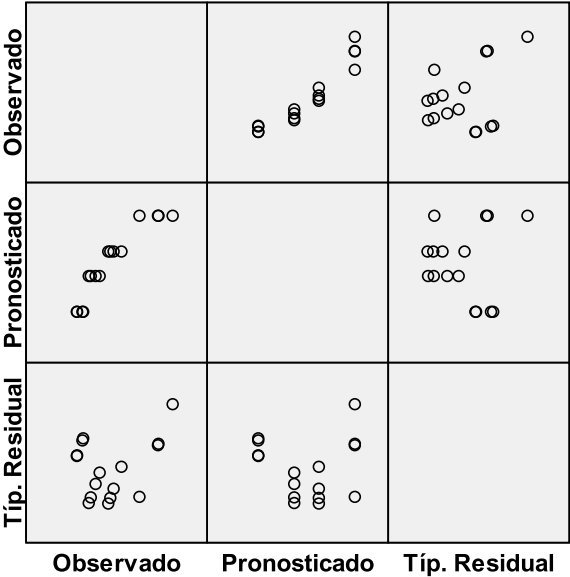
Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. La incorrelacionalidad de errores queda garantizada por la asignación aleatoria de tratamientos a unidades experimentales y por el estricto control que se tuvo en la corrida del experimento y en la realización de las medidas.

a) Procesamiento definitivo de los datos vía SPSS y MINITAB

Se confirma que se cumplen todos y cada uno de los supuestos del modelo (normalidad, homocedasticidad e incorrelacionalidad), lo cual demuestra que los datos tienen validez, excepto por el número de réplicas.

Diagrama variable dependiente equilibrio P/L

Variable dependiente: Equilibrio

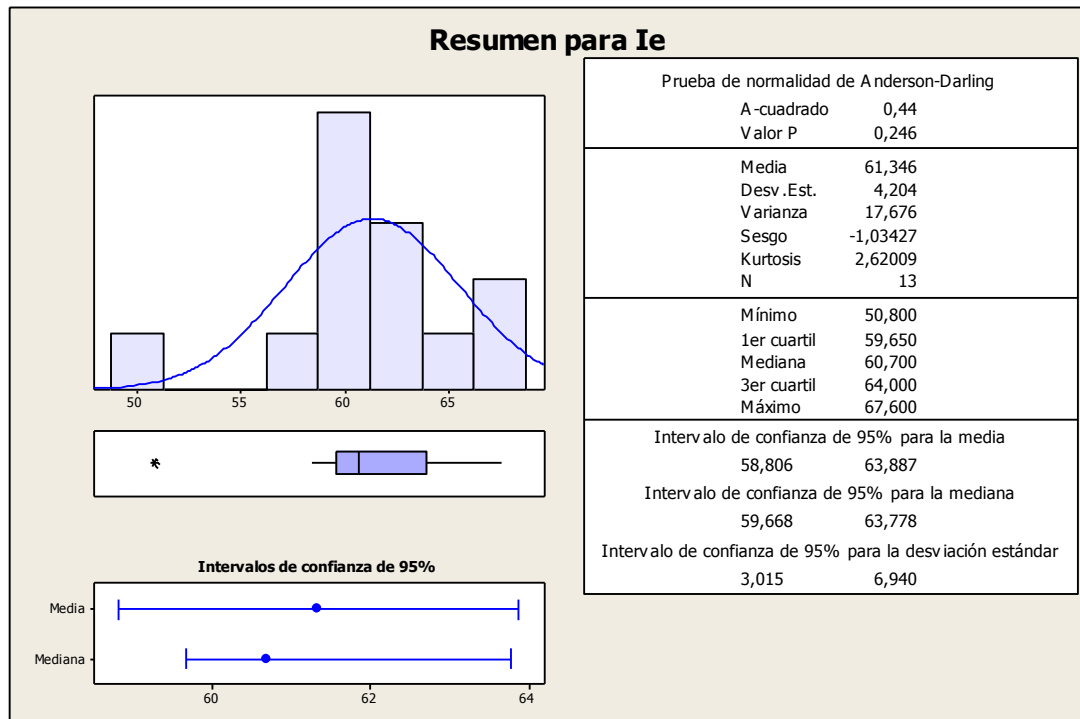


Modelo\: Intersección + FIBRA + Harina

Fuente. Resultados de experimentación.

ANEXO 17. ANALISIS DE INDICE DE ELASTICIDAD

Figura. Resumen descriptivo variable índice de elasticidad



Fuente. Resultados de experimentación

Verificación del supuesto de normalidad de errores: No se puede rechazar la hipótesis de normalidad de los datos, por lo que se puede afirmar que esta variable tiene distribución normal ($p = 0,24$). La prueba grafica, confirma lo anteriormente dicho:

Verificación del supuesto de homocedasticidad. Se presenta heterocedasticidad, por lo cual se rechaza la hipótesis de homocedasticidad, es decir que el modelo no cumple con los supuesto fundamentales.

Tabla. Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas errora variable índice de elasticidad.

Variable dependiente: Índice de elasticidad (%)

F	gl1	gl2	Sig.
68,661	3	12	,000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + FIBRA + Harina

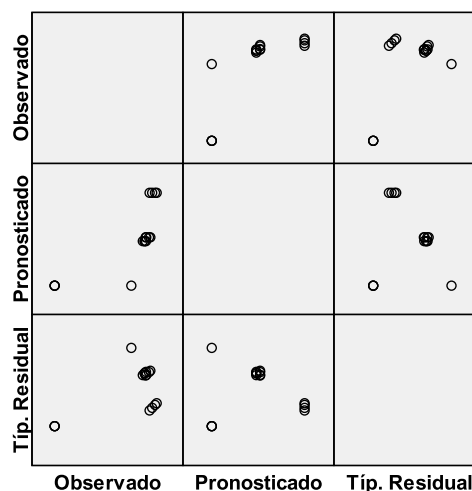
Fuente. Resultados de experimentación

Verificación del supuesto de incorrelacionalidad de errores. La incorrelacionalidad de errores queda garantizada por la asignación aleatoria de tratamientos a unidades experimentales y por el estricto control que se tuvo en la corrida del experimento y en la realización de las medidas.

Exploración del mejor tratamiento.

Diagrama variable índice de elasticidad.

Variable dependiente: Índice de elasticidad (%)



Modelo\): Intersección + FIBRA + Harina

Fuente. Resultados de experimentación.

Los datos de la ANOVA confirman que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se concluye que difieren. La prueba de Tukey no se puede realizar con menos de tres grupos de datos.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, C. (1996). La calidad del trigo: analisis de los factores que determinan las cualidades de los trigos blando y duro y su relacion con el comportamiento del mercado. España.

Andrews JL, Hay RL, Skeritt JH, Sutton KH. 1999. HPLC and immunoassay based glutenin subunit analysis: screening for dough properties in wheats grown under different environmental conditions. *Journal of Cereal Science*, 20: 203–215.

Belton, P. S. (1999). On the elasticity of wheat gluten. *Journal of Cereal Science* 29: 103–107.

Belton, P.S. (2003). The molecular basis of dough rheology. Capítulo 13 en *Bread making Improving Quality*. Editado por Stanley P. Cauvain. Publicado por Woodhead Publishing Limited, Cambridge-Inglaterra

Bettge, A.D., Morris, C.F. (2000) Relationships among grain hardness, pentosan fractions and end-use quality of wheat. *Cereal Chemistry* 77 (2): 241-247.

Calaveras, J. (2004). Nuevo tratado de panificación y bollería. España: Antonio Madrid Vicente AMV.

Carr, N.O., Daniels, N.W.R., Frazier, P.J. (1992). Lipid interactions in breadmaking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 31: 237-258.

Chopin Technologies. (2013). Catalogo. Equipos y métodos para el control de calidad de las harinas, 28 – 29; 32 – 33.

Chung, O., Pomeranz, Y., Finney, K.F. (1978). Wheat flour lipids in breadmaking. *Cereal Chemistry* 55 (5): 598-618.

Cleemput,G., Roels,S.P., Van Oort,M., Grobet,P.J., Delcour,J.A. (1993). Heterogeneity in the structure of water –soluble arabinoxylans in European wheat flours of variable bread-making quality. *Cereal Chemistry* 70: 324-329.

Cools, E. A. (2006). *Nutrición hospitalaria*. EEUU: HOSP.

Córdoba A. 2005. *Caracterización de Propiedades Relacionadas con la Textura de Suspensiones de Fibras Alimentarias*. [Tesis de Doctorado]. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. 205 p.

Correa, M. J. (2012). *Efecto de celulosas modificadas y pectinas sobre la microestructura y atributos de calidad de la masa panaria*. Argentina: universidad nacional de la plata. Centro de investigación y desarrollo en criotecnología de alimentos. Argentina.

Cuniberti M, Mir L, Berra O y Macagno S. (2013). *Calidad del trigo de la región central del país*. Lab. de Calidad industrial de Cereales y Oleaginosas. INTA Marcos Juárez, Cba. Argentina.

Czerniejewski, C.P., Shank, C.W., Bechtel, W.G., Bradley, W.B. (1964). The mineral of wheat flour and bread. *Cereal Chemistry* 41: 65-72.

De La Llave A. 2004. *Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación*. [Tesis en Licenciatura de Ingeniería de Alimentos]. Cholula, Puebla, México. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 86 p. Defendido en 8 de mayo 2004.

Dengate, H.N. (1984). Swelling, pasting and gelling of wheat starch. *Advances in Cereal Science and Technology* 6: 49-82.

Dergal, S. B. (2006). *Química de los Alimentos* cuarta edición. Mexico: Pearson Education.

doughs: structure-function perspectives. *Trends in Food Science &*

Eliasson, A.C. (2003). Starch structure and bread quality. Capítulo 7 en *Breadmaking Improving Quality*. Editado por Stanley P. Cauvain. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, Inglaterra.

Falling Time / Índice de Caída (actividad alfa-amilásica), obtenida el 08 de octubre de 2013 de http://www.concereal.es/falling_time.

Fido, R.J., Bekes, F., Gras, P.W., Tatham, A.S. (1997). Effects of α , β , ω - and γ gliadins on the dough mixing properties of wheat flour. *Journal of Cereal Science* 26: 271–277.

García D. (2011) Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Universidad Nacional de Colombia. Especialización en ciencia y tecnología de alimentos. Bogotá D.C.

Garófalo, Vazquez, Ferreira y Soule (2011). Wheat flour non-starch polysaccharides and their effect on dough rheological properties. *Industrial Crops and Products* Volume 34, Issue 2, Pages 1327–1331.

Ghiasi K, Hosney RC, Zeleznak K, Rogers DE. (1984). Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal Chemistry*, 61: 281-285.

Gómez O., Lara, Hernández y Gómez R. (2011), Cambios reológicos en una masa panaria por la adición de avena. *Biotecnología y alimentos*, CIIDIR IPN Dgo. México.

Hajselová, M. Analysing wheat and flour. Capítulo 9 en *Bread making Improving Quality* Editado por Stanley P. Cauvain. Publicado por Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Inglaterra.

Hidalgo A., Brusco M., Plizzari L. y Brandolini A. (2013). Polyphenol oxidase, alpha-amylase and beta-amylase activities of *Triticum monococcum*, *Triticum turgidum* and *Triticum aestivum*: A two-year study. *Journal of Cereal Science* 58, Issue 1. Pages 51- 58.

Hoseney, R.C, Rogers, D.E. (1990) The formation and properties of wheat flour doughs. Food Science and Nutrition 29 (2): 73-93.

Howitt, C:A., Tamás, L., Solomon, R. G., Gras, P.W., Morell, M. K., Békés, F., Appels, R. (2003). Modifying flour to improve functionality. Capítulo 11 en Breadmaking Improving Quality Editado por Stanley P. Cauvain. Publicado por Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Inglaterra.

Jasim, Almusallam, Al-Salman, AbdulRahman y Al-Salem (2.013), Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough. LWT - Food Science and Technology. Volume 51, Issue 2, Pages 409–416.

Khan, K., Nygard, G., Pogna, N.E., Redaelli, R., Ng, P.K.W., Fido, R.J., Shewry, P.R. (2003). Electrophoresis of wheat gluten proteins. Capítulo 3 en Wheat gluten protein analysis. Editado por Shewry, P., Lookhart, G.L. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.

Khan, K., Nygard, G., Pogna, N.E., Redaelli, R., Ng, P.K.W., Fido, R.J., Shewry, P.R. (2003). Electrophoresis of wheat gluten proteins. Capítulo 3 en Wheat gluten protein analysis. Editado por Shewry, P., Lookhart, G.L. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.

Khan, K., Zhu, J., Huang, D.Y., Borneo, R. (2002). Glutenin size distribution, determined by multi-stacking SDS-PAGE: Relationship to Breadmaking Quality. Capítulo 5 en Cereal Chemists, Minnesota, Estados Unidos.

Khan, K., Zhu, J., Huang, D.Y., Borneo, R. (2002). Glutenin size distribution, determined by multi-stacking SDS-PAGE: Relationship to Breadmaking Quality. Capítulo 5 en Cereal Chemists, Minnesota, Estados Unidos.

Kim, S.K., D' Appolonia, B.L. (1977, a) Effect of pentosans on retrogradation of wheat starch gels. Cereal Chemistry 54: 150- 160.

Kim, S.K., D' Appolonia, B.L. (1977, b) bread staling studies III. Effect of pentosans on dough , bread and bread staling rate. *Cereal Chemistry* 54: 225- 229.

Kruger, J.E., Marchylo, B.A., Hatcher, D. (1988). Preliminary assessment of a sequential extraction scheme for evaluating quality by reversed-phase high performance

Kruger, J.E., Marchylo, B.A., Hatcher, D. (1988). Preliminary assessment of a sequential extraction scheme for evaluating quality by reversed-phase highperformance liquid chromatography and electrophoretic analysis of gliadins and glutenins. *Cereal Chemistry* 65: 208-214 liquid chromatography and electrophoretic analysis of gliadins and glutenins. *Cereal Chemistry* 65: 208-214

Kruger, J.E., Marchylo, B.A., Hatcher, D. (1988). Preliminary assessment of a sequential extraction scheme for evaluating quality by reversed-phase highperformance liquid chromatography and electrophoretic analysis of gliadins and glutenins. *Cereal Chemistry* 65: 208-214.

Kuehl Robert O (2001), Diseño de experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. Segunda edición. Editorial Thompson México.

Kumar Ajay et al (2013) A major QTL for gluten strength in durumwheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Journal of Cereal Science* 57. Pages 21-29.

LAJOLO, F., SAURA-CALIXTO, F., WITTIG DE PENNA, E., WENZEL DE MENESES, E. 2001. Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Ed. Librería Varela. 469 p.

Lee, M.R., Swanson, B.G, Baik, B.K. (2001). Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends. *Cereal Chemistry* 78 (6):701-706.

Lindsay M.P. and J.H. Skerritt. 1999. The gluten in macropolymer of wheat flour

Lindsay, M.P., Skeritt, J.H. (1999) The gluten in macropolymer of wheat flour doughs structure-function perspectives. *Trend in Food Science and Technology* 10: 247-253.

Martínez, O. y Gómez (2013), Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science* 57, Issue 3. Pages 424-429

Matos-Chamorro, A., & Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de Investigación*.

McCann J y Li D. (2013). Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking. *Journal of Cereal Science* 57, Issue 3. Pages 444-452.

Mellado Z., Mario; Madariaga B., Ricardo y Granger Z., Denise. (2000). Nueva variedad de trigo de primavera para la zona centro-sur de Chile. *Agríc. Téc.* [online]. vol.60, N.4 [citado 2013-10-10], pp. 415-418. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03658072000000400009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0365-2807. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000400009>.

Montgomery Douglas C (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Segunda edición. Editorial Limusa S.A. Mexico.

Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2012a). Effect of enzymatic polymerization on physicochemical and rheological properties of guar gum. *Carbohydrate Polymers*, 90, 224-228.

NG, P.K.W., Bushuk, W. (1988). Statistical relationships between high molecular weight subunits of glutenin and breadmaking quality of Canadian-grown wheats. *Cereal Chemistry* 65:408-412

Norma Técnica Colombiana NTC 1363 (2005). Pan requisitos generales. Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

Norma Técnica Colombiana NTC 267 (2007). Harina de trigo. Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

Norma Técnica Colombiana NTC 5053 (2009). Cereales y productos cereales. Trigo común (*Triticum aestivum* L.). Determinación de las propiedades alveográficas de las masas en hidratación constante de harinas comerciales o para ensayo y metodología de la molienda para ensayo. Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

Norma Técnica Colombiana NTC 529 (2009). Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad. Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

OMS. (2009). Recomendaciones sobre el enriquecimiento de la HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L) y de maíz. Ginebra: OMS, FAO, UNICEF, GAIN, MI, & FFI.

Pabón R, Bioquímica Ruminal, Universidad Nacional de Colombia. 2004.

Pallarés M, León A. y Rosell C. (2007). De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Capítulo 1: trigo. Alberto EdelLeon/ Cristina M. Rosell Editores. Argentina.

Pateras, I. (1998). Bread spoilage and staling (pp 240-261).En Technology of Breadmaking. Eds S P Cauvain y L S Young, London, Blackie Academic & Professional.

Peressini D y Sensidoni A 2009, effect of soluble dietary fibre addition on rheological and bread making propieties of wheat doughs, Journa of cereal Sciencie volume 49, pages 190-201

Priego M. 2007. Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de Naranja aplicando un Tratamiento con Vapor. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 64 p.

Quaglia. (1991). Ciencia y tecnología de la panificación. Zaragoza España: Acribia.

Revista virtual pro 2011, ALGUNAS OPERACIONES UNITARIAS APLICADAS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Doc 75 pag 100.

Ruiz, G. d. (2009). Propiedades Funcionales de la harina de trigo. Ciencia y tecnología.

Sánchez B. 2005. Caracterización Fisicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango Obo. [Tesis para optar el grado de Ingeniero en Alimentos]. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 76 p.

Sandoval, E. R., Quintero, A. F., & Aponte, A. A. (2005). Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz. *Revista ingeniería e investigación*, 87-93.

Seagle HM, Strain GW, Makris A, Reeves RS; American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: weight management. *J Am Diet Assoc.* 2009; 109: 330-46

Shewry PR, Tatham AS, Forde J, Kreis M, Mifflin BJ. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4: 97–106

Shibanuma, K., Takeda, Y., Hizukuri, S., Shibata, S. (1994). Molecular-structures of some wheat starches. *Carbohydrate Polymers* 25: 111–116.

Sing, N.K, Sheperd, K.W y Cornish G.B. (1991). A simplified SDS-PAGE procedure for separating the LMW subunit of glutenin. *Journal of Cereal Science* 14: 203-208.

Singh, H., MacRitchie, F. (2001). Application of Polymer Science to Properties of Gluten. *Journal of Cereal Science* 33: 231–243

Singh, N.K., Donovan, G.R., Batey, I.L., MacRitchie, F. (1990). Use of sonication and size-exclusion High-Performance Liquid Chromatography in the study of wheat flour proteins. I. Distribution of total proteins in the absence of reducing agents. *Cereal Chemistry* 67 (2): 150-161.

Sroan, B.S, Bean, S.R., MacRitchie, F. (2009). Mechanism of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten–starch matrix. *Journal of Cereal Science* 49: 32– 40.

Stauffer, C.E. (1990). *Functional Additives for Bakery Foods*. Van Nostrand Reinhold- New York, Estados Unidos. Stauffer, C. (1998). Fundamentos de formación de la masa (pp. 309-347). En *Fabricación de pan* editado por Cauvain, S. y Young, L. Acribia, Zaragoza.

Steffolani, María Eugenia (2010) Efecto de las enzimas pentosanasa, glucosa oxidasa y transglutaminasa en productos de panificación. Universidad Nacional de La Plata.

Tatham, A. S., Shewry, P. R. (1995). The S-poor prolamins of wheat, barley and rye. *Journal of Cereal Science* 22:1-16.

Technology, 10: 247-253.

Tolstoguzov, V. (1997). Thermodynamic aspects of dough formation and functionality. *Food Hydrocolloids* 11(2): 193-197.

Torres M, 2011, *Bioquímica*. Univesidad Nacional abierta y a Distancia, Bogotá 2011.

Valencia, F., & Roman, M. (2004). La fibra dietaria como alimento funcional. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* , 12-17.

Valenzuela, A., & Maiz, A. (2006). El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. Revista chilena de nutrición , 342-351.

Veraverbeke W. y Delcour J. (2011). Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality. Laboratory of Quality of fact-finding Grains of the Division of Industry of Plants. Australia. Pages 179-208.

Verdugo, J (1989). Calidad en los trigos. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agrarias. Madrid.

Wheat Marketing Center, wheat and flour testing methods: A guide to understanding wheat and flour quality, Version 2, Kansas State University (2008).

Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. Food microbiology 24: 115-119.

Wieser, H. Bushuk, W., Mac Ritchie, F. (2006) The polymeric glutenins (pp 213-240). En Gliadin and Glutenin: The unique balance of wheat quality editado por Wringley, C., Bekes, F., Bushuk, W. St. Paul American Association of Cereal Chemistry.

YildizÖnder (2013). Pasting properties, texture profile and stress–relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. Food Research International Volume 53, Issue 1. Pages 278–290.

Zhao Dongjun et al (2010). Elastic properties of gluten representing different wheat classes. Journal of Cereal Science 52. Pages 432-437.

Zuñiga M (2005). Caracterización de fibra dietaria en orujo y capacidad antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva, pages 45-50