



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

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE
LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS**

José Carlos Ruiz Fuentes

Asesorado por la Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez.

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE
LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ CARLOS RUIZ FUENTES

ASESORADO POR LA INGA. MERCEDES ESTHER ROQUEL CHÁVEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2013.



Jose Carlos Ruiz Fuentes



Guatemala 23 de Octubre de 2014

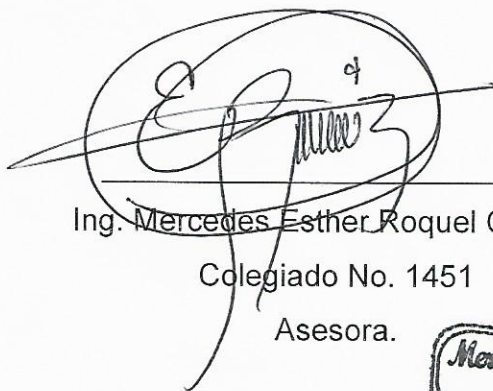
Ingeniero Victor Monzon
Director de Escuela de Ingeniera Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero:

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que el estudiante **JOSE CARLOS RUIZ FUENTES**, con carné No. **2005-12255**, me ha presentado para revisión su informe final del trabajo de graduación, titulado "Evaluación de los efectos en los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo, causados por la infestación de gorgojos" al cual doy mi APROBACIÓN.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente:



Ing. Mercedes Esther Roquel Chávez.

Colegiado No. 1451

Asesora.





Guatemala, 26 de noviembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.069.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **116-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **José Carlos Ruiz Fuentes**.
Identificado con número de carné: **2005-12255**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Mercedes Esther Roquel Chávez**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

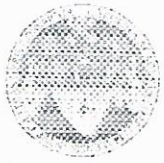
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Adrian Antonio Soberanis Ibañez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.038.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JOSÉ CARLOS RUIZ FUENTES** titulado: **"EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2015

Cc: Archivo
VMMV/cle





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA HARINA DE TRIGO, CAUSADOS POR LA INFESTACIÓN DE GORGOJOS**, presentado por el estudiante universitario: **José Carlos Ruiz Fuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de marzo de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría y guía para poder enfrentar con entusiasmo y seguridad cada día de mi vida.
- Mis padres** Héctor Ruiz y Beatriz Fuentes. Por su incondicional apoyo y amor brindado, lo que me permitió poder culminar con éxito esta etapa de mi vida.
- Mi esposa e hija** Cinthya Yoc y Susan Ruiz. Por su incomparable amor y por ser mi mayor motivación para seguir adelante.
- Mis hermanos** Fernando, Alfredo y Any Ruiz. Por siempre velar por mí y hacerme saber que siempre voy a contar con su apoyo.
- Mis tíos** Por todas sus enseñanzas, cariño y consejos brindados.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. El trigo.....	3
2.1.1. Endospermo.....	3
2.1.2. Salvado	3
2.1.3. Germen	4
2.2. La parte química del trigo.....	4
2.2.1. Proteínas.....	4
2.2.2. Carbohidratos	5
2.2.3. Materias grasas.....	5
2.2.4. Sales minerales.....	6
2.2.5. Vitaminas	6
2.3. Clasificación del trigo	7
2.3.1. Trigo de invierno	8
2.3.2. Trigo de primavera	8
2.3.3. Trigo <i>durum</i>	8

2.3.4.	Trigos duros.....	9
2.3.5.	Trigos semiduros	9
2.3.6.	Trigos blandos	10
2.4.	Proceso de molienda	10
2.4.1.	Recepción y almacenamiento del trigo	11
2.4.2.	Limpieza y acondicionamiento del trigo	12
2.4.3.	Proceso de molienda	13
2.4.3.1.	Sasaje.....	15
2.4.3.2.	Dosificación.....	15
2.4.3.3.	Compresión y cernido	15
2.5.	Harina de trigo	18
2.6.	Análisis fisicoquímicos a la harina de trigo	21
2.6.1.	Contenido de proteínas	22
2.6.2.	Contenido de humedad	22
2.6.3.	Contenido de cenizas	23
2.6.4.	Actividad enzimática	24
2.6.4.1.	Amilasa	25
2.6.4.2.	Proteasa.....	25
2.6.5.	Cantidad de gluten.....	26
2.6.6.	Granulometría.....	27
2.6.7.	Almidón dañado.....	27
2.6.8.	Farinógrafo	28
2.6.8.1.	Absorción	29
2.6.8.2.	El tiempo pico	30
2.6.8.3.	El tiempo de llegada	30
2.6.8.4.	Tiempo de salida.....	30
2.6.8.5.	Tiempo de estabilidad.....	30
2.6.8.6.	Índice de tolerancia a mezclas.....	31
2.6.7.	Alveógrafo	31

2.7.	Propiedades funcionales de la harina de trigo	32
2.8.	Reología de las masas de harina de trigo	33
2.9.	Contaminación de la harina de trigo.....	35
2.9.1.	Gorgojo Tribolium.....	37
2.9.2.	Control de plagas	39
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.1.	Variables	41
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	43
3.3.	Recursos humanos disponibles	44
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	44
3.5.	Clasificación de técnica utilizada.....	51
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	52
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	52
3.7.1.	Datos de los análisis realizados a la harina sin contaminar	53
3.7.2.	Datos de los análisis realizados a la harina contaminada con gorgojos	54
3.8.	Análisis estadístico.....	56
4.	RESULTADOS.....	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES	81

ANEXOS..... 101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de Flujo del proceso de molienda.....	17
2.	Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa	34
3.	Ciclo de vida del gorgojo.....	36
4.	Gráfica descriptiva del porcentaje de proteína en ambas harinas en función del tiempo.....	66
5.	Gráfica descriptiva del porcentaje de humedad en ambas harinas en función del tiempo.....	66
6.	Gráfica descriptiva del porcentaje de gluten húmedo en ambas harinas en función del tiempo.....	67
7.	Gráfica descriptiva del porcentaje de gluten index en ambas harinas en función del tiempo.....	67
8.	Gráfica descriptiva del <i>falling number</i> en ambas harinas en función del tiempo	68
9.	Gráfica descriptiva del porcentaje de almidón dañado en ambas harinas en función del tiempo	68
10.	Gráfica descriptiva del porcentaje de partículas que pasa por la tela 15xx en ambas harinas en función del tiempo	69
11.	Gráfica descriptiva de la estabilidad en ambas harinas en función del tiempo	69
12.	Gráfica descriptiva del <i>quality number</i> en ambas harinas en función del tiempo	70
13.	Gráfica descriptiva del volumen del pan en ambas harinas en función del tiempo	70

TABLAS

I.	Clases y subclases de trigo	7
II.	Descripción de las variables involucradas en el estudio	42
III.	Descripción de las variables a controlar y manipular	43
IV.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de proteína	44
V.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de humedad	45
VI.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de ceniza.....	45
VII.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de almidón dañado.....	46
VIII.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de gluten húmedo.....	46
IX.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de gluten Índice ..	47
X.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de grasa	47
XI.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de acidez grasa	48
XII.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de <i>falling number</i>	48
XIII.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de <i>funga</i> <i>falling number</i>	49
XIV.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de granulometría.....	49
XV.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de farinograma.....	50
XVI.	Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de alveograma ...	50
XVII.	Clasificación de las técnicas utilizadas	51
XVIII.	Resultados de análisis fisicoquímicos a la harina sin contaminar.....	53
XIX.	Resultados de análisis de grasa y granulometría a la harina sin contaminar	53

XX.	Resultados de análisis de alveógrafo a la harina sin contaminar	54
XXI.	Resultados de análisis de farinógrafo y volumen de pan a la harina sin contaminar	54
XXII.	Resultados de análisis fisicoquímicos a la harina contaminada con gorgojos	55
XXIII.	Resultados de análisis de grasa y granulometría a la harina contaminada con gorgojos	55
XXIV.	Resultados de análisis de alveógrafo a la harina contaminada con gorgojos	56
XXV.	Resultados de análisis de farinógrafo y volumen de pan a la harina contaminada con gorgojos	56
XXVI.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la proteína.....	61
XXVII.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la humedad.....	61
XXVIII.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del gluten húmedo	62
XXIX.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del gluten index.....	62
XXX.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del <i>Falling Number</i>	63
XXXI.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del almidón dañado	63
XXXII.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la granulometría tela 15xx	64
XXXIII.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la estabilidad.....	64
XXXIV.	Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del <i>quality number</i>	65

XXXV. Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en
función del volumen65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetros cúbicos
L	Extensibilidad
W	Fuerza
°C	Grados Celsius
G	Grado de hinchamiento
KOH	Hidróxido de potasio
H₁	Hipótesis alternativa
H₀	Hipótesis nula
le	Índice de expansión
MTI	Índice de tolerancia al mezclado
μ	Media aritmética
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mmH₂O	Milímetro de agua
min	Minuto
α	Nivel de confianza
p/v	Peso sobre volumen
%	Porcentaje
P	Tenacidad
UB	Unidades Brabender

GLOSARIO

Absorción	Proceso en el que determinados elementos, tales como moléculas, átomos o iones pasan de un estado o fase a otro, formando un cuerpo o material con diferentes características.
Alveógrafo	Aparato que sirve para determinar el comportamiento mecánico de las pastas de harina.
Cernedor	Aparato que sirve para separar por tamaño de partícula el producto resultante de la molienda, especialmente la harina.
Extensibilidad	Capacidad de un material de ser extendido o estirado sin romperse.
<i>Falling Number</i>	Número de caída o índice de caída término utilizado para indicar la cantidad de actividad enzimática.
Farinógrafo	Se emplea para medir las características y aptitudes de las harinas en el amasado.
Gluten	Sustancia pegajosa y de color pardo, formada por proteínas, que se encuentra en la semilla del trigo y de otras gramíneas, y que proporciona gran cantidad de energía al organismo.

Gorgojo	Insecto del mismo orden que el escarabajo, de pequeño tamaño, con la cabeza prolongada en un pico en cuyo extremo se encuentran las mandíbulas; plaga de granos.
Granulometría	Es la distribución de los tamaños de las partículas y se determina por análisis de tamices.
<i>Quality Number</i>	Número de calidad, utilizado para designar el grado de calidad de una harina en un farinógrafo.
Tenacidad	Energía que absorbe un material, con las consecuentes deformaciones que el mismo adquiere, antes de romperse.

RESUMEN

El desarrollo de la presente investigación fue enfocado directamente en la harina de trigo duro, utilizada principalmente en procesos de panificación, evaluando los efectos que tienen sobre ella la infestación de gorgojos, en un estudio que se llevó a cabo a lo largo del tiempo de vida que las harinas de trigo comerciales tienen definida.

Fue necesario elaborar una fase de ejecución que consistió en infestar inicialmente la harina de trigo con gorgojos, los cuales son considerados como plaga primaria en las harinas de trigo, manteniéndose almacenada durante todo el proceso de investigación en un cuarto de control, bajo condiciones de temperatura controlada e ideales para el desarrollo del ciclo de vida del gorgojo y su respectiva reproducción.

Durante este tiempo de almacenamiento fueron analizados sus parámetros de calidad, los cuales abarcaron análisis fisicoquímicos, reológicos y de panificación. En períodos definidos durante los cuatro meses, tomando como patrón comparativo una harina bajo las mismas condiciones, pero sin estar contaminada con gorgojos.

Se evaluó con los resultados obtenidos de cada análisis en qué parámetros se presentó una diferencia estadísticamente significativa y cómo este afectó en el resultado del pan elaborado como producto final. Se pudo observar diferencias en algunos parámetros fisicoquímicos y reológicos.

OBJETIVOS

General

Evaluar los efectos sobre los parámetros fisicoquímicos en la harina de trigo, causados por la infestación de gorgojos.

Específicos

1. Evaluar qué cambios sufren los valores proporcionados por análisis fisicoquímicos, realizados a una harina de trigo infestada por gorgojos durante su almacenamiento.
2. Evaluar qué cambios sufren los valores proporcionados por un farinógrafo, realizado a una harina de trigo infestada por gorgojos durante su almacenamiento.
3. Evaluar qué cambios sufren los valores proporcionados por un alveograma, realizado a una harina de trigo infestada por gorgojos durante su almacenamiento.
4. Evaluar qué cambios sufre el producto final panificado con una harina de trigo infestada por gorgojos durante su almacenamiento.
5. Determinar que valores presenta una diferencia estadísticamente significativa, con respecto a la harina patrón sin contaminación durante el tiempo de almacenamiento.

Hipótesis

Los gorgojos se desarrollan entre 17 y 34 °C, lo cual genera contaminación de la harina con materia extraña como partes de sus cuerpos, excrementos, calor y agua metabólica, lo que aumenta la maduración y degradación de la harina creando cambios considerables en la funcionalidad de la harina de trigo para ser panificable, en tiempos más cortos, por lo cual se plantea lo siguiente:

Hipótesis Científica:

Puede observarse variaciones en los valores proporcionados por los equipos de medición fisicoquímicos y reológicos, en una harina con gorgojos con respecto a una harina almacenada bajo las mismas condiciones pero libre de gorgojos.

Hipótesis nula:

No existe una diferencia significativa en los valores obtenidos de la harina contaminada respecto a los valores obtenidos de la harina sin contaminación.

Hipótesis alternativa:

Si existe una diferencia significativa en los valores obtenidos de la harina contaminada respecto a los a los valores obtenidos de la harina sin contaminación.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el alto índice de competitividad y globalización hace que las empresas impongan altos estándares de calidad e inocuidad, para sus productos finales y durante su producción, realizando todo lo necesario y utilizando todos los recursos disponibles para alcanzar y mantener los mismos, a través de sistemas integrados de calidad e inocuidad.

Como parte del control de inocuidad en las industrias harineras y panificadoras, se ha determinado que los productos y subproductos obtenidos en el proceso de molienda de cereales y panificación, son susceptibles y se ven afectados principalmente por plagas como los ácaros y gorgojos, es por eso que se consideran una plaga primaria de los productos de molienda y panificación.

Como parte de control de calidad, se han definido para la harinas de trigo diferentes parámetros y estándares que involucran análisis fisicoquímicos, reológicos y de panificación para garantizar la correcta funcionalidad de la harina al momento de ser panificable por el cliente.

Por lo expuesto anteriormente se llevó a cabo un proceso de investigación con el objetivo de poder evaluar cuál es el efecto y comportamiento, en los parámetros de calidad de la harina de trigo, que se ven afectados por la infestación de gorgojos, logrando con esto, determinar como un aspecto que afecta directamente la inocuidad de un producto puede ser perjudicial para la funcionalidad del mismo.

Durante el estudio se midieron y monitorearon los cambios, a través del tiempo y bajo condiciones de temperatura controlada, que sufrió la harina inicialmente contaminada con una población de gorgojos inicial y así se determinó, en comparación con una harina almacenada sin contaminar, qué parámetros dieron una diferencia estadísticamente significativa y como estos afectaron el proceso de panificación y el pan como producto terminado.

Con la finalidad de proporcionar información a las personas que se dedican a realizar procesos de panificación, especialmente a las pequeñas panaderías, sobre la necesidad de generar y mantener un sistema integrado de control de plagas que no solo garantizará la inocuidad del producto, sino que también garantizará la calidad del producto, asegurando con esto la satisfacción de su cliente.

1. ANTECEDENTES

Los insectos causan contaminación del grano con partes de sus cuerpos y excrementos, niveles mayores a 9 insectos por kilogramo califican un lote de granos como infestado.

Entre los principales insectos contaminantes se pueden mencionar los siguientes:

- Gorgojo (*Sitophilus spp*)
- Barrenador del grano (*Rhyzopertha dominica*)
- Escarabajo serrado (*Oryzaephilus spp*)
- Escarabajo de harina (*Tribolium spp*)
- Escarabajo chato (*Cryptolestes spp*)

Los gorgojos producen calor y agua metabólica, propiciando el aumento de hongos durante el almacenamiento causando un deterioro del grano, *Sitophilus spp* y *Rhyzopertha dominica* desarrollan formas no maduras dentro de los granos. Los otros insectos contaminantes no dañan el grano pero si lo contaminan.

Los granos de cereales por ser material biológico continúan desarrollando sus procesos metabólicos durante el almacenamiento, deteriorándose y creando condiciones óptimas para el desarrollo y ataque de otros agentes biológicos nocivos como los insectos, los microorganismos y los roedores.

Las características de los insectos que atacan los granos almacenados son generalmente pequeños, les gusta los lugares oscuros, permanecen en

orificios y grietas reducidas y tiene la capacidad de reproducirse en muy poco tiempo.

Los insectos que atacan los granos almacenados se clasifican en insectos primarios e insectos secundarios. Los primeros son especies de insectos que son capaces de hacer daño a los granos por si solas.

Las larvas se alimentan dentro de los granos, *Sitophilus oryzae* (gorgojo de los granos o del trigo, ataca a toda clase de grano) y *Sitophilus granarius* (se conoce como gorgojo negro, volador o del arroz, ataca a todos los granos y es la plaga que ataca al maíz, el arroz, el sorgo y el trigo almacenado).

A pesar de la información descrita anteriormente, no se conoce que se haya realizado un estudio sobre cuáles son los parámetros fisicoquímicos, reológicos y de panificación que pueden verse afectados en la harina de trigo al haber sido infestada por gorgojos y al mantenerse bajo condiciones óptimas de crecimiento para los insectos, únicamente se conoce que los gorgojos producen calor y agua metabólica propiciando el aumento de hongos y deterioro del grano.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El trigo

Es un cereal fundamental, ya que provee más nutrientes que cualquier otro alimento en el mundo. Por aparte, ofrece un alto del valor nutritivo y es el alimento más económico en relación a su contenido de nutrientes; los productos de trigo tienen una gran variedad de carbohidratos, proteína, vitaminas y minerales.

El grano es la semilla de la que crece la planta del trigo. Cada una de estas minúsculas semillas contiene tres partes diferenciadas, las cuales son separadas durante el proceso de la molienda para producir la harina.

2.1.1. Endospermo

Constituye aproximadamente el 83 por ciento del peso del grano y es el origen de la harina blanca. Es en el endospermo donde está contenida la mayor parte de las proteínas, carbohidratos y hierro, así como las principales vitaminas del grupo B, como la riboflavina, niacina y tiamina. También es fuente de fibras solubles.

2.1.2. Salvado

Representa aproximadamente el 14 por ciento del peso del grano. El salvado se incluye en la harina de trigo integral y también puede comprarse por

separado. El salvado contiene pequeñas cantidades de proteína, minerales en bajas cantidades y fibras dietéticas (principalmente insolubles).

2.1.3. Germen

Tiene aproximadamente 2,5 por ciento de peso de cada grano y es el embrión, o sección germinante, de la semilla. A menudo se le separa de la harina porque su contenido de grasas (aproximadamente 10 por ciento) acorta la vida de anaquel. El germen contiene cantidades mínimas de proteínas de alta calidad y mayores cantidades de vitaminas del complejo B y de trazas de minerales; es una parte de la harina de trigo integral y puede también comprarse por separado.

2.2. La parte química del trigo

Un grano de trigo está compuesto por proteínas, carbohidratos, (ambos solubles y en forma de fibras), materias grasas, minerales y agua. Las cantidades varían grandemente en las diferentes variedades de acuerdo a la especie, climas, suelos de cultivo y así por el estilo.

2.2.1. Proteínas

Las proteínas son sustancias orgánicas complejas, conteniendo carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y también algunas veces una pequeña proporción de azufre y fósforo. El material de las proteínas siempre está presente en las células vivas pero nunca en aquello que no haya sido formado desde estas. Las proteínas se forman en los tejidos vivos por la transformación de los aminoácidos simples en moléculas compuestas.

Su importancia en el cuerpo humano puede medirse tomando dos de los muchos papeles que juegan; el hecho de que los músculos consisten grandemente de la proteína llamada miosina y que el pigmento rojo transportador de oxígeno en la sangre, es la proteína denominada hemoglobina.

El trigo tiene dos proteínas que son las únicas que en presencia de agua y acción mecánica son formadoras de gluten, las cuales son Gliadina y Glutenina.

2.2.2. Carbohidratos

Los carbohidratos son sustancias orgánicas compuestas que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno; el hidrógeno y el oxígeno existen en las mismas proporciones que en el agua, es decir, dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno. Todos los almidones y el azúcar pertenecen al grupo de los carbohidratos y son directamente solubles en agua, puede hacerse esto por hervido, por el tratamiento con ácidos dilutorios o por la acción de ciertas enzimas.

2.2.3. Materias grasas

Las materias grasas están compuestas por carbón, hidrógeno y oxígeno, siendo combinaciones de glicerol y otros ácidos grasos; son denominadas aceites o grasas de acuerdo a si son líquidas a temperatura normal. Las materias grasas pueden ser separadas en sus dos componentes, glicerol y ácidos grasos. Una pequeña proporción de ácidos grasos libres también están presentes a menudo y esto, bajo ciertas condiciones tales como humedad o almacenamiento prolongado, puede aumentar y causar rancidez.

La función principal de las materias grasas es actuar como suministro de reserva de combustible. Cuando no se las requiere para un uso inmediato, son conducidas por la linfa y la corriente sanguínea hacia los tejidos grasos, donde son almacenadas.

2.2.4. Sales minerales

Las sustancias minerales o inorgánicas en los alimentos se producen en forma de sales, las cuales la mayor parte del tiempo persisten como cenizas luego de haberse producido la combustión completa; solamente están presentes en pequeñas cantidades.

La parte básica de las sales consiste de los metales: calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro, mientras que la parte ácida contiene los no metálicos: fósforo, azufre, cloro y yodo; existen también trazas de ciertos otros elementos.

2.2.5. Vitaminas

En adición a los elementos ya tratados, los alimentos también contienen ciertos factores accesorios conocidos como vitaminas. Aunque las vitaminas solo aparecen en cantidades sumamente pequeñas y no son por sí mismas constructoras o proveedoras de energía, son de importancia suprema debido a que sin ellas el organismo humano no puede ser mantenido en un estado de salud normal. Su función es entrar en la composición de las enzimas, por medio de las cuales se llevan a cabo en el organismo los numerosos procesos constructores y separadores.

2.3. Clasificación del trigo

De acuerdo con las actuales normas para el trigo de los Estados Unidos, que es de donde proviene la mayor cantidad de trigo para molienda en Guatemala, este se divide en diversas clases y subclases comerciales, como se puede observar en la siguiente tabla.

Cada clase está formada por distintas variedades de trigo, algunas de las cuales difieren tanto entre sí como las variedades de las distintas clases.

Tabla I. Clases y subclases de trigo

Clase I: Trigo rojo duro de primavera	
Subclase A	Trigo oscuro norteño de primavera
Subclase B	Trigo norteño de primavera
Subclase C	Trigo rojo de primavera
Clase II: Trigo <i>durum</i>	
Subclase A	Trigo <i>durum</i> ámbar duro
Subclase B	Trigo <i>durum</i> ámbar
Subclase C	Trigo <i>durum</i>
Clase III: Trigo rojo duro de invierno	
Clase IV: Trigo rojo blando de invierno	
Clase V: Trigo blanco	
Subclase A	Trigo blanco duro
Subclase B	Trigo blanco blando
Subclase C	Trigo blanco club
Subclase D	Trigo blanco del oeste

Fuente: elaboración propia, con base en curso por correspondencia de Tecnología aplicada a la panificación del American Institute of Baking.

2.3.1. Trigo de invierno

El trigo de invierno es sembrado en el otoño y florece en aquellos países donde el invierno no es muy severo. Las heladas afectan al trigo de invierno, pero una capa protectora de nieve no solo evita los daños de las heladas sino que descansa entonces en un estado latente, hasta que el crecimiento se reanuda en las cercanías de la primavera.

2.3.2. Trigo de primavera

El trigo de primavera es sembrado a principios de esta estación y debe ser cosechado antes de que sea dañado por las heladas invernales, por lo tanto, las únicas variedades adecuadas son aquellas que crecen y maduran rápidamente. Los trigos de primavera son muy adecuados para aquellos países donde el invierno es riguroso y con severas heladas, y donde la escasez de nieve hace que la tierra se congele hasta una profundidad que llega a dañar el trigo.

Los trigos de primavera que crecen en un clima adecuado son generalmente fuertes, mientras que los trigos de invierno son generalmente débiles o de una fuerza solamente moderada. Por lo tanto, los de primavera son mucho más populares para la fabricación del pan que los de invierno.

2.3.3. Trigo *durum*

Son inadecuados para la fabricación del pan. Se cultivan principalmente para la fabricación de sémola, la cual es usada para fideos, pastas, entre otros.

Estos trigos a veces tienen un contenido de maltosa muy alto y pueden entonces ser mezclados en pequeñas proporciones con otros para aumentar la producción de gas en las harinas. Pertenecen generalmente a un grupo botánico diferente a las variedades para usar harinas.

2.3.4. Trigos duros

Son usualmente fuertes, y por lo tanto, tienen una gran demanda para la producción de harinas panaderas. Las harinas producidas son granulosas y activas. Puede mezclarse con este trigo otros más débiles, si es que no se requiere una gran fuerza.

La harina obtenida de este trigo es principalmente utilizada para la elaboración de pan francés, pan de hamburguesas y masas de pizzas, por su gran contenido de proteína y su capacidad de retener más cantidad de gas en su estructura durante la fermentación.

2.3.5. Trigos semiduros

Tienen generalmente una fuerza media y pueden ser mezclados con trigos débiles o fuertes, sin afectar mucho la fuerza resultante de la mezcla. Estos trigos algunas veces contribuyen en el color, sabor o en un rendimiento más alto de las harinas. A menudo son muy adecuados para la fabricación de harinas de levantamiento propio y para la producción de *croissant* y masas danesas.

2.3.6. Trigos blandos

Son generalmente débiles y adecuados para harinas de galletas, en las cuales no se desea fuerza, ya que para este tipo de procesos es deseado que la masa tenga fluidez dentro de los moldes.

Pueden mezclarse con trigos duros para reducir la fuerza general de la mezcla, porque a menudo tienen excelente sabor y producen harinas de color agradable. Una pequeña proporción de estos trigos puede ser mezclada con ventaja con mezclas de trigos panaderos.

2.4. Proceso de molienda

El proceso de producción de un molino de trigo conocido normalmente como molienda de trigo, cae dentro de los sistemas de producción de flujo continuo, o sea, sistemas con elementos estandarizados en lo relativo a vías y flujo.

En consecuencia pueden adoptar un conjunto y una secuencia de procesos estandarizados. El proceso de producción en un molino, se conoce como molturación o molienda, aunque sea esta sola una etapa del proceso en sí.

Las operaciones básicas de un sistema de producción de molienda de trigo son:

- Recepción y almacenamiento del trigo, materia prima
- Limpieza y acondicionamiento del trigo
- Proceso de molienda
- Almacenaje y empaque final

2.4.1. Recepción y almacenamiento del trigo

La recepción en los molinos puede variar y dependerá de las instalaciones con que se cuenta y del medio de transporte, a través del cual llega el trigo al molino.

La recepción del trigo comprende la descarga del cereal desde los buques, barcazas, vagones de ferrocarril, camiones o carros de granjeros y su transporte hasta los silos de almacenamiento, luego de haber sido pesado correctamente.

Para todos los propósitos prácticos, existen solamente tres métodos de recepción: tolvas de recepción combinadas con elevadores, elevador de cangilones y planta de descarga neumática. De estos tres métodos, el primero es adaptable solamente para descargas reducidas, ya sea a granel o bien embolsado y es descargado directamente desde camiones o vagones.

El trigo es descargado directamente sobre una tolva de recepción colocada al nivel del suelo, donde es elevado por medio de un elevador a cangilones y es descargado en el interior del molino a un nivel lo bastante elevado, como para permitir que el cereal pase por gravedad a través de la báscula automática y seguidamente a la limpieza preliminar. Luego el cereal es levantado nuevamente y depositado en los silos de almacenamiento.

El trigo posee cantidades y clases variables de impurezas, afortunadamente, las cualidades de preservación y de mantenimiento del trigo son muy raramente afectadas por la presencia de polvo e impurezas medianas, las cuales, por lo tanto, pueden ser removidas luego en forma más pausada.

Sin embargo, los residuos gruesos deben ser separados por cernido inmediatamente después de ser descargado el trigo y antes de que entre a los silos, dado que pueden quedar obstruidas las cañerías y salidas de los silos y pueden sufrir daños las transportadoras y los elevadores, adicional a esto, los residuos pueden ser altamente inflamables si se encuentran en suspensión.

Los diferentes tipos de trigo son almacenados en silos que están conectados a una transportadora, por medio de la cual el trigo de los silos es enviado al área de producción hacia los silos que se encuentran dentro.

2.4.2. Limpieza y acondicionamiento del trigo

Es absolutamente indispensable proceder a la limpieza intensiva del grano antes de la molturación, pues las impurezas y polvo contenido en el mismo dificultan la molturación, imposibilitando la fabricación de harinas perfectamente blancas, si el grano es sucio.

La cantidad y clase de impurezas contenidas en un cargamento de trigo varía de acuerdo al tipo de cereal. Trigos de grado muy alto, contienen muy pocas impurezas, excepto una cantidad muy limitada de polvo, arena y semillas extrañas. Los trigos de regiones más primitivas no solamente contienen mucho más de esas impurezas, sino también una cantidad apreciable de trozos de maderas, trapos, pajas y residuos de diversas clases.

En forma general, se pueden clasificar las impurezas de la siguiente forma:

- Impurezas y residuos de tamaño apreciable
- Impureza medias
- Polvo

Cada una de estas impurezas debe ser removida en forma completa antes de que el trigo sea molido.

El acondicionamiento del trigo es un problema que consiste en determinar el procedimiento más eficaz, rápido y económico para alcanzar el grado más ventajoso de humedad en el grano, perfectamente distribuido. Para ello ha de tenerse en cuenta si los trigos poseen poca humedad interna o esta es excesiva.

Este acondicionamiento consiste en dejar en reposo en los cajones o silos de almacenamiento denominados de descanso, al trigo humedecido, entre 10 y 30 horas, para lograr que la humedad penetre a través del endospermo del grano y se difunda a través de él; y que el trigo alcance determinadas condiciones físicas para la molienda, provocando directa e indirectamente ciertos cambios que mejoren el valor panadero de las harinas de trigo.

2.4.3. Proceso de molienda

El propósito fundamental en la molienda del trigo es moler los granos disponibles, convirtiéndolos en harinas que harán frente a las variadas necesidades del consumidor, panadero, ama de casa, pastelero, fabricante de galletas y del fabricante de pastas. Al mismo tiempo los subproductos deben, dentro de lo posible, satisfacer al consumidor de forrajes tanto en lo que a su forma física se refiere, como a sus valores alimenticios, digestibilidad y buen sabor, de acuerdo a los diferentes animales a alimentar.

Una buena parte del público consumidor de pan confiere gran importancia a la apariencia y buen sabor del mismo, exigiendo así un pan de buen volumen, con una miga blanca de textura fina y blanda, compuesta por células que no desmigajan fácilmente; un pan de este tipo requiere harinas de las cuales se hayan eliminado el afrecho.

A la luz del conocimiento creciente en el campo de la bioquímica y la dietética, actualmente se acredita mucha importancia al valor nutritivo del pan y los molineros tratan de producir harinas que no solo satisfagan a los consumidores en lo que a su apariencia y buen sabor se refiere, sino que también deben contener, dentro de lo posible, todos los elementos naturales del trigo beneficiosos para el proceso digestivo y para la salud en general, excluyendo las partes perjudiciales.

Para llevar a cabo el proceso de molienda se cuenta con molinos de cilindros horizontales. El trigo limpio y acondicionado es enviado a los primeros molinos de cilindros donde es triturado. Las partículas mayores, separadas por la extracción del producto de la primera trituración, van a la segunda; en esta, las partículas grandes se abren completamente y el producto se extrae otra vez, las partículas de mayor tamaño de esta extracción, van a los terceros cilindros de trituración logrando una tercera extracción. Las partículas mayores, casi menores que el salvado, se someten a un raspado final en el cuarto cilindro de trituración y se extraen de nuevo, quedando como cola el salvado.

Los cilindros trabajan por pares, siendo la velocidad del cilindro superior dos veces y media más veloz que la del inferior. Después de la acción de cada par de cilindros el producto se va a los tamices donde el mismo se separa en 3 fracciones principales.

2.4.3.1. Sasaje

Un sador está constituido por un tamiz oscilante, a través del cual circula una corriente de aire de abajo hacia arriba, este aire arrastra las partículas de salvado pues son ligeras, mientras que las pequeñas partículas de endospermo limpias son más densas y atraviesan el tamiz.

Una vez efectuada la trituración, la mayor parte de la harina pasa por una fase intermedia de sémola, obtenida al extraer el producto de los distintos cilindros de trituración. En este estado la sémola impura es susceptible de llevar a cabo la purificación, siendo el objeto de los sadores limpiarla, eliminando las cubiertas externas, y al mismo tiempo, clasificarla según su tamaño y pureza, preparándola para la molienda en los cilindros de compresión.

Moler un trigo significa abrir el grano, raspar lo más prolijamente posible el endospermo adherido, y luego reducir estas partículas a harina.

2.4.3.2. Dosificación

Esta parte del proceso consiste en adicionar a las harinas aditivos específicos para cada tipo de harina.

2.4.3.3. Compresión y cernido

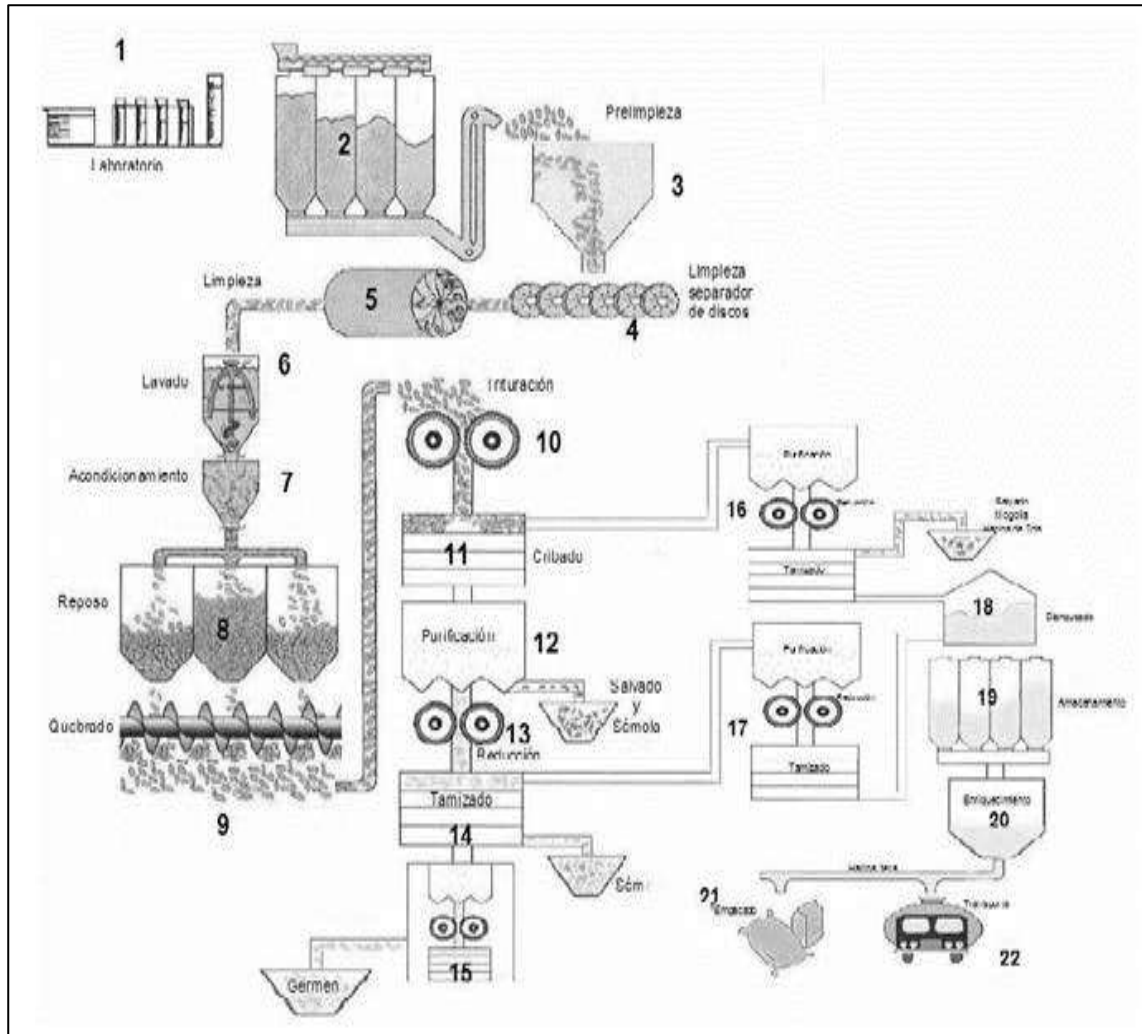
El objetivo del sistema de compresión es moler las sémolas y remolines purificadas, para transformarlas en harina.

La acción de los cilindros de compresión consiste en pulverizar la sémola hasta convertirla en harina y, tiende a aplastar y por consiguiente a separar por un posterior cernido las partículas de salvado, salvadillo y granillo del producto que no ha sido eliminado en los sasores.

La sémola de una determinada calidad y tamaño, procedente de la trituración y de los sasores, alimenta los correspondientes cilindros de compresión; luego el producto pasa a un cernidor donde se obtiene la mayor parte de harina de trigo separándola de la semolina, la cual es enviada a un paso de compresión más avanzado. Este proceso se repite cierto número de veces hasta que queda eliminada la mayor parte de semolina extraíble.

Para ejemplificar de una mejor manera el proceso de producción de la harina de trigo, se presenta la siguiente figura que muestra el proceso de molienda del trigo, ver figura 1.

Figura 1. Diagrama de Flujo del proceso de molienda



Fuente: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/leccin_17_proceso_de_molienda.html. Consulta: octubre de 2014.

2.5. Harina de trigo

Producto fino generalmente de color blanco que se obtiene de la molturación del grano de trigo, separando el endospermo, parte harinosa de la semilla, e impurezas. Entre los usos más comunes de la harina está la industria panificadora, además es utilizada como materia prima para la elaboración de diversos productos como sopas, chocolates, pastas, entre otros.

Existen diversos tipos de harinas de trigo, harinas extra suaves, suaves, cloradas y harinas duras, estas se elaboran dependiendo del uso para el cual se requieran y para ello se utilizan diferentes tipos de trigo.

Los trigos duros producen una harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cernir, compuesta por partículas de forma regular, muchas de las cuales con células completas de endospermo.

Los trigos suaves producen harina muy fina compuesta por fragmentos irregulares de células de endospermo, incluyendo una proporción de fragmentos celulares muy pequeños y granos sueltos de almidón, y algunas partículas aplastadas que se adhieren entre sí, se cierne con dificultad y tiende a obturar las aberturas de los cedazos durante el proceso de molienda.

Una de las principales razones por las que la harina de trigo es tan popular es por la propiedad elástica del gluten cuando se mezcla con agua, generalmente por medio de una acción mecánica. El gluten permite que las masas hechas con harina y líquido sean elásticas y permitan que las levaduras produzcan el dióxido de carbono que hace que las masas crezcan cuando se cocinan.

Cuanta más proteína tenga la harina, más gluten se forma cuando se mezcla la harina con líquido.

Hay varios tipos de trigo que se usan para los diferentes tipos de harinas, las variedades de trigo de grano duro tienen un alto contenido proteínico en torno al 10-14 por ciento, lo que significa que la capacidad de formar gluten es mayor. Esta característica hace que se use este trigo principalmente para harinas de panadería para producir pan baguete, pan francés o pan tipo sándwich, las cuales requieren del gluten para poder contener su estructura y obtener un alto volumen.

Las variedades blandas se usan más para repostería: galletas, tartas y pasteles, que no necesitan el mismo nivel de fermentación que los panes. El contenido de proteínas está alrededor del 6 al 10 por ciento.

El trigo *durum* es el más duro y se usa casi exclusivamente para hacer pasta y se suele moler en una harina más granulada que en polvo, con un color amarillo, llamada semolina, que tiene las propiedades ideales para hacer la mejor pasta. Este trigo es muy rico en gluten y proteínas, necesarios para hacer buena pasta.

Harina de trigo común, es la harina de trigo que se encuentra en cualquier tienda de alimentación. Sirve para todo tipo de cocción y como espesante. Se produce con la combinación de harinas de trigo duro y blando.

La harina de trigo común se puede encontrar blanqueada o sin blanquear. La blanca adquiere ese color de forma natural con la oxidación, que era el método que se solía utilizar antiguamente. Ahora no es muy práctico por

el tiempo y el espacio que se necesita para almacenar grandes cantidades sin que se estropeen.

Actualmente se utilizan blanqueadores como el cloro, que además actúa como conservante para que la harina no desarrolle sabores rancios. También evita que se decolore la harina y provoca mejores resultados al cocinarla, ya que permanece más consistente.

Harina para pan, esta harina no ha sido blanqueada, es muy alta en gluten y contiene aproximadamente un 99,9 por ciento de harina de trigo duro, haciéndola ideal para la elaboración de panes. Con tanto gluten, el pan crece mucho y queda esponjoso y con menos corteza.

Harina de repostería, se suele producir a partir del endospermo del trigo de variedades blandas. Es muy alta en almidón y baja en proteínas, lo que significa que contiene muy poco gluten, por eso se usa para tartas.

Harina enriquecida, estas harinas son procesadas para eliminar el salvado y el germen, se suelen blanquear después se enriquecen con nutrientes como tiamina, riboflavina, niacina, vitamina D, hierro y calcio, para compensar todo lo que pierden en el refinado. Se elimina el germen porque es la parte oleosa y de esta forma la harina se mantiene durante más tiempo.

Farina, es un tipo de harina que se hace con cualquier tipo de cereal, fruto seco o raíz/tubérculo rico en almidones, aunque lo más común es que esté hecho a base de trigo.

La semolina es una harina granulada con un color amarillo pálido creada a partir de trigo *durum*, que se suele usar casi básicamente para hacer pasta. Es muy alta en proteínas y gluten.

Harina integral, para hacer esta harina se usa todo el trigo, con salvado y germen incluidos, haciéndola más nutritiva. Se puede encontrar como harina integral, harina integral fina o extra fina. El tamaño de las partículas de la harina integral influye mucho en la cantidad de líquido que puede absorber, cuanto más fina la harina, más rápido absorbe el líquido. La harina integral se puede usar para cualquier tipo de preparados, al igual que la harina común, pero hay que tener en cuenta que quedará algo menos denso y que crecerá un poco menos.

2.6. Análisis fisicoquímicos a la harina de trigo

La calidad de la harina significa muchas cosas para el usuario de la misma, generalmente se refiere a su conformidad con ciertas características medibles que la experiencia ha demostrado ser significativas en términos de su uso final.

Las definiciones modernas de calidad total de la harina se refieren a la habilidad de la harina de producir un producto final atractivo, sabroso, de características uniformes y de bajo costo, para lo cual se han desarrollado procedimientos estandarizados para evaluar las diferentes características funcionales involucradas en la harina de trigo.

2.6.1. Contenido de proteínas

El contenido y calidad de las proteínas conforman un factor primario en la evaluación de calidad de la harina en cuanto a su uso final, ya que se ha demostrado que existe una relación lineal entre el contenido de proteínas en la harina y el volumen del pan.

Cuando se habla de cantidad de proteínas, se refiere al contenido total de nitrógeno orgánico en forma de proteínas en la harina, mientras que cuando se habla de la calidad proteínica, se está refiriendo a las características fisicoquímicas del complejo gluténico, gluten. Para su determinación se cuenta con varias metodologías, entre ellas algunas que incluyen el uso de equipos con tecnología de infrarrojo cercano.

2.6.2. Contenido de humedad

Determinar el contenido de humedad es un primer paso esencial en el análisis de la calidad del trigo o la harina, ya que este dato se usa en otras pruebas.

El contenido de humedad se determina comparando el peso de la muestra antes y después del calentamiento, la pérdida de peso representa el contenido de humedad y los resultados de contenido de humedad se expresan como un porcentaje de humedad en la muestra original.

El contenido de humedad también es un indicador de la almacenabilidad del grano. Un trigo o harina con contenido de humedad elevado, mayor de 14,5

por ciento, atrae hongos, bacterias e insectos, los cuales causan deterioros durante el almacenaje.

El contenido de humedad puede ser un indicador de la rentabilidad en la molienda. La harina se vende por peso, el grano se compra por peso, y se agrega agua para alcanzar el nivel estándar de humedad antes de la molienda.

2.6.3. Contenido de cenizas

Los molineros necesitan conocer el contenido general de minerales del trigo, para lograr los niveles de ceniza deseados o especificados para la harina.

Cuando se incinera una mezcla en un horno para cenizas, la elevada temperatura expulsa la humedad y quema todos los materiales orgánicos, como: almidón, proteínas y aceites, dejando únicamente las cenizas. El residuo, las cenizas, está formado por los materiales inorgánicos e incombustibles que se concentran en la capa del salvado.

Los resultados de contenido de cenizas se expresan como porcentaje del peso inicial de la muestra. Las cenizas de trigo o de harina suelen expresarse sobre la base común de humedad del 14 por ciento.

Dado que las cenizas se concentran principalmente en el salvado, el contenido de cenizas de la harina es un indicador del rendimiento que se podría esperar en la molienda. El contenido de cenizas también indica el desempeño de molienda, al revelar indirectamente la contaminación por salvado presente en la harina.

Las cenizas en la harina pueden afectar su color, dando un color más oscuro a los productos terminados. Ciertos productos especializados que demandan harina particularmente blanca requieren un bajo contenido de cenizas, mientras que otros, como la harina de trigo integral, tienen un elevado contenido de cenizas.

2.6.4. Actividad enzimática

El nivel de actividad enzimática medido por la prueba del número de caída afecta directamente la calidad de los productos. La levadura de la masa para pan, por ejemplo, requiere que los azúcares se desarrollen correctamente. Y, por lo tanto, necesita cierto nivel de actividad enzimática en la masa. Sin embargo, una excesiva actividad enzimática significa una sobreabundancia de azúcares y una escasez de almidón. Dado que el almidón es lo que proporciona la estructura de soporte del pan, una actividad excesiva se traduce en una masa pegajosa durante el procesamiento y una mala textura del producto terminado.

Si el número de caída es demasiado elevado, es posible agregar, de diversas formas, enzimas a la harina para compensar el factor. Pero si el número de caída es demasiado bajo, es imposible removerle enzimas a la harina o trigo.

Los resultados del número de caída se registran como un índice de la actividad enzimática en una muestra de trigo o harina, y los resultados se expresan como un tiempo en segundos.

Los cereales tienen muchas enzimas, pero las más importantes son las amilasas y las proteasas.

2.6.4.1. Amilasa

En la producción de productos leudados con levadura, como pan, panecillos y galletas de soda, el dióxido de carbono es el agente gaseoso que provoca el crecimiento durante la fermentación y el horneado. Este gas es producido por la respiración anaerobia de las levaduras y en la degradación de azúcares simples.

En la harina existen dos tipos principales de amilasas, la α -amilasa y la β -amilasa. El contenido de β -amilasa en el trigo, es suficiente para su uso final, mientras que la α -amilasa, es necesario suplementarla.

La presencia de α -amilasa en las harinas, ofrece las siguientes ventajas:

- Incrementa la producción de gas, dióxido de carbono
- Mejora el color de la corteza del pan
- Mantiene la humedad de la miga durante el almacenaje
- Imparte un sabor adicional al pan
- Mejora la retención de gas

2.6.4.2. Proteasa

Actualmente, no se adicionan proteasas a la harina, sin embargo, se han adicionado proteasas a efecto de reducir el tiempo de mezcla, mejorar el paso de la masa en las maquinarias y extensibilidad de la masa; desarrollar los sabores derivados de las proteínas y suavizar masas cuyo gluten sea demasiado duro o fuerte.

Sin embargo, una proteólisis excesiva puede resultar en la licuefacción de la masa, una miga áspera y gruesa y bajo volumen debido a una falta de retención gaseosa.

2.6.5. Cantidad de gluten

El contenido de gluten húmedo se determina lavando la harina o trigo molido con una solución salina, para eliminar de la muestra el almidón y demás materiales solubles. El residuo que queda después del lavado es el gluten húmedo.

Durante el centrifugado, el gluten se hace pasar por un tamiz, el porcentaje que permanece sobre el tamiz se define como el índice de gluten, el cual indica la resistencia del gluten. Un índice de gluten elevado indica un gluten fuerte, los resultados de contenido de gluten en húmedo se expresan como porcentaje, con referencia a una humedad del 14 por ciento.

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

El gluten húmedo refleja el contenido proteico y es una de las especificaciones comunes de la harina exigidas por los usuarios finales de la industria de alimentos.

2.6.6. Granulometría

El ensayo granulométrico determina el tamaño de las partículas de harina y las características de las moliendas con salvado. Las pruebas de granulometría además de que las demanda el consumidor, son importantes ya que reflejan características de la molienda, la efectividad del cernido y pueden servir para la detección de fallas como telas rotas en los cernedores.

2.6.7. Almidón dañado

El daño del almidón debido a la excesiva severidad de la molienda, depende de la dureza del trigo, sin embargo, el daño del almidón puede aminorarse hasta cierto punto, mediante la aplicación de un adecuado proceso de acondicionamiento del trigo, así como ciertas características específicas de molienda.

Hace algunos años se comenzó a darle importancia a los almidones dañados contenidos en las harinas panificables, ya que estos permiten desencadenar procesos de hidrólisis de azúcares complejos contenidos en el almidón, facilitando de esta manera la producción de azúcares más simples que servirán como alimento a las levaduras en el proceso de fermentación.

Para la determinación del índice de almidón dañado en la harina durante el proceso de molienda y previo a su uso en panificación, existen equipos que consisten en medir con un amperímetro la cantidad de yodo absorbida por los gránulos de almidón, de una muestra de harina en una solución graduada a 35 °C, para así poder determinar el porcentaje de almidón dañado contenido en la muestra de harina de trigo.

El almidón dañado está en función de las características del endospermo del trigo y de la acción mecánica de los rodillos de molienda. El índice de almidón dañado es muy importante en todas las industrias de panificación, es de hecho, un factor de control de la absorción de agua y de la actividad de fermentación.

2.6.8. Farinógrafo

La prueba del farinógrafo es una de las pruebas de calidad de harina comúnmente usadas en el mundo. Los resultados se usan como parámetros en las formulaciones para estimar la cantidad de agua necesaria para hacer una masa, para evaluar las necesidades del mezclado de la harina, y para verificar la uniformidad de la harina.

Con este equipo se pueden visualizar las tres etapas del proceso de mezclado:

- Hidratación de los componentes de la harina
- Desarrollo del gluten
- Colapsamiento de la masa, con respecto al tiempo

De esta manera se puede saber el tiempo de trabajo mecánico que se le puede aplicar a la masa hasta antes de colapsar su malla de gluten.

Este método se aplica para la determinación de la absorción de agua y el comportamiento durante el amasado de una harina de trigo. El farinógrafo es una amasadora que permite medir la consistencia de las masas, y por tanto, el potencial de hidratación de una harina para una consistencia dada, 500

unidades de Brabender. La curva, suministra el valor del par consistencia en función del tiempo.

A menudo se le denomina absorción a la cantidad de agua requerida para rendir una masa de determinada consistencia y su valor se determina mediante el farinógrafo, este es un factor importante porque a mayor absorción, mayor ganancia unitaria se obtiene.

El logro de una consistencia apropiada de la masa, es un factor importante durante el manejo mecánico de la misma, así como en sus propiedades de retención gaseosa, por lo tanto la absorción debe ajustarse a un nivel en el cual la masa atrape aire durante la mezcla y lo retenga, además del dióxido de carbono liberado durante la fermentación.

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

Los resultados del farinógrafo incluyen, absorción, estabilidad, tiempo de llegada, tiempo de salida, entre otros.

2.6.8.1. Absorción

Es la cantidad de agua requerida para centrar la curva del farinógrafo en la línea de 500 unidades Brabender (UB), esto se relaciona con la cantidad de agua necesaria para procesar la harina y obtener los productos finales óptimos. La absorción se presenta como un porcentaje y depende de alguna manera de la cantidad de almidón dañado y cantidad de proteína contenida en la harina.

2.6.8.2. El tiempo pico

Indica el tiempo de desarrollo de la masa, comenzando desde que se agrega agua hasta que la masa alcanza su consistencia máxima, esto da una indicación del tiempo óptimo de amasado bajo condiciones estandarizadas, el tiempo pico se expresa en minutos.

2.6.8.3. El tiempo de llegada

Es el momento en que la curva toca la línea de las 500 unidades Brabender (UB), esto indica la tasa de hidratación de la harina (la tasa a la que el agua es absorbida por la harina), el tiempo de llegada se expresa en minutos.

2.6.8.4. Tiempo de salida

Es el momento en que la parte superior de la curva abandona la línea de las 500 unidades Brabender (UB), esto indica el momento en que la masa está comenzando a degradarse y es un indicador de la consistencia de la masa durante el procesamiento, el tiempo de salida se expresa en minutos.

2.6.8.5. Tiempo de estabilidad

Es la diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de salida, esto indica el tiempo en que la masa se mantiene a máxima consistencia y es un buen indicador de la resistencia de la masa durante el procesamiento en el amasado, el tiempo de estabilidad se expresa en minutos.

2.6.8.6. Índice de tolerancia a mezclas

Es la diferencia entre el valor de UB en la parte superior de la curva en el tiempo pico y el valor en la parte superior de la curva 5 minutos después del pico, esto indica el grado de ablandamiento durante el mezclado, el índice de tolerancia a mezclas se expresa en minutos.

2.6.7. Alveógrafo

La prueba del alveógrafo ofrece resultados que son especificaciones comunes usadas por molineros y procesadores de harina de trigo, para asegurar procesos y productos más consistentes.

Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas son más viscosas y extensibles. Las harinas con una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería; las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas se utilizan para elaborar galletas.

Con este equipo se evalúa la capacidad que tiene el gluten para resistir un determinado trabajo mecánico, esto se mide mediante la inyección de aire a una muestra de forma circular, dicha muestra comienza a expandirse hasta que la presión interna es mayor y revienta la masa, en ese momento la curva del alveograma cae.

La información que se obtiene es el trabajo de deformación (W) de la masa hasta la ruptura del alveolo, en el alveograma representa el área bajo la curva.

También se obtienen otros parámetros como:

- Tenacidad (P), la cual mide la resistencia a la deformación de la masa, esta propiedad la confieren principalmente las gluteninas, en el alveograma se mide en el eje de las ordenadas.
- Extensibilidad (L), la cual mide la viscosidad de la masa debida principalmente a las gliadinas, en el alveograma se mide en el eje de las abscisas.
- Índice de hinchamiento (G), da un valor proporcional a la extensibilidad, este parámetro se utiliza para determinar el Índice de equilibrio P/G , el cual da la proporción de gliadinas y gluteninas.
- La relación P/L , es el balance entre la resistencia y extensibilidad de la masa.

2.7. Propiedades funcionales de la harina de trigo

Por muchos años el pan ha sido uno de los principales constituyentes de la dieta humana, elaborar pan de masas fermentadas con levaduras es uno de los procesos biotecnológicos más antiguos.

El trigo es por mucho el cereal más importante en la elaboración de pan, aunque en algunas partes del mundo el uso de centeno es bastante considerable, otros cereales son usados en menor medida.

Unos de los componentes que tecnológicamente son importantes y que determinan la calidad del producto terminado son las proteínas, principalmente las proteínas que integran el gluten (gliadinas y gluteninas).

El papel funcional de la gliadina es dar viscosidad y extensibilidad a la masa, la glutenina es dar elasticidad y tenacidad a la masa.

2.8. Reología de las masas de harina de trigo

La Reología como ciencia, que estudia el flujo y la deformación de la materia bajo la acción de esfuerzos aplicados se relacionan con la física de los cuerpos deformables.

La masa de harina de trigo es un cuerpo deformable cuyo estudio de las características reológicas tiene una gran importancia para la mejor utilización tecnológica de este material.

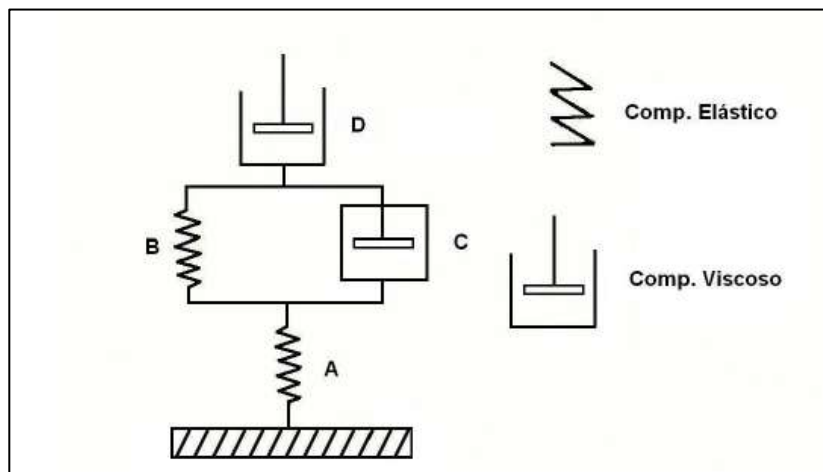
El objetivo primario de la Reología es establecer las leyes que rigen los cambios de forma y volumen de un cuerpo, solicitado por fuerzas y las variaciones de todos aquellos respecto del tiempo.

Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de las masas de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de su influencia en la calidad del producto final.

Las masas de harina de trigo son materiales viscoelástico, es decir que poseen al mismo tiempo las características de un líquido viscoso y un sólido elástico que muestra un comportamiento no lineal, por lo cual, depende tanto del esfuerzo como del tiempo.

La siguiente figura muestra el modelo mecánico que describe el comportamiento viscoelástico de la masa. Este sugiere que frente a la aplicación de un esfuerzo o deformación, el componente que responde primero es la parte elástica del material (resorte A); posteriormente hay una respuesta simultánea de los componentes elásticos y el viscoso (B, C) y por último aparece la respuesta del componente viscoso (D). La magnitud de la respuesta depende de la composición y características de la masa, ver figura 2.

Figura 2. **Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa**



Fuente: Navickis, L.L. Rheological changes of fortified wheat and corn flour dough with mixing time. Cereal chemistry. p. 66.

Las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas del gluten le confieren a la masa una funcionalidad única que la diferencia del resto de las harinas de otros cereales. La masa de harina de trigo se comporta desde el punto de vista reológico como un fluido viscoelástico, esta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible.

En la etapa de mezclado se desarrolla la malla de gluten, los cambios reológicos que ocurren en esta etapa son monitoreados por medio de un reómetro llamado farinógrafo.

Con el alveógrafo y el extensógrafo se realizan otras pruebas reológicas a la masa, los ensayos reológicos son muy empleados en la industria, ya que de los resultados que se obtienen, permiten clasificar a las harinas de trigo en tres grupos principalmente:

- para panificación
- para la elaboración de pastas
- para la elaboración de galletas

Dada la importancia que se tiene por conocer las propiedades reológicas de la harina de trigo, se describe la información que se obtiene de los reómetros.

2.9. Contaminación de la harina de trigo

La harina de trigo por sus propiedades y condiciones de almacenamiento es vulnerable a ser contaminada por agentes externos, como: contaminantes químicos, físicos y biológicos dentro de los cuales destacan las plagas.

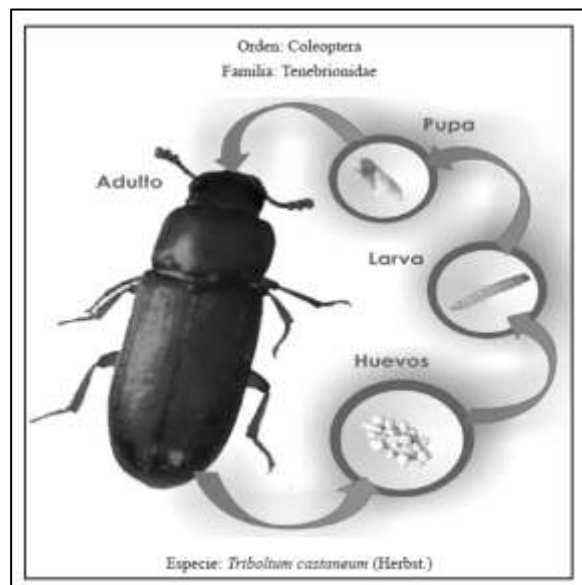
Las plagas poseen una gran resistencia a muchas clases de insecticidas, es importante por ello conocer detalladamente sus morfologías y características, siendo de gran ayuda para la exterminación, mientras los insectos adultos son los indicios de una infestación, solo matarlos no es la solución, lo importante será destruir los productos infectados donde se encuentran las plagas, recurrir a una limpieza extrema y la utilización de

recipientes cerrados para evitar posibles problemas posteriores con estos insectos.

El escarabajo rojo de la harina conocido *tribolium*, se considera una plaga de los productos almacenados en despensa como harina de trigo y maiz, chocolate, comida para mascotas, tabaco, entre otros.

El ciclo de los gorgojos *tribolium* como se puede observar en la siguiente imagen, es primero huevo, luego larva y por último se convierte en adulto, pueden durar 7 semanas y viven alrededor de 1 año. Estos escarabajos son reptadores siendo atraídos por la luz. Existen otros de su especie con características comunes en alimentación y ciclos, como el dentado pero sin ser atraído por la luz, ver figura 3.

Figura 3. **Ciclo de vida del gorgojo**



Fuente: Ciclo de vida del gorgojo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-08072009000300006. Consulta: octubre de 2014.

El gorgojo de arroz, del cereal o trigo y del maíz son respecto a las harinas, los más dañinos, unas de las plagas más destructoras y dañinas del grano en el mundo.

Se reproducen más fácilmente en temperaturas cálidas, siendo todos muy buenos insectos reptadores y algunos voladores, por tanto pueden afectar al grano en almacén como en el campo. Algunos de ellos como el gorgojo del cereal pueden invernar. Las hembras llegan a poner alrededor de 300 huevos en su vida, de 8 a 9 meses. Los ciclos de huevo a larva se completan en 30 días, cuando atacan al grano se percibe por un agujero irregular por encima de la piel.

2.9.1. Gorgojo Tribolium

Nombre común: Escarabajo confuso de la harina
Nombre científico: *Tribolium*
Clase/Orden/Familia: Insecto / Coleóptera/ Tenebrionidae
Metamorfosis: Completa

Aparentemente el escarabajo confuso de la harina obtiene su nombre común debido a la confusión en cuanto a su identificación. Es una de las plagas de productos almacenados más importantes encontradas en casas y tiendas de comestibles. A pesar de su origen en África, en la actualidad se presenta mundialmente en climas más frescos.

Los adultos miden entre 3 y 4 milímetros, son de color rojizo brillante, tienen cuerpo de forma alargada y aplanada, el protórax está cubierto por puntos negros muy pequeños no observables a simple vista. Las antenas se ensanchan en sus extremos.

Presentan alas pero no son capaces de volar, se alimentan principalmente de cereales y granos partidos o dañados por otros insectos, ya que son incapaces de dañar los granos sanos, secos y limpios. Sus hábitos alimenticios son amplios, consumiendo, tanto el adulto como la larva, productos de molienda de cereales, semillas, harinas, derivados como galletas, frutos secos, legumbres, entre otros.

La hembra del gorgojo confuso de la harina deposita de 300 a 500 huevos, directamente encima de los productos de los cuales se alimentará la larva, los huevos se adhieren al material gracias a una cubierta pegajosa que los envuelve. La incubación puede durar entre 5 y 12 días. Las larvas son cilíndricas, con una longitud aproximada de 5 mm., de color blanco o amarillento.

Los huevos son de color blanco transparente y son colocados en grietas, bolsas o a través de la malla de los sacos que contienen alimento. La hembra deposita de 2 a 3 huevos diarios y vive 2 o 3 años, los huevos eclosionan en 5 a 12 días en larvas marrón blancuzcas y alcanzan la madurez aproximadamente en treinta días bajo condiciones óptimas.

El ciclo de vida (huevo a huevo) puede completarse en tan solo siete semanas, o puede requerir tres meses o más. En instalaciones con calefacción como almacenes o plantas procesadoras, hay 4 o 5 generaciones por año.

El ciclo biológico se da completamente encima de los productos que sirven de alimento tanto a la fase adulta como a la fase larvaria y comprende de 6 a 8 semanas.

Estos gorgojos no son capaces de alimentarse en granos enteros o sin daño, han sido reportados atacando granos y productos basándose en granos, legumbres, frijoles, nuez descascarada, frutas deshidratadas, especias, chocolate, medicamentos, chiles, así como en especímenes de herbarios, insecto, han sido reportados infestando cebos envenenados, son atraídos hacia la luz aun cuando aparentemente no vuelan.

Aunque no causan ningún daño a los seres humanos, el gorgojo confuso de la harina le da un sabor y olor muy desagradable a la harina infestada.

2.9.2. Control de plagas

Se deben seguir los procedimientos estándar para control de plagas de productos almacenados. El control de plagas de productos almacenados es un proceso de seis pasos:

- **Prevención:** consiste en la inspección de todos los artículos que entran en busca de plagas de productos almacenados y en asegurarse que el edificio está en buenas condiciones físicas para reducir las posibilidades de entrada y que existe una ventilación adecuada.
- **Buena higiene:** estas prácticas incluyen la remoción regular de los derrames de producto, la remoción inmediata y/o tratamiento de cualquier material infestado y un adecuado mantenimiento de las instalaciones para reducir el atractivo y las fuentes de las plagas.

- Almacenamiento adecuado: por lo general consiste en tener todos los artículos colocados sobre tarimas o paletas retiradas cuando menos 45 cm de la pared, para permitir una correcta inspección y tratamiento y en que todos los sacos o bolsas rotas sean reparadas o reemplazadas, entre otras.
- Ventilación: es importante para reducir o mantener bajo el contenido humedad en los alimentos. Por ejemplo los ácaros necesitan al menos 12 por ciento de contenido de humedad.
- Control: con frecuencia se requiere algún tipo de control, el control se basa en la identificación correcta de cualquier plaga encontrada, durante las actividades anteriormente citadas o durante las inspecciones periódicas.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Se presentará a continuación las variables involucradas en el estudio, los recursos materiales y humanos disponibles que fueron necesarios utilizar para llevar a cabo la investigación.

De igual manera se presenta la manera en la que fue recolectada la información y su respectivo ordenamiento. Por último una sección en donde se define describe el análisis estadístico utilizado.

3.1. Variables

Considerando que el estudio será llevado a cabo a una temperatura ambiente controlada, con una cantidad inicial de gorgojos definidos y durante un tiempo establecido, se establecen las variables involucradas y cuales son variables a controlar y manipular, ver tabla II y III.

Tabla II. Descripción de las variables involucradas en el estudio

Núm.	Variable	Dimensión al	Medición	Tipo de Variable			
				Cualitativa	Cuantitativa	Dependiente	Independiente
1	Proteína	%	Concentración		x	x	
2	Humedad	%	Concentración		X	X	
3	Ceniza	%	Concentración		X	X	
4	Almidón Dañado	%	Concentración		X	X	
5	Gluten Húmedo	%	Concentración		X	X	
6	Gluten Índex	%	Concentración		x	x	
6	Grasa	%	Concentración		x	x	
7	Acidez Grasa	mL de KOH	Concentración		x	x	
8	Falling Number	Segundos	Concentración		x	x	
9	Fungal Falling Number	Segundos	Concentración		x	x	
10	Granulometría	%	Tamaño de partícula		x	x	
11	Absorción	%	Capacidad de retención de agua		x	x	
12	Estabilidad	minutos	Tiempo		x	x	
13	Desarrollo	minutos	Tiempo		x	x	
14	Tenacidad (P)	mmH ₂ O	Presión		x	x	
15	Extensibilidad (L)	mm	Distancia		x	x	
16	Fuerza (W)	10E-4 J	Fuerza		x	X	
17	Temperatura de almacenamiento	°C	Temperatura		x		x
18	Infestación Inicial	Gorgojos /Kilogramo	Concentración		x		x
19	Tiempo de Almacenamiento	meses	Tiempo		x		x

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Descripción de las variables a controlar y manipular**

Núm.	Variable	Dimensional	Medición	Descripción
1	Temperatura de almacenamiento	Grados Celsius (°C)	Temperatura	Temperatura constante en cuarto de temperatura controlada 28 °C
2	Infestación Inicial	Gorgojos por Kilogramo	Concentración	Infestación inicial de 9 gorgojos por kilogramo de harina
3	Tiempo de Almacenamiento	Meses	Tiempo	4 meses de almacenamiento

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio sobre los efectos en la harina de trigo contaminada se centró en los parámetros de calidad, fisicoquímicos y reológicos de la harina de trigo duro y queda reducido a las variables definidas en esta sección de diseño metodológico.

El análisis se centró en los efectos que son causados por el gorgojo de harina *tribolium*, bajo condiciones de temperatura controlada (28 °C) durante el almacenamiento y una infestación inicial de 5 gorgojos por kilogramo, durante el tiempo de vida de la harina de trigo duro (4 meses).

Se realizaron 5 corridas de análisis con todas las mediciones de las variables definidas a la harina de trigo contaminada y a la harina de trigo sin contaminar, los análisis fueron distribuidos en los cuatro meses más el análisis inicial de la harina.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para poder llevar a cabo el presente estudio fue necesario contar con los siguientes recursos humanos:

- Un técnico panificador
- Un analista de pruebas fisicoquímicas y reológicas

3.4. Recursos materiales disponibles

Para poder llevar a cabo el presente estudio fue necesario contar con los siguientes recursos materiales definidos para cada análisis.

Tabla IV. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de proteína**

Método:	Determinación de proteína, AACC 46-12	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Magneto	Balanza analítica
Tableta Kjeldahl	Frascos de digestión Kjeldahl, de 800 mL	Digestor-Estufa de 600 W
Ácido bórico al 2 %	Erlenmeyer de 500 mL	
Hidróxido de sodio	Beaker de 125 mL	
Granallas de zinc metálico	Bureta de 50 mL	
Agua destilada		

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla V. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de humedad**

Método:	Determinación de Humedad, AACC 44-15 A	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Silica gel	Balanza analítica
	Cronómetro	Desecadora
	Pinzas de metal	Horno de Convección
	Cajuelas de aluminio con tapadera	

Fuente: elaboración propia, en base a *Approved Methods of AACC*.

Tabla VI. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de ceniza**

Método:	Determinación de cenizas, AACC 08-03	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Pinzas de metal	Mufla eléctrica
	Crisoles de porcelana	Campana de extracción
	Cronómetro	Balanza analítica
	Silica gel	Desecadora

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla VII. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de almidón dañado**

Método:	Determinación de almidón dañado con equipo SD Matic -Chopin	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Vaso de reacción	SD Matic - Chopin
Yoduro de potasio	Cuchara plástica del equipo	Balanza analítica
Ácido bórico	Espátula	
Tiosulfato de Sodio 0.1N		

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla VIII. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de gluten húmedo**

Método:	Determinación de gluten húmedo, AACC 38-12	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Pinzas de metal	Glutomatic
Cloruro de sodio al 2 % p/v	Casette de centrífuga	Balanza semianalítica
	Anillo plástico	
	Beaker plástico	
	Cedazo fino	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla IX. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de gluten Índice**

Método:	Determinación de gluten índice, AACC 38-12	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Pinzas de metal	Glutomatic
Cloruro de sodio al 2 % p/v	Casette de centrifuga	Balanza semianalítica
	Anillo plástico	Centrifuga
	Beaker plástico	
	Cedazo fino	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla X. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de grasa**

Método:	Determinación de grasa, AACC 30-25	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Papel filtro Whatman #4	Balanza analítica
Éter de petróleo punto de ebullición 30-60 °C	Cajuelas de aluminio	Desecadora
	Beaker de 500 mL	Extractor compuesto por: balón, destilador, soxhlet y hornilla
	Cronometro	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XI. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de acidez grasa**

Método:	Determinación de acidez grasa, AACC 02-01	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Papel filtro Whatman #4	Balanza analítica
Éter de petróleo punto de ebullición 30-60 °C	Cajuelas de aluminio	Desecadora
Solución TAF (Tolueno-Alcohol-fenolftaleína)	Beaker de 500 mL	Extractor compuesto por: balón, destilador, soxhlet y hornilla
Hidróxido de potasio 0,0178N	Cronometro	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XII. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de *falling number***

Método:	Determinación de <i>falling number</i>, AACC 56-81B	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Tubos visco simétricos	Falling N 1500
Agua destilada	Varilla visco simétrica	Balanza semi analítica
	Erlenmeyer 125 mL	
	Embudo plástico	
	Tapón de hule	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XIII. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de *fungus falling number***

Método:	Determinación de <i>fungus falling number</i>, AACC 56-81B	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Tubos visco simétricos	Falling N 1500
Agua destilada	Varilla visco simétrica	Balanza semianalítica
Solución buffer de acetato	Erlenmeyer 125 mL	
Sustrato de almidón de papa	Embudo plástico	
	Tapón de hule	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XIV. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de granulometría**

Método:	65323-E según equipo MLU-300	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Bastidores	Cernidor MLU-300
	Telas de seda: 6xx, 8xx, 10xx y 15xx	Balanza semianalítica
	Erlenmeyer 125 mL	
	Bandejas de metal	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XV. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de farinograma**

Método:	Determinación de farinograma, AACC 54-21	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Espátula de metal	Farinógrafo
	Beaker de 250 mL	Balanza semi analítica
	Cucharón metálico	Baño recirculante de agua
	Termómetro	Computadora
	Medidor de temperatura ambiental	
	Bureta especial de Farinógrafo	

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

Tabla XVI. **Reactivos, material y equipo utilizado para el análisis de alveograma**

Método:	Determinación de alveograma, AACC 54-21	
Reactivos	Material	Equipo
Harina de trigo	Placas de reposo y extracción	Alveolink
Solución salina al 2,5 % p/v	Rodillo	Balanza semi analítica
	Placas de vidrio	Baño recirculante de agua
Aceite de oliva	Cuadros de laminado	Manómetro
	Bureta especial de Alveógrafo	Amasadora
		Cámara de reposo

Fuente: elaboración propia, con base en *Approved Methods of AACC*.

3.5. Clasificación de técnica utilizada

Se presenta la clasificación de la técnica utilizada para cada uno de los análisis, se hace de igual manera mención a la referencia en donde podrá encontrarse el respectivo procedimiento, ver tabla XVII.

Tabla XVII. **Clasificación de las técnicas utilizadas**

Clasificación	Análisis	Método	Técnica		Referencia
			Cualitativa	cuantitativa	
Fisicoquímicos	Humedad	AACC 44-15A		X	Anexo 1
	Proteína	AACC 46-12		X	Anexo 2
	Ceniza	AACC 08-03		X	Anexo 3
	Almidón Dañando	SD-Matic		X	Anexo 4
	Gluten Húmedo	AACC 38-12		X	Anexo 5
	Gluten Índice	AACC 38-12		X	Anexo 6
	Grasa	AACC 30-25		X	Anexo 7
	Acidez Grasa	AACC 02-01		X	Anexo 8
	<i>Falling Number</i>	AACC 56-81B		X	Anexo 9
	<i>Fungal Falling Number</i>	AACC 56-81B		X	Anexo 10
	Granulometría	MLU-300		X	Anexo 11
Reológicos	Farinograma	AACC 54-21		X	Anexo 12
	Alveograma	AACC 54-30A		X	Anexo 13
Estadístico	T de Student para datos pareados	"T" de Student		X	Sección 4

Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para la recolección y el ordenamiento de los datos se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se clasificaron los análisis en fisicoquímicos y reológicos.
- Se creó un formato que incluyó cada uno de los resultados para cada clasificación de análisis.
- Se creó un formato para la harina patrón y una para la harina contaminada.
- Se realizaron los análisis fisicoquímicos y reológicos de cada prueba.
- Se llenó el formato creado con la información obtenida de cada prueba para cada clasificación.
- Se colocaron las pruebas en orden ascendente respecto al tiempo, tomando como dato inicial la harina al primer día de iniciar el estudio.
- Se unió la información obtenida de ambas muestras durante los 4 meses y se realizó el análisis estadístico.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se presenta a continuación los datos obtenidos durante el estudio realizado a la harina de trigo.

3.7.1. Datos de los análisis realizados a la harina sin contaminar

Se presenta a continuación los datos obtenidos de los análisis realizados a la harina sin contaminar durante los 4 meses de almacenamiento y las gráficas del farinograma y alveograma.

Tabla XVIII. **Resultados de análisis fisicoquímicos a la harina sin contaminar**

Núm.	Proteína (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Gluten Húmedo (%)	Gluten Índice (%)	Falling Number (s)	Falling Fungal Number (s)	Almidón Dañado (%)
0	11,48	13,77	0,587	27,70	98,20	343	127	8,93
1	11,49	13,62	0,582	27,10	98,52	369	159	8,80
2	11,55	13,36	0,595	27,50	99,27	363	158	8,50
3	11,55	13,38	0,601	25,90	98,45	356	241	8,13
4	11,54	13,24	0,606	25,70	99,61	361	230	8,16
5	11,49	13,62	0,609	25,30	99,64	366	253	8,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados de análisis de grasa y granulometría a la harina sin contaminar**

Núm.	Grasa (%)	Acidez Grasa (ml KOH)	Granulometría (% de retención)			
			6xx	8xx	10xx	15xx
0	0,37	1,46	99,68	99,42	88,74	68,12
1	0,42	2,55	99,20	99,20	76,68	67,46
2	0,86	2,77	98,86	99,34	81,88	67,30
3	0,79	3,72	99,24	99,38	86,80	66,38
4	0,88	4,74	99,20	99,00	84,70	66,78
5	1,01	4,53	99,42	99,58	86,60	67,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de análisis de alveógrafo a la harina sin contaminar**

Núm.	P (mmH2O)	L (mm)	G	W (10E-4J)	P/L	le (%)
0	136	80	19,9	460	1,70	78,9
1	129	84	20,4	456	1,54	77,0
2	128	81	20,0	438	1,58	78,3
3	125	75	19,3	405	1,67	77,1
4	135	72	18,9	425	1,88	78,1
5	136	70	18,6	411	1,94	77,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados de análisis de farinógrafo y volumen de pan a la harina sin contaminar**

Núm.	Absorción (%)	Desarrollo (min)	Estabilidad (min)	Decaimiento (UB)	Quality Number	MTI (UB)	Volumen (cm3)
0	59,0	2,2	12,7	38	43	43	1 200
1	58,9	2,5	16,9	36	58	38	1 150
2	59,0	3,0	19,6	27	108	22	1 150
3	59,3	2,7	20,1	26	206	22	1 150
4	59,7	2,7	21,3	25	223	25	1 187
5	59,9	2,9	21,5	26	223	26	1 137

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. **Datos de los análisis realizados a la harina contaminada con gorgojos**

Se presenta a continuación los datos obtenidos de los análisis realizados a la harina sin contaminar, durante los 4 meses de almacenamiento y las gráficas del farinograma y alveograma.

Tabla XXII. **Resultados de análisis fisicoquímicos a la harina contaminada con gorgojos**

Núm.	Proteína (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Gluten Húmedo (%)	Gluten Índice (%)	Falling Number (s)	Falling Fungal Number (s)	Almidón Dañado (%)
0	11,48	13,77	0,587	27,7	98,20	343	127	8,93
1	11,46	13,68	0,593	26,8	98,20	343	129	8,43
2	11,46	13,69	0,596	25,3	98,90	367	182	8,38
3	11,38	13,72	0,604	23,7	96,62	349	258	7,85
4	11,34	13,75	0,603	22,4	96,55	340	255	7,60
5	11,30	13,80	0,604	22,1	96,08	342	273	7,25

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados de análisis de grasa y granulometría a la harina contaminada con gorgojos**

Núm.	Grasa (%)	Acidez Grasa (ml KOH)	Granulometría (% que paso la tela)			
			6xx	8xx	10xx	15xx
0	0,37	1,46	99,68	99,42	88,74	68,12
1	0,86	2,70	99,10	99,14	81,24	67,10
2	0,85	3,13	98,74	99,40	82,20	66,18
3	0,62	3,72	99,42	99,22	85,36	63,82
4	0,37	4,38	99,14	99,08	85,82	66,84
5	0,31	4,87	99,04	99,20	84,86	65,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Resultados de análisis de alveógrafo a la harina contaminada con gorgojos**

No.	P (mmH ₂ O)	L (mm)	G	W (10E-4J)	P/L	le (%)
0	136	80	19,9	460	1,70	78,9
1	129	86	20,6	468	1,50	79,2
2	121	77	19,5	398	1,57	76,4
3	137	75	19,3	435	1,83	76,0
4	141	64	17,8	397	2,20	76,1
5	135	51	15,9	306	2,65	73,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resultados de análisis de farinógrafo y volumen de pan a la harina contaminada con gorgojos**

No.	Absorción (%)	Desarrollo (min)	Estabilidad (min)	Decaimiento (UB)	Quality Number	MTI (UB)	Volumen (cm ³)
0	59,0	2,2	12,7	38	43	43	1 200
1	59,2	2,5	17,2	33	66	31	1 100
2	59,5	2,9	17,9	29	80	27	1 100
3	59,7	2,5	19,4	32	91	27	1 075
4	59,6	2,7	19,6	35	75	31	1 075
5	59,8	2,2	18,7	50	50	42	1 025

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se determinó si existe una diferencia estadísticamente significativa en cada uno de los valores obtenidos de cada uno de los análisis realizados a las dos harinas de trigo, por medio de la prueba estadística T de Student para datos pareados o muestras relacionadas.

Luego se presentaron los datos por medio de gráficos, de cada uno de los valores que se establecieron como significativamente diferentes y poder visualizar así, las características más importantes del análisis, para lo cual se planteó lo siguiente:

Hipótesis nula:

No existe una diferencia significativa en los valores obtenidos de la harina contaminada respecto a los de la harina sin contaminación.

$$H_0: \mu_1 = \mu_0$$

Hipótesis alterna:

Si existe una diferencia significativa en los valores obtenidos de la harina contaminada respecto a los valores obtenidos de la harina sin contaminación.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_0$$

Nivel de significancia:

Para el estudio se definió un $\alpha = 0,05$ a dos colas lo que corresponde a $\alpha/2$.

Intervalo de Confianza:

De acuerdo al nivel de significancia definido se obtiene en el análisis estadístico aplicado un 95 por ciento de intervalo de confianza.

Grados de libertad para test T de Student pareado:

Se realizaron 5 corridas de cada análisis a cada una de las muestras de harina, por lo cual se obtiene lo siguiente:

Grados de libertad= (número de datos-1)= 5 – 1 = 4

Valor de t crítico:

Conociendo los grados de libertad y el nivel de significancia definido, se obtiene el valor de t crítico a través de la tabla de t de Student

T crítico = ± 2.131846

Cálculo del valor de t de Student pareada:

$$t = \frac{d}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

En donde:

d: es la media de las diferencias de los valores

Sd: desviación estándar de las diferencias

n: número de muestras

Cálculo de la desviación estándar:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum di^2 - (\sum di)^2/n}{n - 1}}$$

En donde:

di: el valor de la diferencia de las muestras relacionadas

n: número de muestras

4. RESULTADOS

Se presentan a continuación las tablas con los resultados obtenidos del análisis estadístico, realizado a cada uno de los valores resultantes que se obtuvieron de las pruebas fisicoquímicas y reológicas elaboradas a las harinas de trigo, y que presentaron una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla XXVI. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la proteína**

Núm.	Harina sin contaminar Proteína (%)	Harina contaminada Proteína (%)			
			Variable 1	Variable 2	
			Media	11,516	11,388
			Varianza	0,00198	0,00512
1	11,45	11,46	Observaciones	5	5
2	11,49	11,46	Grados de libertad	4	
3	11,55	11,38	Estadístico t	2,5682315	
4	11,55	11,34	P(T<=t) una cola	0,0310474	
5	11,54	11,30	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la humedad**

Núm.	Harina sin contaminar Humedad (%)	Harina contaminada Humedad (%)			
			Variable 1	Variable 2	
			Media	13,46	13,728
			Varianza	0,037	0,00237
1	13,70	13,68	Observaciones	5	5
2	13,62	13,69	Grados de libertad	4	
3	13,36	13,72	Estadístico t	-2,519572	
4	13,38	13,75	P(T<=t) una cola	0,0326933	
5	13,24	13,80	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del gluten húmedo**

Núm	Harina sin contaminar Gluten H (%)	Harina contaminada Gluten H (%)			
			<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	
			Media	26,3	24,06
			Varianza	0,9	3,943
1	27,10	26,80	Observaciones	5	5
2	27,50	25,30	Grados de libertad	4	
3	25,90	23,70	Estadístico t	4,1552792	
4	25,70	22,40	P(T<=t) una cola	0,0070997	
5	25,30	22,10	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del gluten index**

Núm.	Harina sin contaminar Gluten In (%)	Harina contaminada Gluten In (%)			
			<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	
			Media	99,098	97,27
			Varianza	0,33487	1,4697
1	98,52	98,20	Observaciones	5	5
2	99,27	98,90	Grados de libertad	4	
3	98,45	96,62	Estadístico t	2,7376008	
4	99,61	96,55	P(T<=t) una cola	0,0260169	
5	99,64	96,08	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del *Falling Number***

Núm.	Harina sin contaminar <i>Falling N</i> (s)	Harina contaminada <i>Falling N</i> (s)			
			<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	
			Media	363	348,2
			Varianza	24,5	121,7
1	369	343	Observaciones	5	5
2	363	367	Grados de libertad	4	
3	356	349	Estadístico t	2,5709017	
4	361	340	P(T<=t) una cola	0,0309599	
5	366	342	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del almidón dañado**

Núm.	Harina sin contaminar Almidón D (%)	Harina contaminada Almidón D (%)			
			<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	
			Media	8,32	7,902
			Varianza	0,10515	0,25657
1	8,80	8,43	Observaciones	5	5
2	8,50	8,38	Grados de libertad	4	
3	8,13	7,85	Estadístico t	3,759211	
4	8,16	7,60	P(T<=t) una cola	0,009894	
5	8,01	7,25	Valor crítico de t (una cola)	2,131846	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la granulometría tela 15xx**

Núm.	Harina sin contaminar Granulometría (%)	Harina contaminada Granulometría (%)	<i>Variable 1</i> <i>Variable 2</i>	
			Media	
			67,012	65,86
			0,18832	1,753
1	67,46	67,10	Observaciones	5 5
2	67,30	66,18	Grados de libertad	4
3	66,38	63,82	Estadístico t	2,4356541
4	66,78	66,84	P(T<=t) una cola	0,0357715
5	67,14	65,36	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función de la estabilidad**

Núm.	Harina sin contaminar Estabilidad (min)	Harina contaminada Estabilidad (min)	<i>Variable 1</i> <i>Variable 2</i>	
			Media	
			19,88	18,56
			3,412	1,023
1	16,9	17,20	Observaciones	5 5
2	19,6	17,90	Grados de libertad	4
3	20,1	19,40	Estadístico t	2,5198917
4	21,3	19,60	P(T<=t) una cola	0,0326822
5	21,5	18,70	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del *quality number***

Núm.	Harina sin contaminar QN	Harina contaminada QN	Variable		
			Variable 1	Variable 2	
			Media	163,6	72,4
			Varianza	5 774,3	238,3
1	58,0	66,00	Observaciones	5	5
2	108,0	80,00	Grados de libertad	4	
3	206,0	91,00	Estadístico t	2,615403	
4	223,0	75,00	P(T<=t) una cola	0,029541	
5	223,0	50,00	Valor crítico de t (una cola)	2,131846	

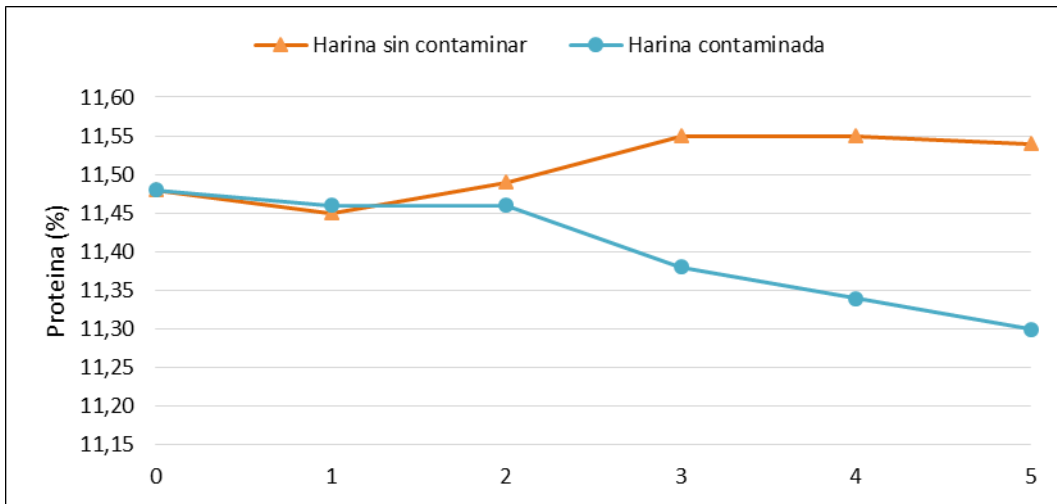
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Resultado obtenido del análisis realizado a las harinas de trigo en función del volumen**

Núm.	Harina sin contaminar Volumen (cm ³)	Harina contaminada Volumen (cm ³)	Variable		
			Variable 1	Variable 2	
			Media	1 154,8	1 075
			Varianza	355,7	937,5
1	1 150	1 100	Observaciones	5	5
2	1 150	1 100	Grados de libertad	4	
3	1 150	1 075	Estadístico t	5,7346294	
4	1 187	1 075	P(T<=t) una cola	0,0022899	
5	1 137	1 025	Valor crítico de t (una cola)	2,1318468	

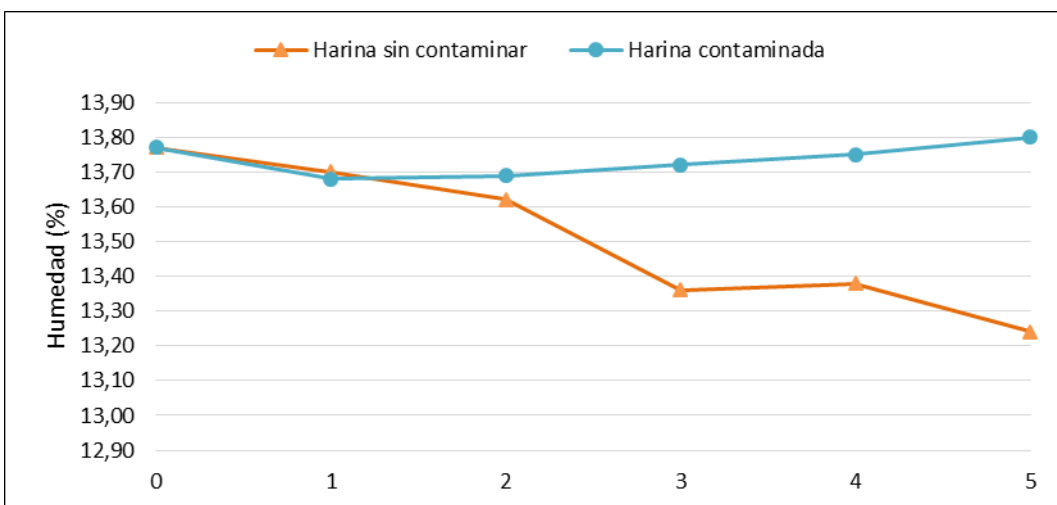
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Gráfica descriptiva del porcentaje de proteína en ambas harinas en función del tiempo**



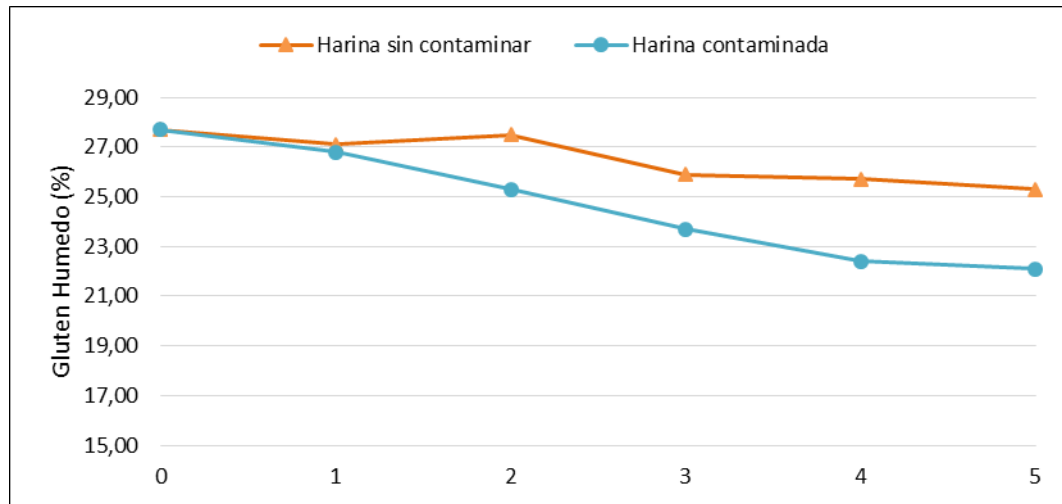
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Gráfica descriptiva del porcentaje de humedad en ambas harinas en función del tiempo**



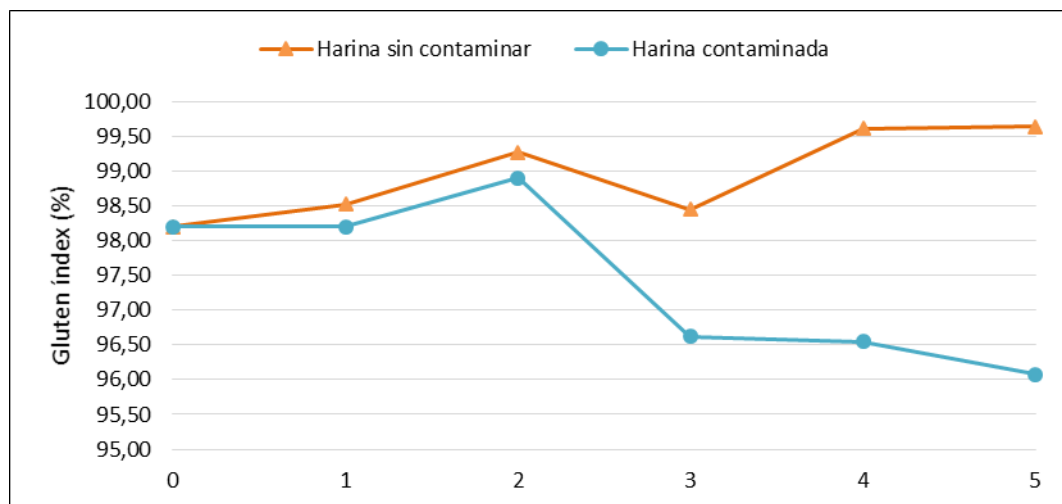
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Gráfica descriptiva del porcentaje de gluten húmedo en ambas harinas en función del tiempo**



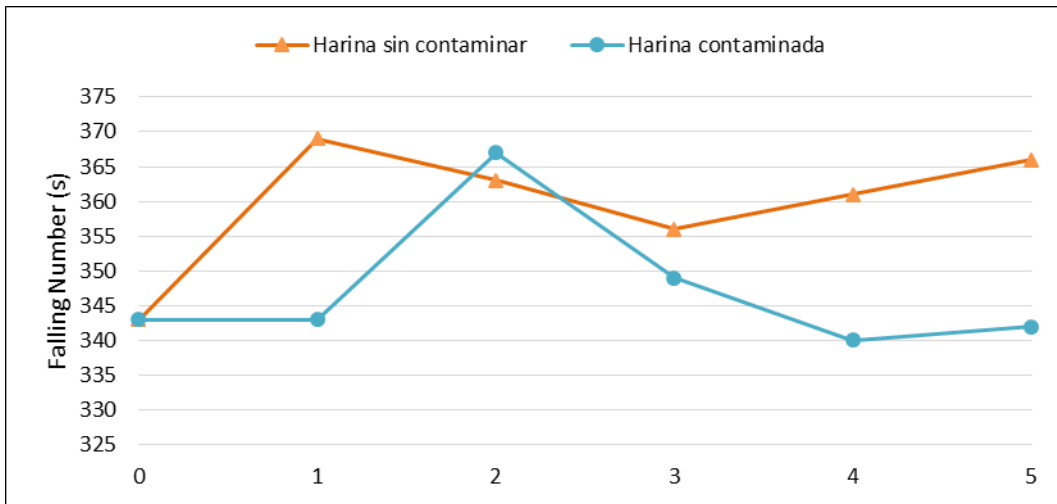
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Gráfica descriptiva del porcentaje de gluten index en ambas harinas en función del tiempo**



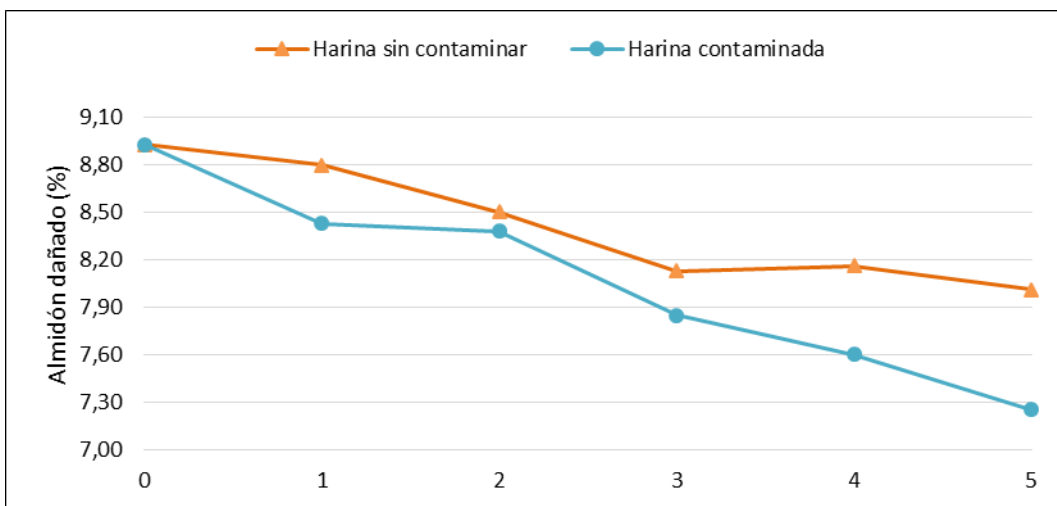
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Gráfica descriptiva del *falling number* en ambas harinas en función del tiempo



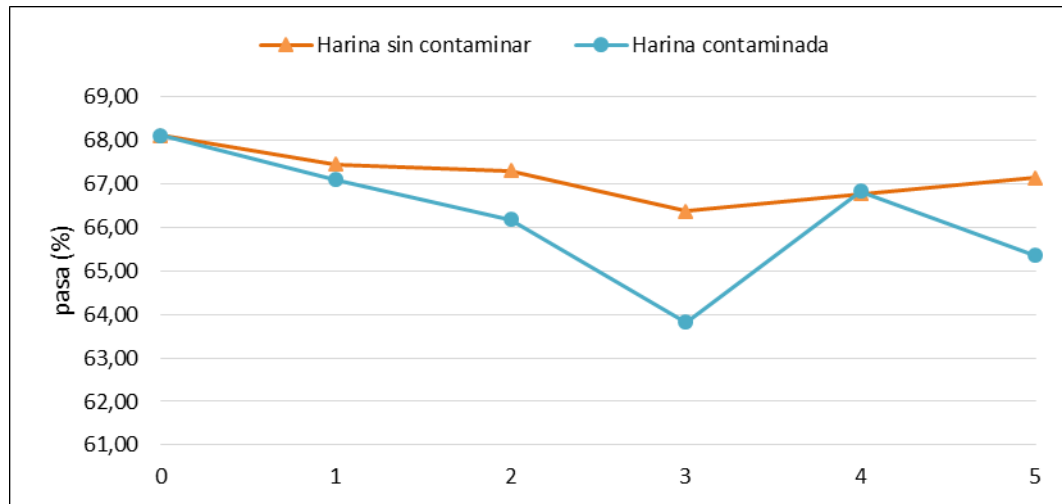
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Gráfica descriptiva del porcentaje de almidón dañado en ambas harinas en función del tiempo



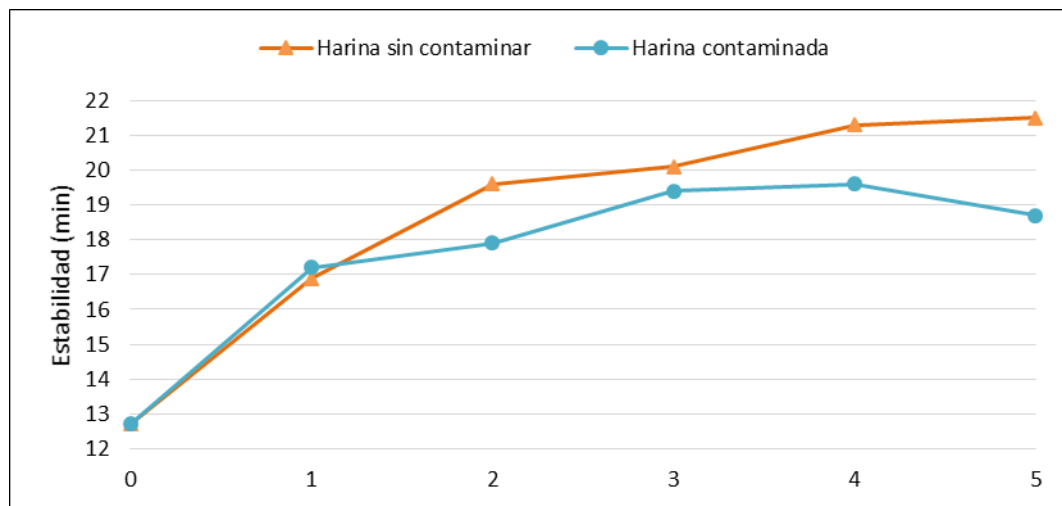
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Gráfica descriptiva del porcentaje de partículas que pasa por la tela 15xx en ambas harinas en función del tiempo**



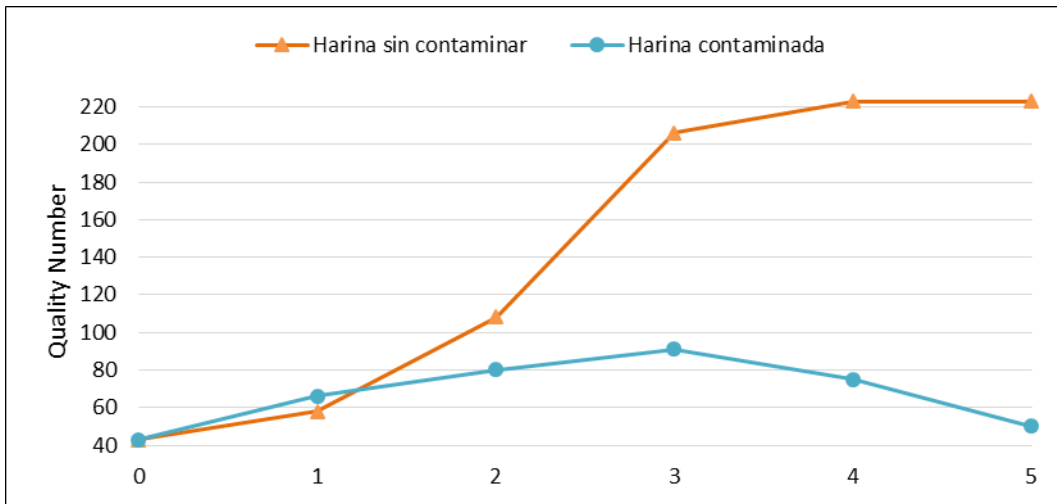
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Gráfica descriptiva de la estabilidad en ambas harinas en función del tiempo**



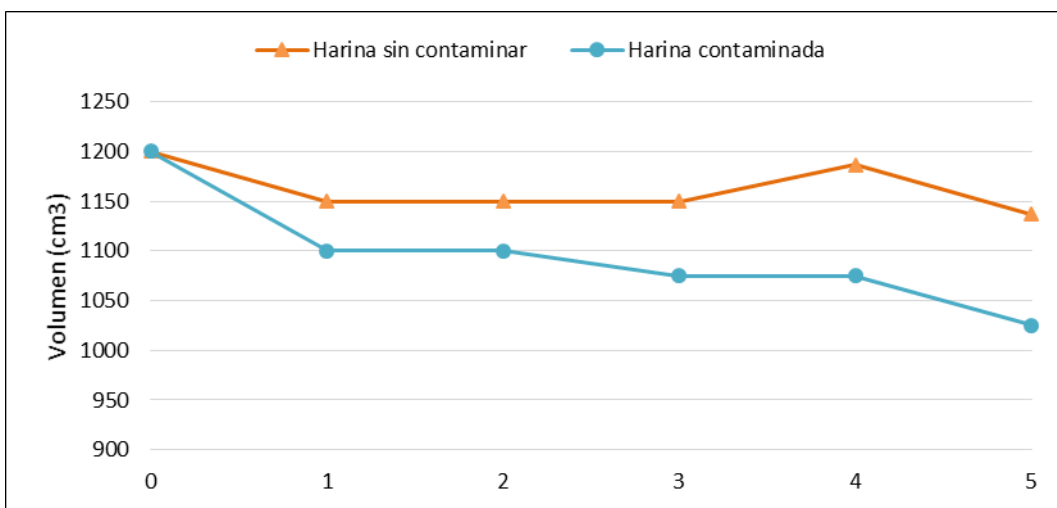
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Gráfica descriptiva del *quality number* en ambas harinas en función del tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica descriptiva del volumen del pan en ambas harinas en función del tiempo**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se pudo comprobar a través de los resultados obtenidos, que los gorgojos a pesar de ser considerados principalmente como una contaminación física, que es fácilmente descartable por un simple proceso de cernido, tiene efectos significativos en algunos parámetros fisicoquímicos y reológicos de la harina, que son reflejados de una manera negativa en el pan.

La harina de trigo fuerte que se utilizó en el estudio es utilizada principalmente para la producción de panes leudados con levadura. Los cuales dependiendo de las distintas variedades requieren de un buen desarrollo, es decir, que deben generar un elevado volumen durante el proceso de horneado y ser tolerante a los diferentes procesos, a los cuales se somete la harina durante el procesamiento de la masa, como el mezclado y la fermentación.

En la primera prueba que se realizó a la harina (prueba Núm. 0) previo a ser contaminada y almacenada, todos los parámetros se establecieron como normales, y se pudo observar que el pan dio el mayor volumen reportado. Estos datos fueron tomados como punto de partida para ver la tendencia al aumento o disminución, durante los siguientes análisis tanto para la harina contaminada como para la harina sin contaminar.

Es importante tomar en cuenta que la panificación ya no es un proceso de prueba y error, sino ha evolucionado hacia la aplicación controlada de principios de ingeniería alimentaria, la pequeña panadería o panadería de barrio como se conoce de una manera popular, tiene un campo especial de utilidad y ganancia a pesar de la mayor eficiencia de las plantas grandes.

Ya que es más flexible, puede adaptarse con mayor facilidad a la producción de otras variedades de pan y pastelería que demandan un mayor precio y normalmente no es afectada por los fuertes gastos administrativos, sin embargo, es en este tipo de panaderías en donde en la mayoría de casos se carece de los controles necesarios, que deben aplicarse a la materia prima utilizada, lo genera pérdidas económicas por mayores desperdicios y productos de menor calidad.

En los siguientes análisis se pudo determinar cuál era el comportamiento de la harina contaminada con gorgojos, durante el tiempo en comparación con la misma harina sin contaminar.

En la harina contaminada se pudo determinar que existe una disminución en el contenido de proteína paralelo a un aumento en el porcentaje de humedad, contrario a la harina sin contaminar que la pérdida de humedad hizo que aumentara la concentración de proteína, esto debido al agua metabólica que la teoría dice que los gorgojos generan. De igual manera el aumento de agua en la harina generó una mayor compactación en la harina con gorgojos, lo que se pudo observar en la disminución significativa del porcentaje de partículas que pudo pasar en el cernido sobre una tela con abertura de 85 micrones.

La actividad enzimática aumentó en la harina de trigo contaminada, representada como una disminución en los segundos de caída del *falling number*, lo que indica que hubo una mayor degradación de almidones. De igual manera el porcentaje de almidón dañado a pesar de que su tendencia normal en el tiempo es disminuir, la muestra con gorgojos tuvo desde los primero veinte días una disminución mayor.

Estos dos parámetros de control están directamente relacionados con el proceso bioquímico de la fermentación, ya que la levadura necesita de azúcares simples para generar el gas dentro de la masa, y estos azúcares son producidos por la degradación de los almidones dañados, causados por las enzimas presentes en la harina.

El gluten húmedo y gluten index, se vieron fuertemente afectados, mientras la harina sin contaminar con el pasar del tiempo daba un gluten index mayor. Esto se traduce en una mejor capacidad de retención de gas y mejor estructura dando lugar a un pan con mayor volumen, la harina contaminada disminuía no solo en el porcentaje de gluten capaz de formar, sino también en una disminución de la calidad de este. Esto se vio reflejado en la disminución del volumen que el pan presentó desde el primer análisis que se realizó a la harina contaminada.

La estabilidad que refleja cuan tolerante puede ser la harina en el procesamiento del mezclado, normalmente presenta un aumento en las harinas que tienen mayor tiempo de almacenaje, debido a la oxidación de la misma. Ambas harinas presentaron esta tendencia, sin embargo, el harina con gorgojos tuvo siempre un menor tiempo de estabilidad.

El *quality number* indicó que la harina con gorgojos tiene muy bajo nivel de calidad, lo que indica que es muy poco tolerante al proceso y si el tiempo del proceso de mezclado sobrepasa el tiempo de estabilidad, esta tiene una degradación acelerada, lo que ocasiona masas pegajosas difíciles de manejar en una panadería.

La evaluación realizada al pan que se elaboró con la harina contaminada, presentó una diferencia estadísticamente significativa en el volumen desde la primer prueba elaborada, reportando desde el primer análisis un menor volumen en la harina que contenía gorgojos.

Todos los demás análisis no presentaron una diferencia estadísticamente significativa entre la harina contaminada y la harina sin gorgojos.

Por lo anterior descrito, el saneamiento debe considerarse como una de las funciones más importantes y generales en la panadería, desde el punto de vista de calidad y aceptación, todas las materias primeas y los métodos de manipuleo, elaboración, transporte, almacenaje y operaciones minoristas están relacionados y sujetos a requisitos sanitarios.

De igual manera el personal responsable de las operaciones en una panadería debe combinar la experiencia práctica, con un conocimiento completo de los principios básicos que gobiernan la mayor parte de las operaciones de procesamiento. El panadero trabaja con materiales y procesos que obedecen a ciertas leyes de la física y la química, por lo tanto es esencial conocer y saber interpretar las diferentes evaluaciones fisicoquímicas que se le realiza a la harina de trigo para garantizar un producto final de calidad.

CONCLUSIONES

1. Existe una diferencia estadísticamente significativa y de manera negativa en los parámetros de proteína, humedad, gluten, actividad enzimática y almidón dañado entre la harina de trigo contaminada con gorgojos y la harina de trigo sin contaminar.
2. Los parámetros fisicoquímicos: ceniza, grasa, acidez grasa y *fungus falling number* no se ven afectados significativamente en una harina contaminada con gorgojos.
3. Las variaciones en los resultados obtenidos por el análisis del alveograma no son estadísticamente significativos entre la harina de trigo contaminada con gorgojos y la harina de trigo sin contaminar.
4. En los resultados proporcionados por el farinógrafo, los parámetros de estabilidad y *quality number* indican que existe una diferencia estadísticamente significativa y de manera negativa entre la harina de trigo contaminada con gorgojos y la harina de trigo sin contaminar.
5. Existe una diferencia estadísticamente significativa en el volumen del pan durante el tiempo entre la harina de trigo contaminada con gorgojos y la harina de trigo sin contaminar.

RECOMENDACIONES

1. Para evitar una disminución en la calidad y aceptación del pan que se elabora, se debe tener control sobre la harina de trigo como materia prima para evitar una infestación de gorgojos.
2. Planificar, coordinar y dirigir el saneamiento en todas sus facetas sin importar el tamaño de la panadería, estableciendo un programa de control de plagas.

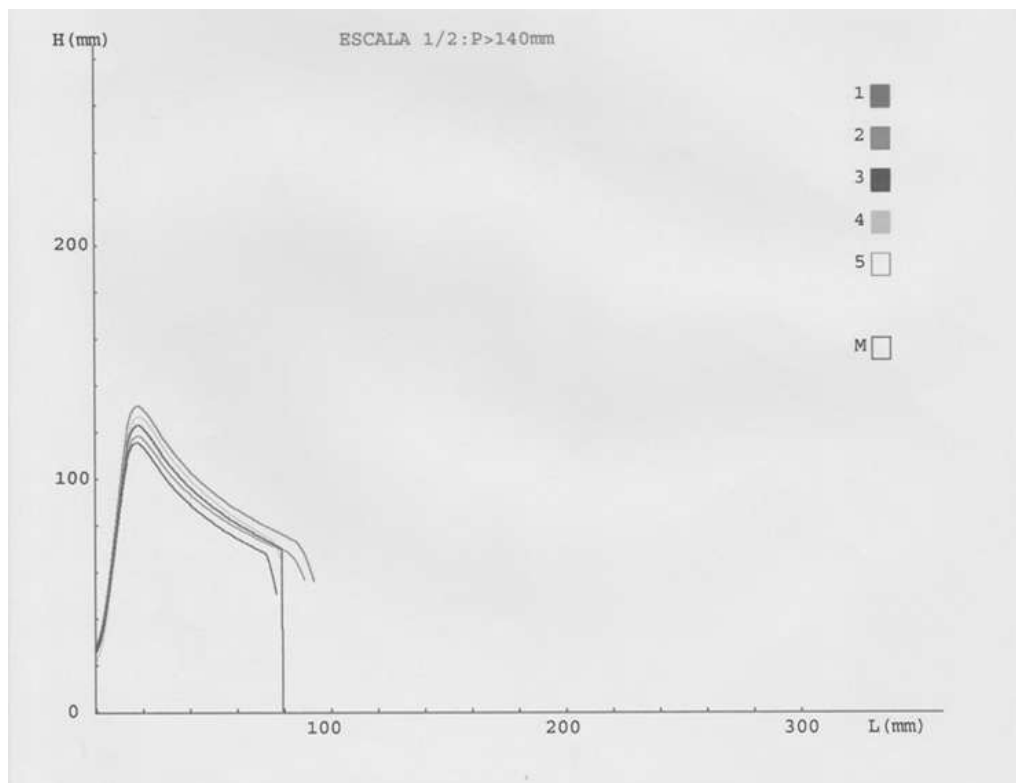
BIBLIOGRAFÍA

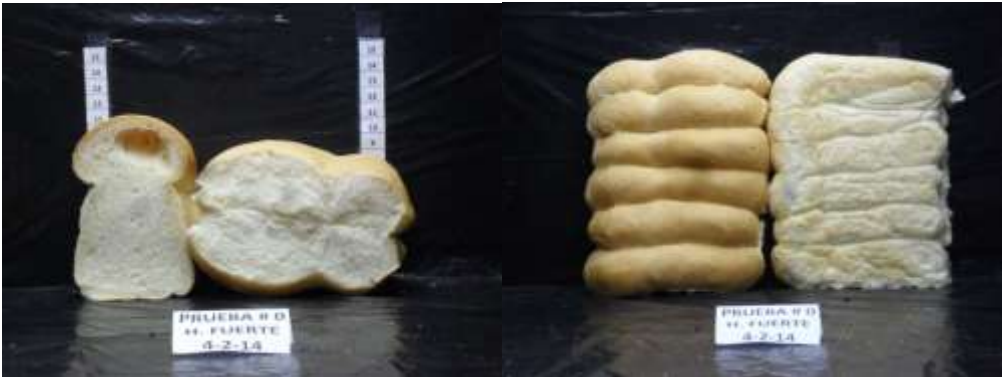
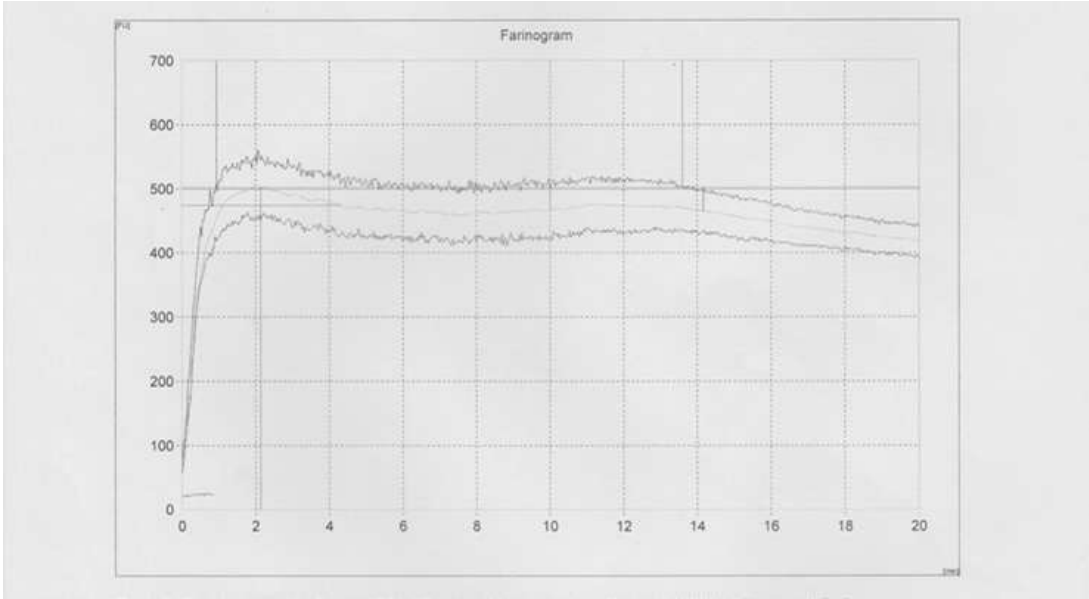
1. American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of de AACC*. 10th Ed, United States of America: AACC 2 vols.
2. KENTS, Jones; BOY, Amos A.J. *Química moderna de los Cereales*. España: Editorial Universitaria, 1956. 108 p.
3. NAVICKIS, L.L. *Rheological changes of fortified wheat and corn flour dough with mixing time*. Cereal chemistry, 66 Edition. 1. 23-24 p.
4. RUIZ FUENTES, Ana Beatriz. *Implementación de controles de calidad para materia prima, producto en proceso y producto en empaque, en una industria harinera*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2007.
5. SCHEAFFER, Richard L.; MCCLAVE, James T. *Probabilidad y estadística para ingeniería*. González Pozo, Virgilio (trad.). 3a ed. México: Iberoamérica, 1993. 690 p. ISBN 970-625-022-0.
6. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. *Proceso de molienda*. [en línea].
<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/leccin_17_proceso_de_molienda.html>. [Consulta: 10 de octubre de 2014].

APÉNDICES

APÉNDICE 1: Gráficos de alveógrafo, farinógrafo y panificación realizado a las harinas durante el tiempo que estuvieron almacenadas.

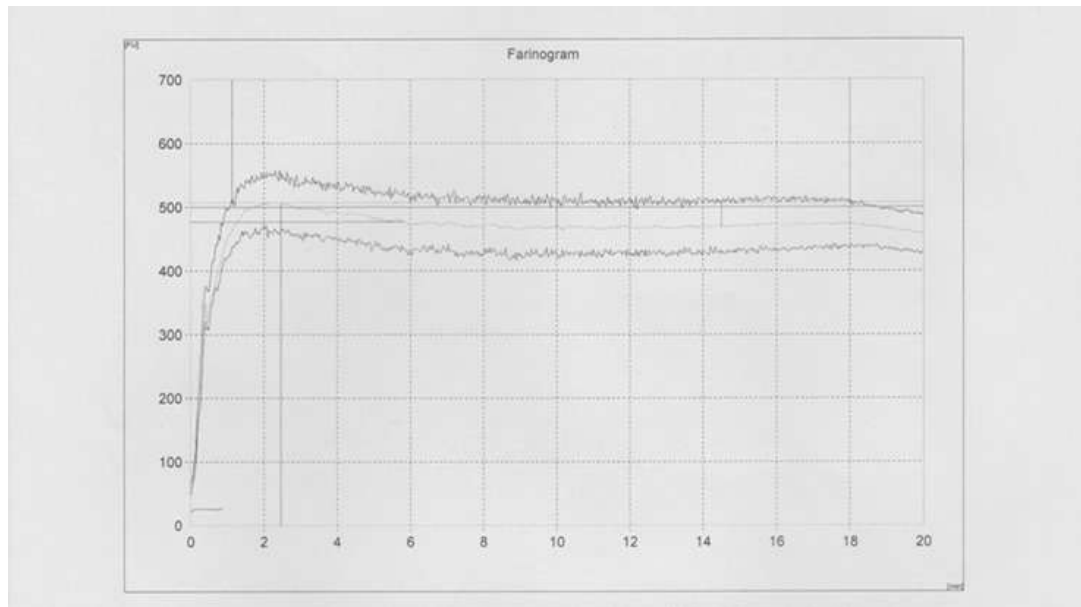
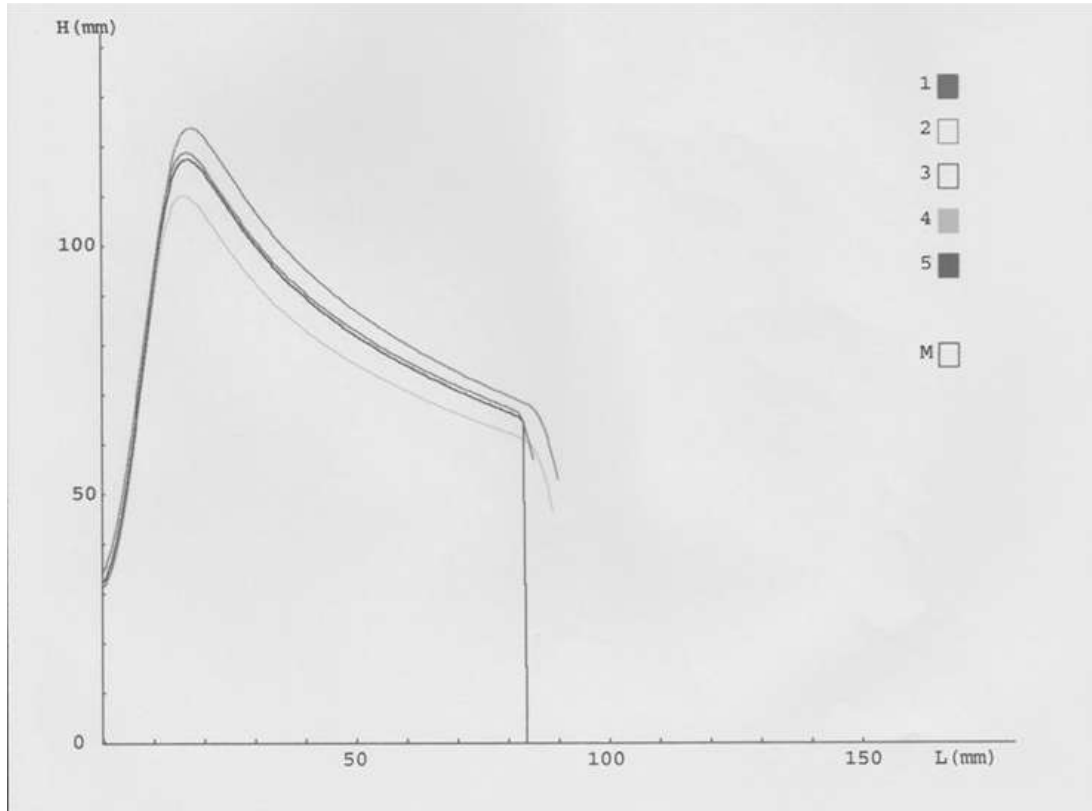
Alveograma, farinograma y pan realizado a la prueba inicial (0)





Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

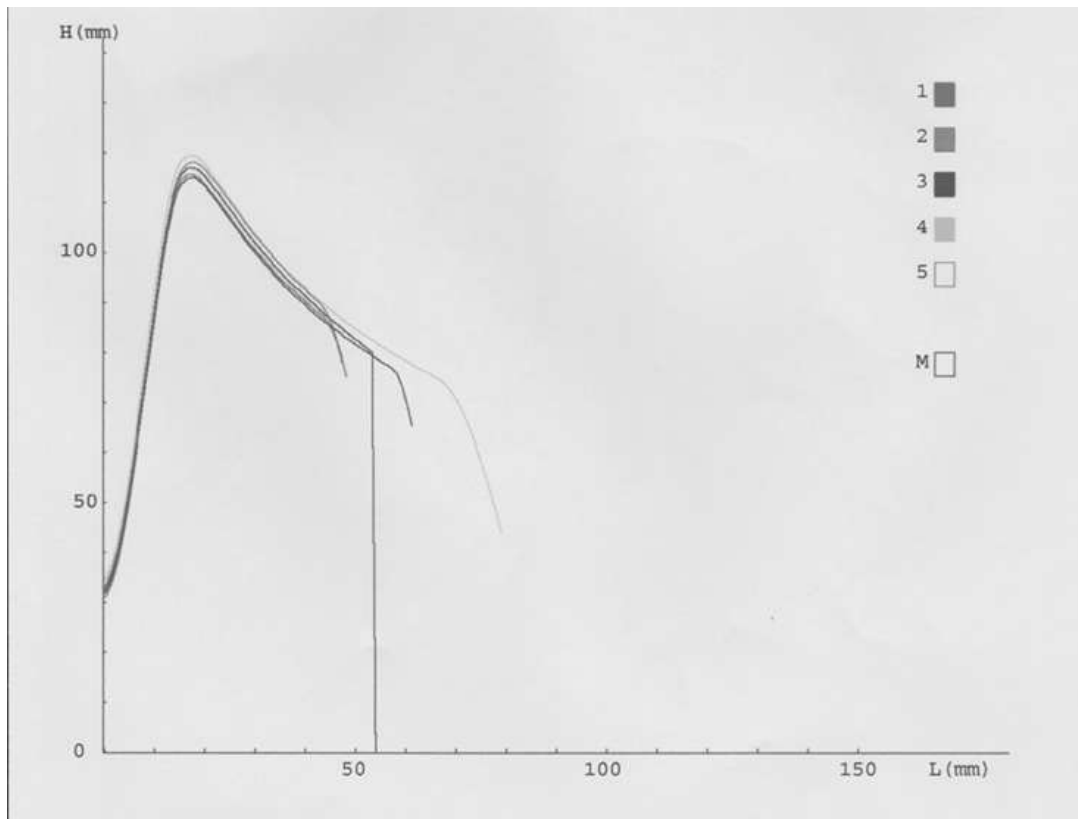
Alveograma, farinograma y pan realizado a la segunda prueba sin contaminar (1)

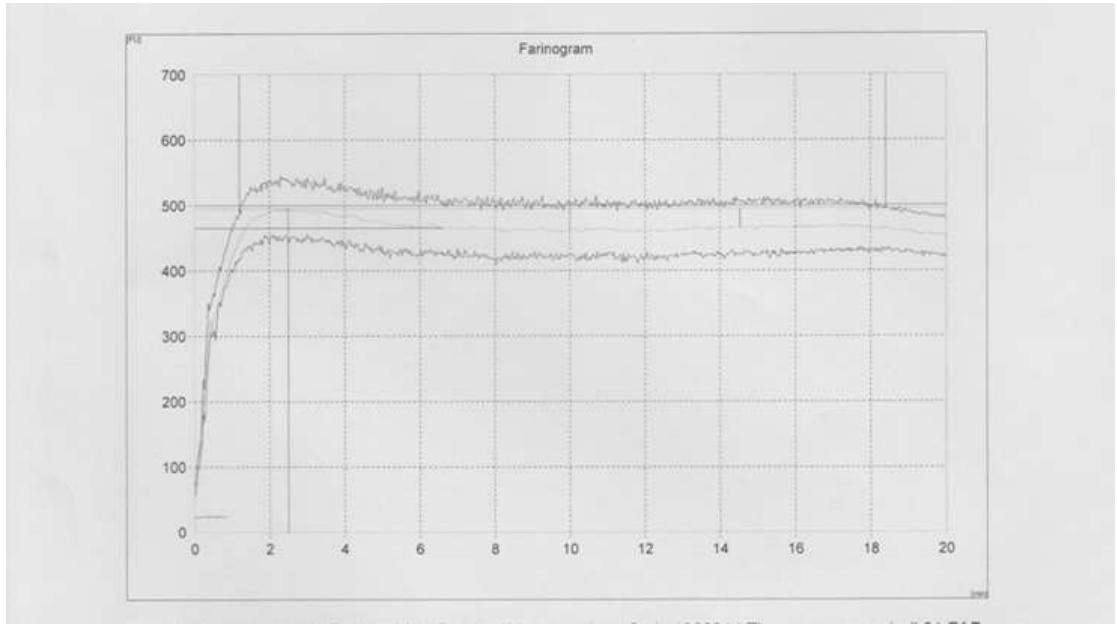




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

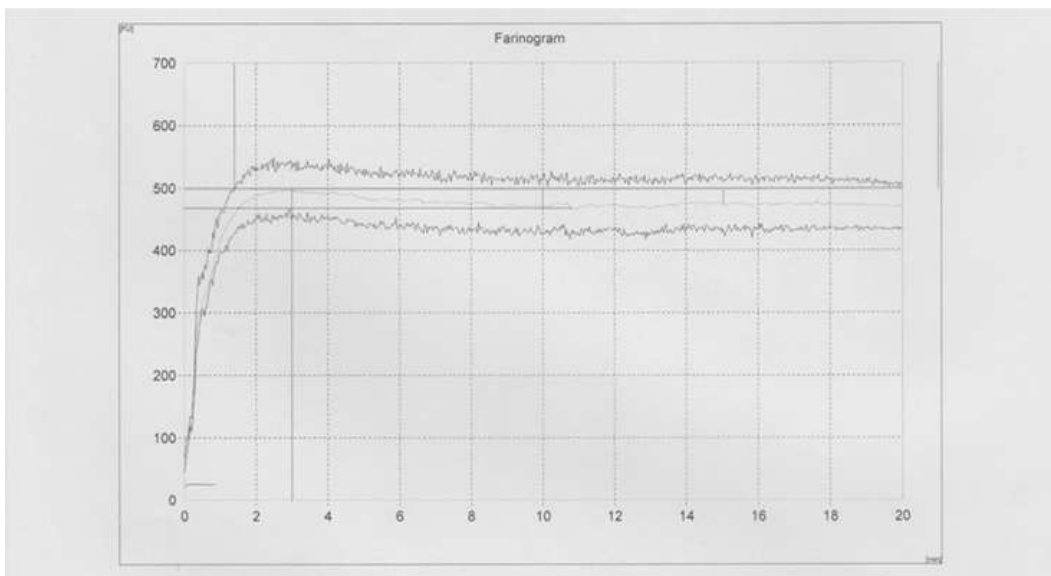
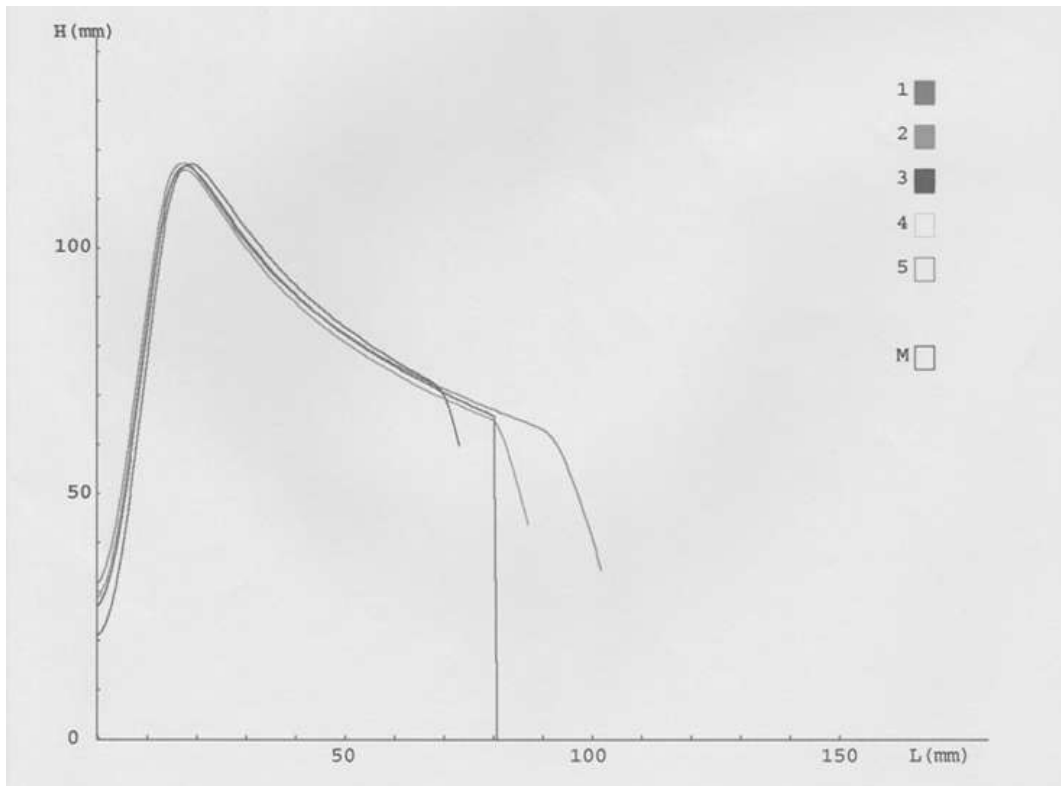
Alveograma, farinograma y pan realizado a la segunda prueba contaminada (1)





Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

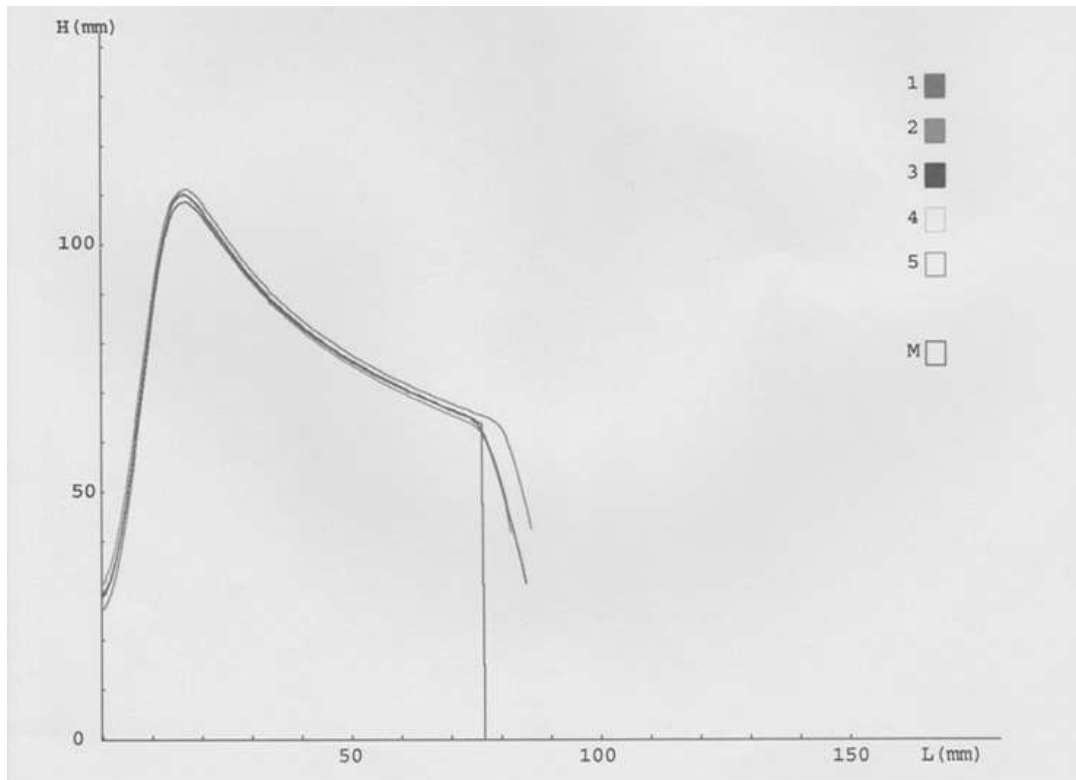
Alveograma, farinograma y pan realizado a la tercer prueba sin contaminar (2)

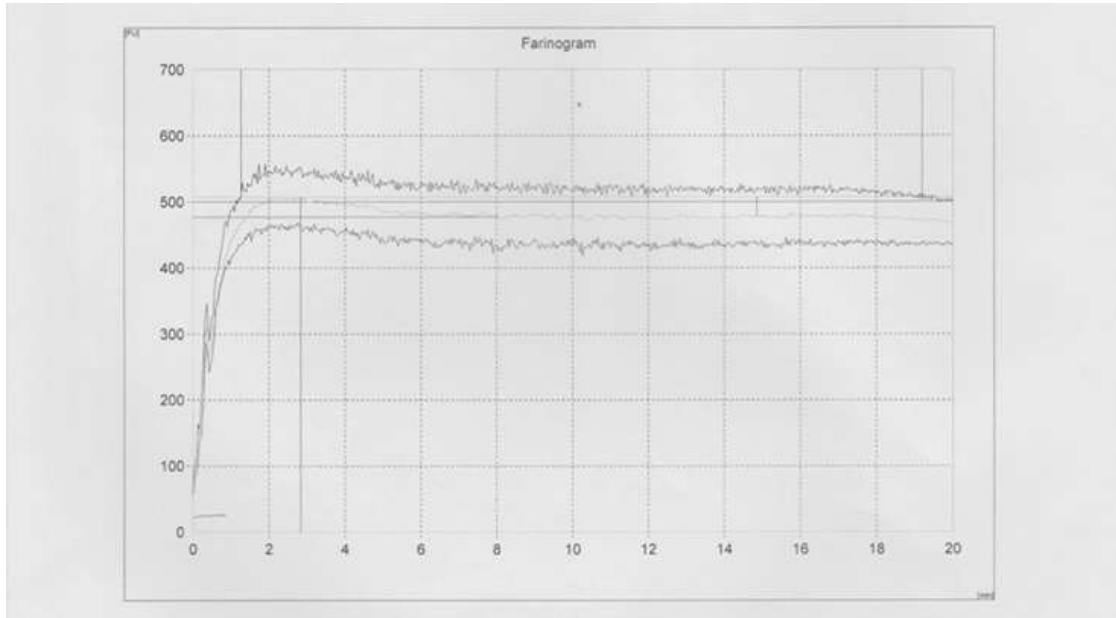




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

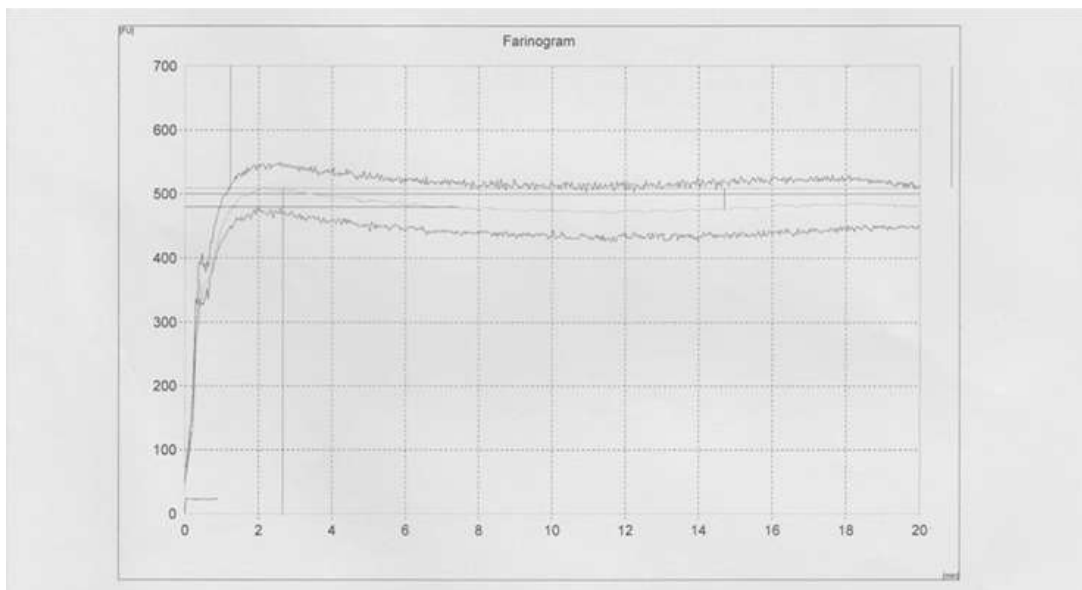
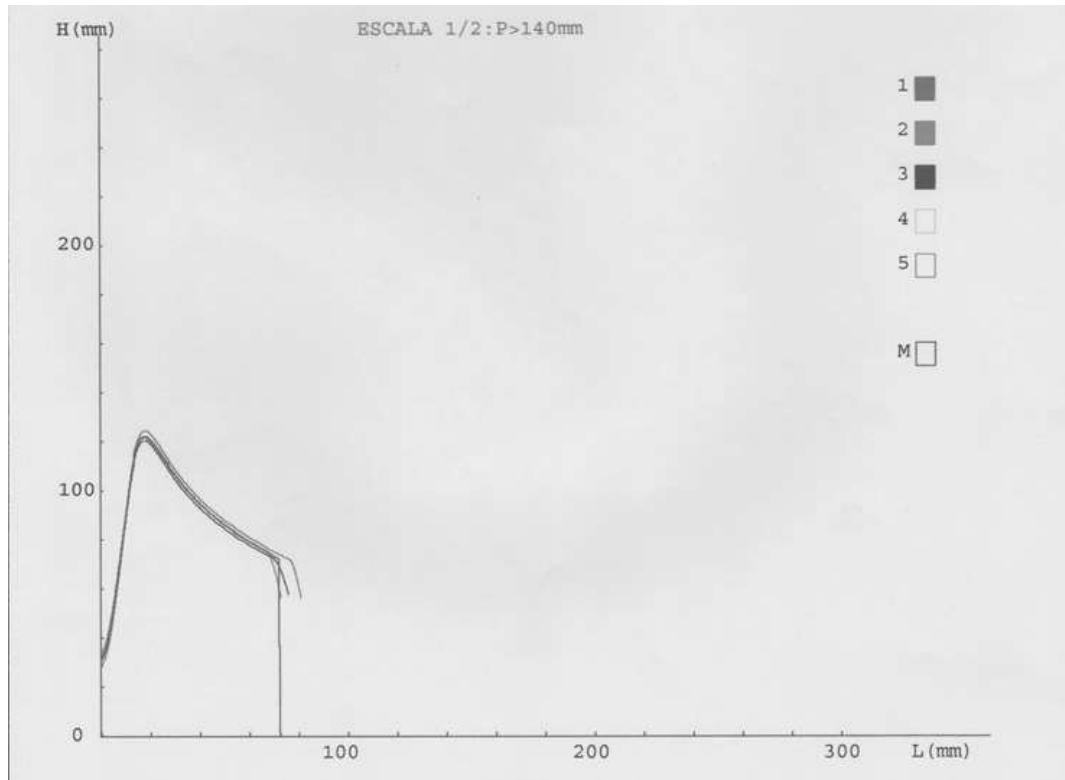
Alveograma, farinograma y pan realizado a la tercer prueba contaminada (2)





Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

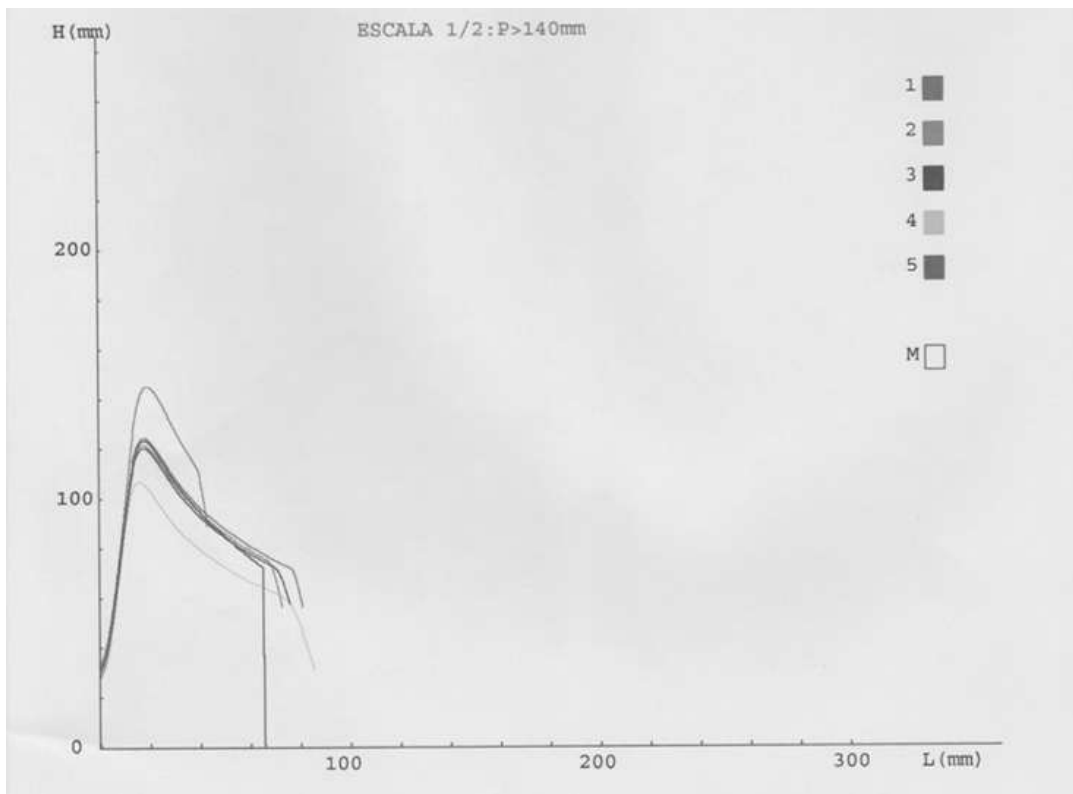
Alveograma, farinograma y pan realizado a la cuarta prueba sin contaminar (3)

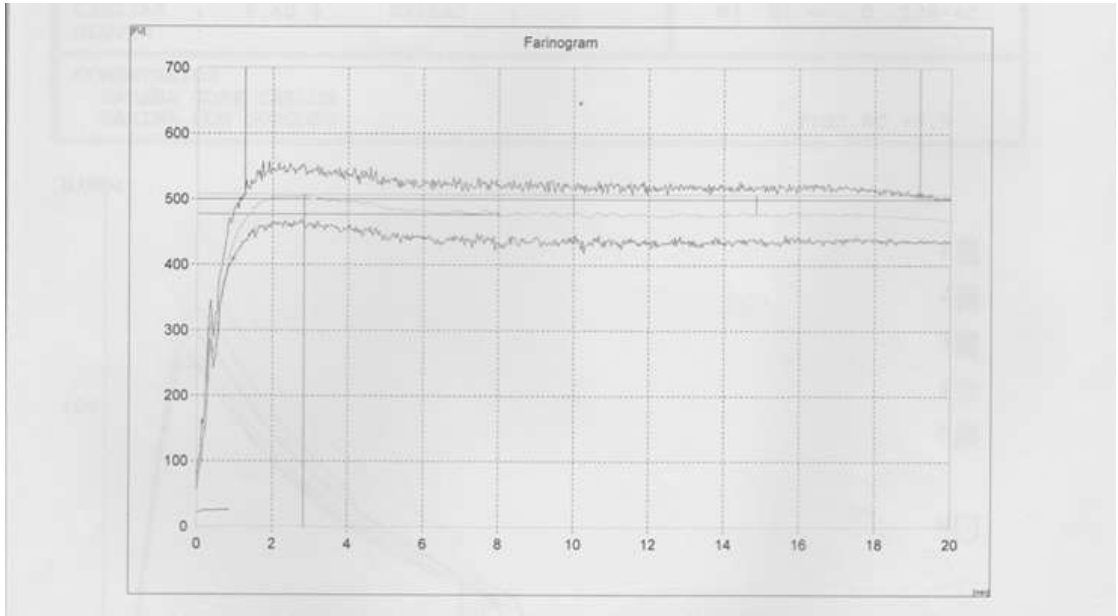




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

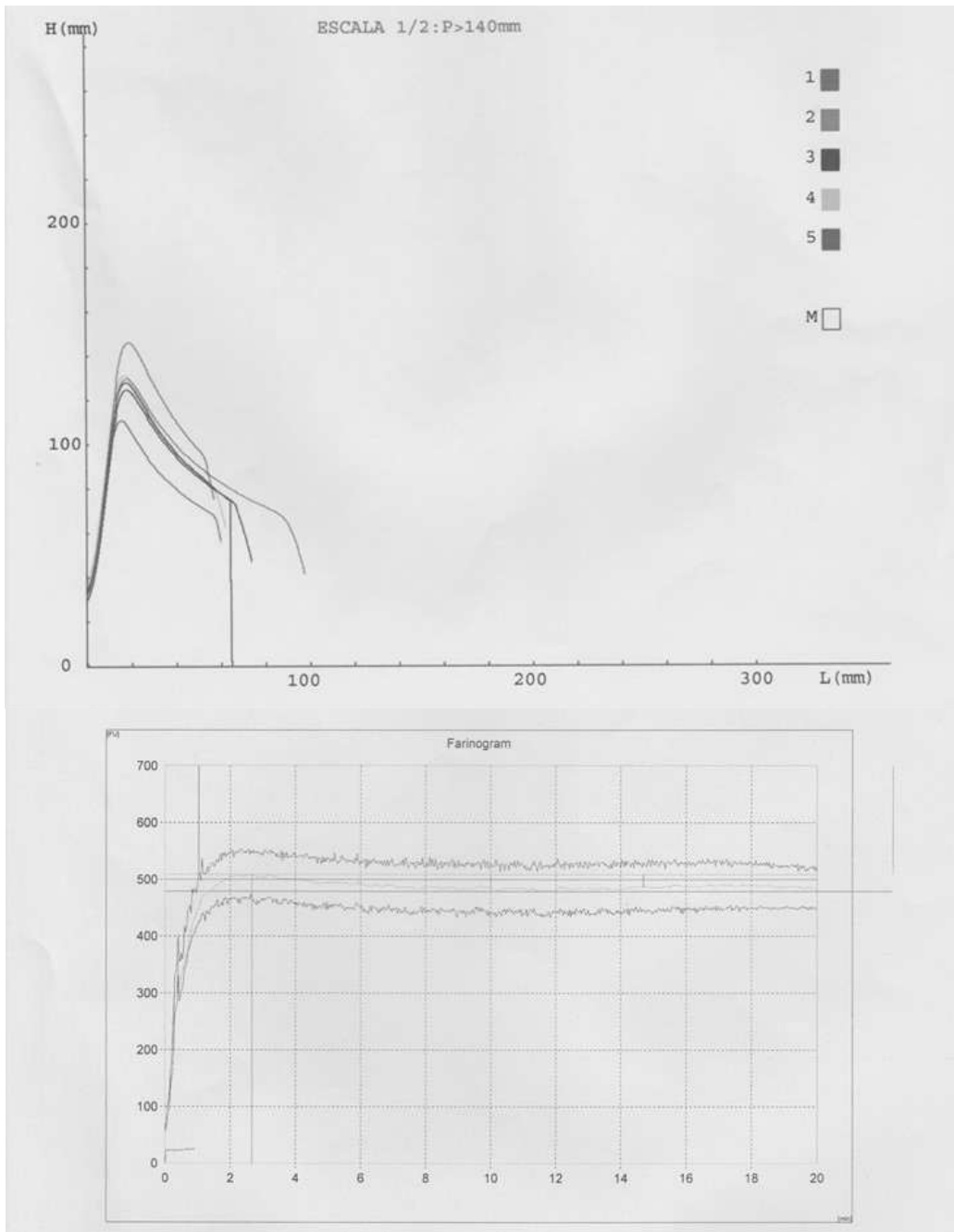
Alveograma, farinograma y pan realizado a la cuarta prueba contaminada (3)

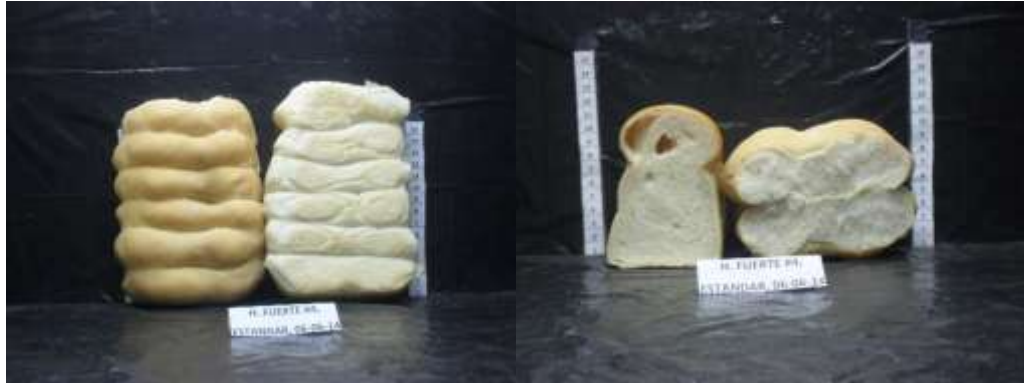




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

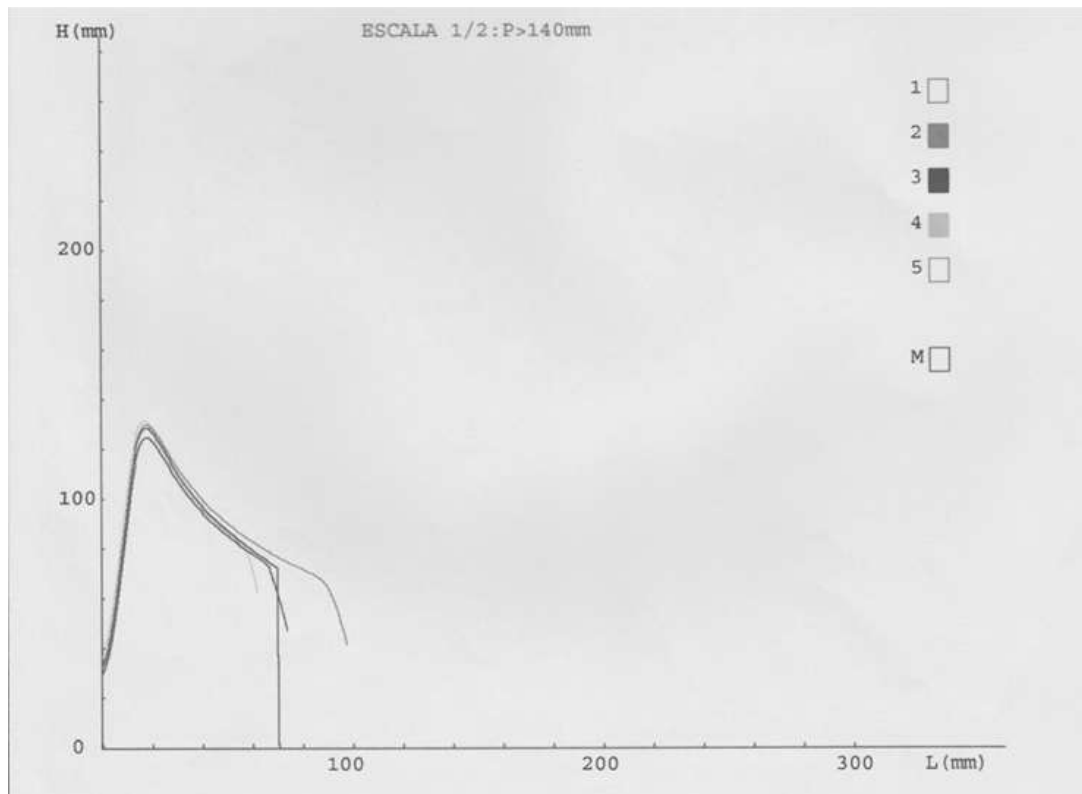
Alveograma, farinograma y pan realizado a la quinta prueba sin contaminar (4)

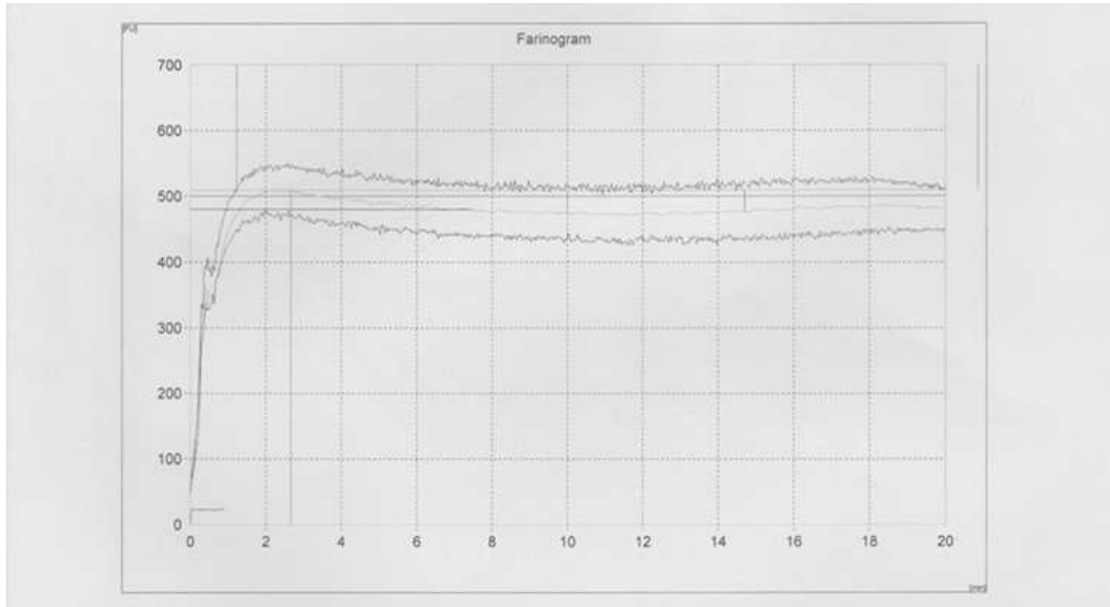




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

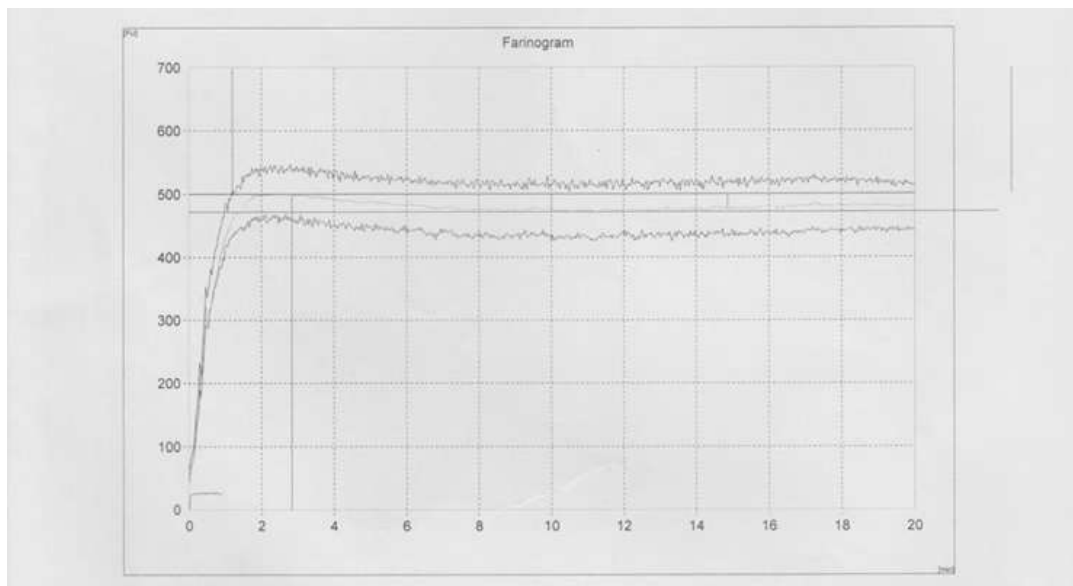
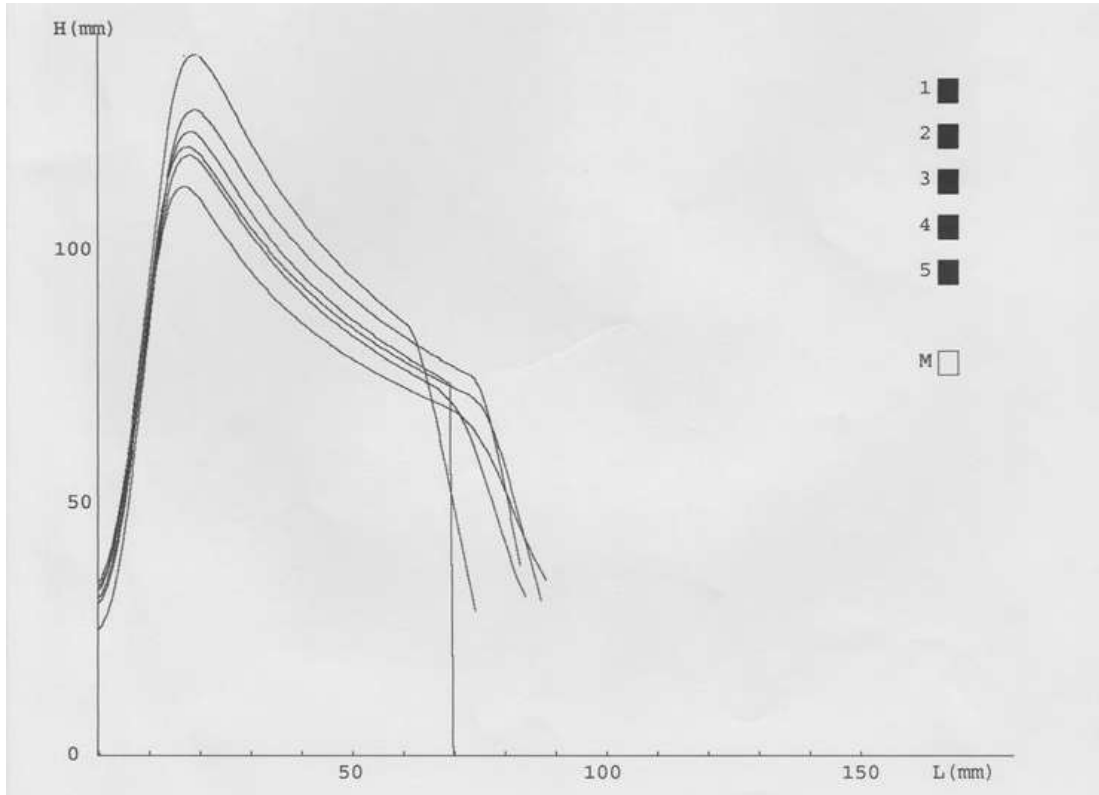
Alveograma, farinograma y pan realizado a la quinta prueba contaminada (4)





Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

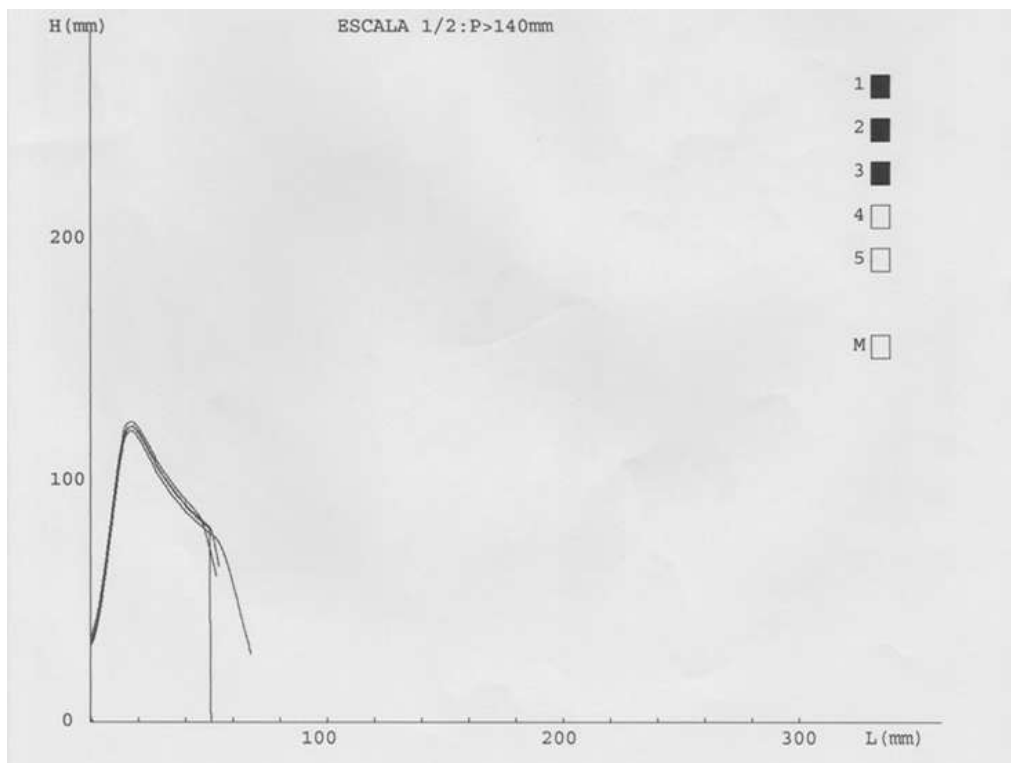
Alveograma, farinograma y pan realizado a la sexta prueba sin contaminar (5)

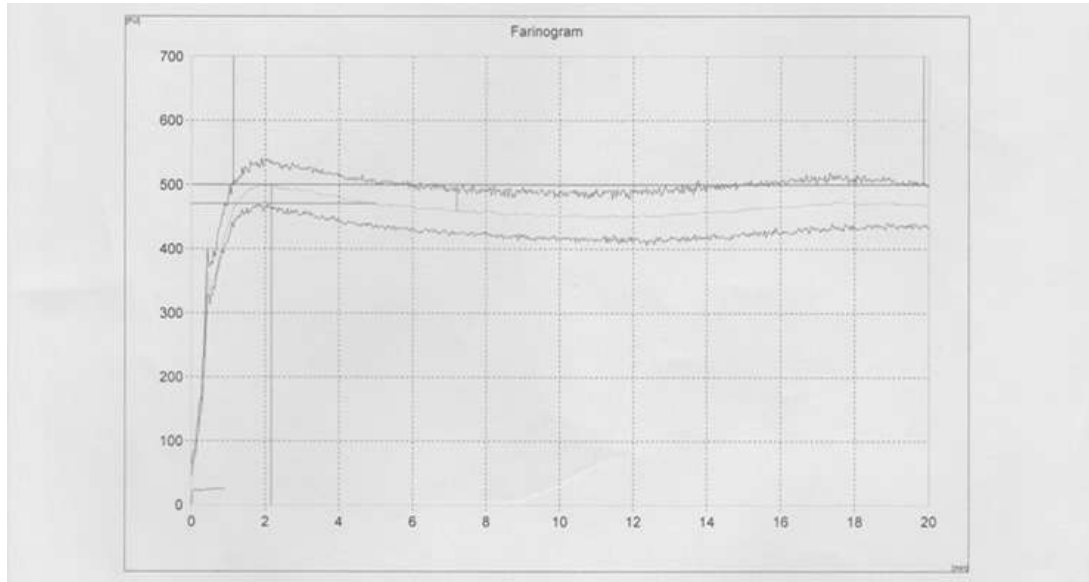




Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

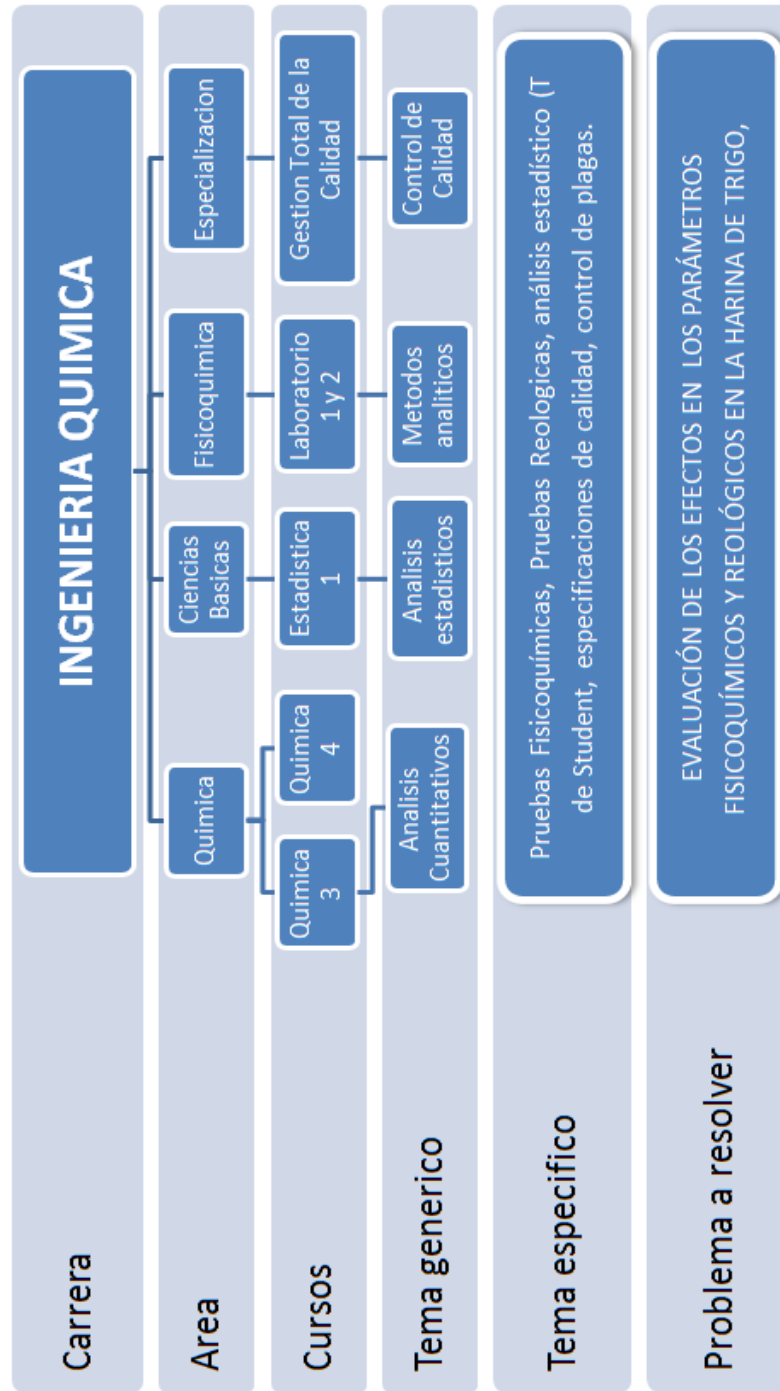
Alveograma, farinograma y pan realizado a la sexta prueba contaminada (5)





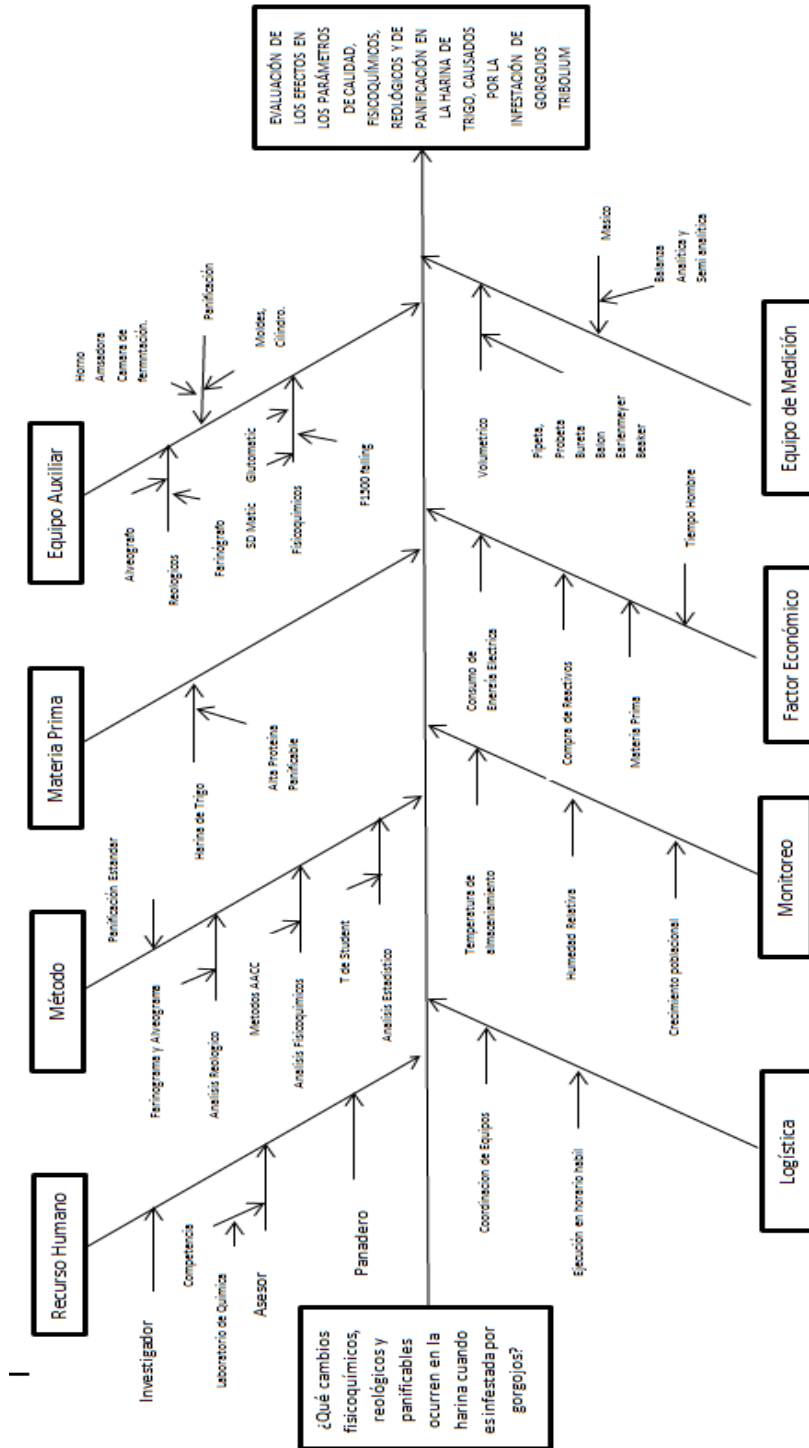
Fuente: elaboración propia en laboratorio de cereales.

APÉNDICE 2: Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración Propia.

APÉNDICE 3: Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración Propia.

ANEXOS

1. Procedimiento para determinación de humedad por horno

- a) Calentar el horno a una temperatura de 130 °C. Utilizar cajuelas de 56 mm de diámetro para harinas.
- b) Destape la cajuela y coloque sobre el plato de la balanza la base de la cajuela sobre la tapadera de la misma, boca arriba. Tarar la balanza y espere un momento para que el peso de la cajuela se estabilice. Anotar el peso de la cajuela.
- c) Pesar 3 g de muestra $\pm 0,0001$ g de la muestra, al llegar al peso retire la base de la cajuela de la balanza y tápela con su correspondiente tapadera.
- d) Abra todas y cada una de las cajuelas colocando la tapadera boca arriba y la base sobre esta e introduzca las cajuelas al horno.
- e) Coloque el cronómetro en 65 minutos y póngalo a correr. Son 5 minutos para que el horno equilibre su temperatura a 130 °C y 60 minutos del método.
- f) Al cumplirse el tiempo, transfíralas inmediatamente a la desecadora y espere 30 minutos.
- g) Saque las muestras de la desecadora con la mano y pese cada muestra lo más pronto posible utilizando la misma balanza utilizada al inicio.
- h) Realice el cálculo indicado y reporte la pérdida de peso como porcentaje de humedad.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \times 100}{\text{Peso de muestra (3 g)}}$$

2. Procedimiento para determinación de Proteína

Digestión:

- a) Pese en la balanza analítica con la espátula $1,0 \pm 0,0001$ g de harina y transfiera la harina a un frasco digestor Kjeldahl de 800 ml.
- b) Agregue 1 tableta Kjeldahl y 25 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- c) Coloque el balón en el Digestor, prolongue la digestión 40 min; al cabo de este tiempo remueva el balón y déjelo enfriar al ambiente.

Destilación:

- d) Coloque 50 mL de la solución de ácido bórico al 2 % en el Erlenmeyer de 500 mL y colóquelo en la salida del destilador.
- e) Agregue lentamente 300 mL de agua destilada al balón con la muestra y mezcle agitando con movimientos circulares.
- f) Agregue 75 ml de la solución de hidróxido al balón y 3 granallas de zinc metálico, luego coloque el balón en la Unidad de Destilación.
- g) Caliente el balón en la hornilla de la Unidad de Destilación y destile por aproximadamente 40 minutos o hasta que se completen aproximadamente 250 ml de destilado más solución de ácido bórico al 2 % (200+50).

Titulación:

- h) Coloque el Erlenmeyer sobre el agitador magnético.
- i) El color de la solución inicial debe ser verde.
- j) Titular con ácido sulfúrico titulante hasta que la solución vire a un color rosado, anote la cantidad de mililitros de solución de ácido sulfúrico titulante utilizados para el viraje de la solución.
- k) Realice el cálculo indicado en la sección 8.4 para encontrar el porcentaje de proteína de la muestra.

Cálculos:

% proteína = ml de ácido sulfúrico utilizados x factor de corrección

Factor de corrección = (Conc. ácido sulfúrico)(5,7)(1,4007).

3. Procedimiento para determinación de Cenizas

- a) Encienda la mufla y asegúrese que la temperatura fijada sea 575 °C.
- b) Pesar el crisol que se este será llamado “PESO INICIAL”.
- c) Pese 5 g ± 0,0001 g de muestra en el crisol
- d) Ingresar los crisoles con las muestras, después de colocados los crisoles dentro de la mufla coloque 8 horas en el cronómetro y actívelo.
- e) Al sonar la alarma de las 8 horas apague la mufla.
- f) Transfiera los crisoles con las pinzas directamente a la desecadora y déjelos enfriar por 30 min aproximadamente
- g) Luego saque los crisoles de la desecadora, uno por uno y péselos inmediatamente. Este valor será llamado “PESO DEL RESIDUO”.

Cálculo

$$\% \text{ CENIZA} = \frac{((\text{PESO DEL RESIDUO} - \text{PESO INICIAL}) \times 100)}{\text{PESO DE LA MUESTRA (g)}}$$

4. Procedimiento para determinación de Almidón dañado

- a) Pese en la balanza $3 \pm 0,2$ gr de Yoduro de Potasio y $3 \pm 0,2$ gr de Ácido Bórico, agregar en la botella plástica con 120mL de Agua y agitar.
- b) Agregar la solución en el vaso de reacción y coloque en el lugar de precalentamiento del equipo y agregue una gota de Tiosulfato de Sodio 0,1 M.
- c) Coloque el vaso de reacción en el área de instalación y baje el brazo del equipo.
- d) Utilizando la cuchara de plástico que proporciona el SDmatic pese $1 \pm 0,01$ g de la harina luego coloque la cuchara plástica que contiene la muestra en la ranura del SDmatic.
- e) Con el lápiz plástico presione la pantalla en el icono de Test y luego ingrese el peso de la harina, porcentaje de agua y proteína.
- f) Luego Con el lápiz plástico presione en el icono de "Test".
- g) Se desplegará una pantalla con el número de la fase del ensayo, el cronometro, las mediciones que se dan dentro del vaso de reacción, la temperatura de la solución y el indicador de calentamiento.

El ciclo del ensayo está formado de las siguientes fases:

1. Calentamiento
 2. Medición de 0 (cero)
 3. Producción de Yodo
 4. Medición de la corriente generada
 5. Introducción de la harina
 6. Medición
- h) Cuando el ciclo del ensayo se complete el equipo hará 3 "beeps".
 - i) El resultado es desplegado en la pantalla. El resultado de almidón dañado y otras dos unidades de calibración son desplegadas.

5. Procedimiento para determinación de Gluten Húmedo

- a) Pese $10 \pm 0,01$ g de la muestra, transfiera la muestra a la cámara de lavado.
- b) Agregue 4,8 mL de solución de cloruro de sodio al 2 por ciento.
- c) Presione el botón de *START: INICIO*, la secuencia de mezcla (20 segundos) y de lavado (5 minutos) procederán automáticamente.
- d) Cuando el Glutomatic se detenga, remueva la cámara de lavado y con la ayuda de las pinzas de metal retire el gluten cuidadosamente sin estirarlo o romperlo.
- e) Coloque el gluten, dentro de la parte con mayor espacio del Casette, abra la puerta de la centrífuga y coloque los cassetes con cedazo en posición dentro de la centrífuga. La parte donde fue colocada la muestra debe estar apuntando hacia adentro.
- f) Cierre la puerta de la centrífuga y presione el botón *START: INICIO* para que inicie.
- g) Después de la centrifugación, abra la puerta de la centrífuga, retire uno de los cassetes con cedazo.
- h) Utilizando la espátula de metal, raspe cuidadosamente la parte donde se encuentra el gluten que pasó a través del cedazo.
- i) Reúna todo el gluten que pasó y péselo, Este peso será el “GLUTEN DÉBIL”. Coloque el restante gluten que no pasó a través del cedazo y péselo junto al Gluten Débil para obtener la cantidad de “GLUTEN HÚMEDO”.

Cálculos:

$$\text{Porcentaje de Gluten} = \text{Gluten Húmedo} \times 10$$

6. Procedimiento para determinación de Gluten Índex

- a) Pese $10 \pm 0,01$ g de la muestra, transfiera la muestra a la cámara de lavado.
- b) Agregue 4,8 mL de solución de cloruro de sodio al 2 por ciento.
- c) Presione el botón de *START: INICIO*, la secuencia de mezcla (20 segundos) y de lavado (5 minutos) procederán automáticamente.
- d) Cuando el Glutomatic se detenga, remueva la cámara de lavado y con la ayuda de las pinzas de metal retire el gluten cuidadosamente sin estirarlo o romperlo.
- e) Coloque el gluten, dentro de la parte con mayor espacio del cassette, abra la puerta de la centrífuga y coloque los cassettes con cedazo en posición dentro de la centrífuga. La parte donde fue colocada la muestra debe estar apuntando hacia adentro.
- f) Cierre la puerta de la centrífuga y presione el botón *START: INICIO* para que inicie.
- g) Después de la centrifugación, abra la puerta de la centrífuga, retire uno de los cassettes con cedazo.
- h) Utilizando la espátula de metal, raspe cuidadosamente la parte donde se encuentra el gluten que pasó a través del cedazo.
- i) Reúna todo el gluten que pasó y péselo, Este peso será el “GLUTEN DÉBIL”. Coloque el restante gluten que no pasó a través del cedazo y péselo junto al Gluten Débil para obtener la cantidad de “GLUTEN HÚMEDO”.

Cálculos:

$$\text{Gluten Index} = \frac{(\text{Gluten Húmedo} - \text{Gluten Débil})}{\text{Gluten Húmedo}} \times 100$$

7. Procedimiento para determinación de Grasa

Preparación:

- a) Calentar el horno a 105 °C.
- b) Con papel filtro Whatman realice un abanico
- c) Abra el abanico y sobre el pese 5 ± 0,005 g de muestra.
- d) Al terminar de pesar tome el abanico, una todas las partes anchas de los triángulos que forman el abanico y colóquele 3 grapas.
- e) Coloque el abanico con la muestra dentro de una cajuela.
- f) Introduzca las cajuelas abiertas al horno, secar durante 3 horas.
- g) Luego transfiera la muestra a la desecadora y espere 30 minutos.
- h) Luego pese cada muestra este será identificado como PESO INICIAL.

Extracción:

- i) Tome el balón del sistema del Extractor y agregue aproximadamente 250 mL de Éter de Petróleo y coloque el balón en la hornilla del sistema.
- j) Introduzca la muestra con el papel filtro en la parte ancha del Soxhlet.
- k) Luego permita la extracción durante 4 horas.

Pesaje:

- l) Con las pinzas retire el abanico que se encuentra dentro del Soxhlet y coloque cada uno dentro de la cajuela luego trasladar a la desecadora.
- m) Luego introduzca las cajuelas dentro del horno a 105 °C, espere 45 minutos luego transfíralas inmediatamente a la desecadora.
- n) Luego de 20 a 25, saque las muestras de la desecadora y pese cada muestra, el peso registrado será identificado como PESO FINAL.

Cálculo

$$\% \text{ grasa} = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \times \text{Peso de muestra (5 g)}$$

8. Procedimiento para determinación de Acidez Grasa

- a) Extraer la grasa de la muestra.
- b) Una vez concluido la extracción de la grasa, conserve los balones ya que Los balones del sistema Extractor serán los utilizados para la determinación de acidez grasa.
- c) Coloque los balones del sistema Extractor, por 20 minutos dentro del horno para evaporar el Éter de Petróleo.
- d) vierta 50 mL de solución TAF dentro del balón del sistema Extractor.
- e) Vierta aproximadamente 15 mL de la solución de KOH 0,0178 N del beaker en la bureta de 50 mL
- f) Introduzca el magneto previamente lavado con agua destilada dentro del balón del sistema Extractor.
- g) Coloque el balón sobre el agitador magnético
- h) Titule con la solución de KOH 0,0178 N hasta que la solución vire de transparente a un color lila.
- i) Anote la cantidad de mililitros de solución de KOH 0,0178 N utilizados para el viraje de la solución
- j) Realice el cálculo para encontrar los mg de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres de 100 g de muestra.

Cálculos:

$\text{mg KOH}/100\text{g} = \text{ml de KOH } 0.0178 \text{ N utilizados} \times \text{factor de corrección} \times 10$

9. Procedimiento para determinación de *Falling Number*

- a) El peso de la muestra a analizar depende de su contenido de humedad. El método ha sido establecido para pesar muestras de 7,00 g \pm 0,01 con 15,0 \pm 0,2 por ciento de humedad.
- b) Si la muestra varía de la humedad de 15 por ciento se debe realizar una corrección del peso para realizar el análisis, según la tabla “Corrección del Peso de Muestra para *Falling Number*”.
- c) Pese el peso determinado según la corrección realizada.
- d) Transfiera la muestra a un tubo visco simétrico luego adicione en el tubo visco simétrico 25 mL \pm 0,2 mL.
- e) Coloque un tapón de hule seco en la boca del tubo visco simétrico y agite vigorosamente (10 segundos, aproximadamente).
- f) Quite el tapón de hule y raspe con la varilla viscosimétrica cualquier residuo de la parte baja del tapón dejándola caer dentro del tubo.
- g) Coloque el tubo y varilla dentro del baño de agua del aparato.
- h) Hale la torre de agitación hacia adelante inmediatamente después de colocado el tubo en el baño de agua hirviendo. El análisis iniciará automáticamente.
- i) Cuando la varilla es detectada, un beeper suena para indicar que el análisis está completo. La torre es liberada y automáticamente cae a su posición inicial.
- j) Anote el dato que se presenta en la pantalla del equipo (segundos).

Nota: El valor *Falling Number* es definido como el tiempo total en segundos, desde la inmersión del tubo visco simétrico dentro del baño de agua, hasta que la varilla visco simétrica cae la distancia preestablecida a través de la suspensión gelatinizada.

10. Procedimiento para determinación de Fungal Falling Number

- a) Utilice el Buffer de Acetato pH 5,3 , la cantidad de muestra a analizar depende de la humedad determinada para la misma.
- b) pese $5\text{ g} \pm 0,01$ de muestra y $4\text{ g} \pm 0,01$ de sustrato de almidón de papa Perten.
- c) Con la ayuda de la espátula homogenice la muestra y el sustrato hasta que no se observen grumos luego transfiera la mezcla a un tubo viscosimétrico usando un embudo plástico.
- d) Colóquele un tapón de hule al tubo visco simétrico y agítelo de forma vertical 10 veces el contenido.
- e) Agregue al tubo $30\text{ mL} \pm 0,2\text{ mL}$ de Solución Tampón de Ácido Acético/Acetato Cálcico y agite vigorosamente (10 segundos, aproximadamente).
- f) Coloque el tubo y varilla dentro del baño de agua del aparato.
- g) Hale la torre de agitación hacia delante inmediatamente después de colocado el tubo en el baño de agua hirviendo. El análisis iniciará automáticamente.
- h) Cuando la varilla es detectada, un beeper suena para indicar que el análisis está completo. La torre es liberada y automáticamente cae a su posición inicial.
- i) Al finalizar el ensayo se escuchará un beeper.
- j) Presione el botón "*STOP*" para detener el beeper.
- k) anote el dato que se presenta en la pantalla del equipo.

11. Procedimiento para determinación de Granulometría

Método 65323-E con Cernidor Tipo MLU 300

Tela de Seda	Abertura en micrones	Conversión US Mesh
6XX	219	70
8XX	183	80
10XX	130	120
15XX	85	200

- a) Para cuantificar el porcentaje de muestra que pasa a través de la tela se debe utilizar un bastidor con bandeja de metal debajo de cada uno de los bastidores con las telas a utilizar.
- b) Pese 50 gramos de muestra luego traslade la muestra pesada hacia el cernedor y agréguela sobre la tela colocada en el cernedor.
- c) Coloque un bastidor con bandeja de metal sobre el bastidor donde se agregó la muestra y, sobre éste, el bastidor que sostiene la tela siguiente.
- d) Repita hasta completar todas las telas.
- e) Active el cronómetro del equipo para que funcione por 10 minutos y enciéndalo.
- f) Al transcurrir el tiempo fijado, el cernedor se detendrá de forma automática.
- g) Agregue la harina retenida en la tela, sobre una hoja de papel de forma que toda la harina en la bandeja sea trasladada
- h) Lea el peso de la muestra y anótelo.

Calculo:

$$\text{Porcentaje retenida} = \frac{(\text{Peso de muestra en la tela} * 100)}{\text{Peso de muestra}}$$

12. Procedimiento para determinación de Farinógrafo

- a) Abra la ventana de "*Test Parameters*"
- b) Con el puntero del mouse, coloque el cursor en la casilla "*Moisture Content*", Ingrese el porcentaje de humedad de la muestra.
- c) En la opción "*Time of Test*" coloque 20 minutos.
- d) Coloque el cursor en la casilla "*Water Absorption*" e Ingrese el porcentaje de absorción de agua que cree será necesaria para la muestra analizada.
- e) Con el puntero del mouse presione el botón "*Star Test*"
- f) Pese la cantidad de muestra corregida por la computadora en el inciso traslade la muestra pesada hacia la amasadora del Farinógrafo y abra la tapadera que la cubre.
- g) Presione al mismo tiempo los dos botones verdes que se encuentran en la parte inferior de la amasadora. Al haberlos presionado, las aspás deberán iniciar su rotación
- h) Presione la tecla de "*Enter*" en el teclado de la computadora, para que el equipo inicie a registrar el minuto necesario de homogeneización dentro de la amasadora.
- i) Adicione agua en la bureta especial a 30 °C.
- j) Gire la base que sostiene la bureta especial hasta que la parte inferior de la misma coincida con la ranura derecha de la tapadera de la amasadora.
- k) Gire la llave de paso de la bureta y permita que el líquido inicie su mezcla con la harina. Permita que fluya agua hasta que el menisco del líquido quede en el porcentaje de agua equivalente al necesario para la muestra. Al llegar a este punto cierre la llave de paso.
- l) Con la ayuda de la espátula de plástico raspe las paredes de la amasadora, introduciéndola en las ranuras de la tapadera de la misma.

- m) Coloque la tapa plástica de la tapadera de la amasadora. Permita que el ensayo se desarrolle.
- n) En la parte inferior de la pantalla aparecerá la consistencia de la masa, la cual debe encontrarse entre 485 y 530 FU después de 6 minutos de amasado.
- o) Si después de 6 minutos de amasado la consistencia se encuentra dentro del rango, permita que el ensayo termine.
- p) Al aparecer la ventana de pregunta para detener el ensayo, posicione el puntero del mouse en el botón “YES” (Si). Aparecerá una ventana de “*END OF TEST*”
- q) Al finalizar el ensayo el programa de correlación de la computadora genera una gráfica, la cual se conoce como Farinograma.

Descripción de Parámetros Obtenidos

Absorción de Agua:

Es la cantidad de agua requerida para centrar la curva del farinógrafo en la línea de 500 Unidades Farinográficas (FU). Esto se relaciona con la cantidad de agua necesaria para procesar la harina y obtener los productos finales óptimos.

Período de Desarrollo:

Indica el tiempo que la mezcla de harina y agua tarda en formar la fase continua de proteína hidratada, alcanzando su consistencia óptima.

Estabilidad:

Se refiere al tiempo durante el cual se conserva la consistencia óptima, es decir, sobre la línea de las 500 FU.

13. Procedimiento para determinación de Alveograma

- a) El baño re circulante de agua debe estar a una temperatura de 25 °C.
- b) Pese 250 ± 0,1 g de muestra luego Traslade hacia la amasadora.
- c) Encienda la amasadora con el botón de marcha colocado en el tablero. El brazo de la amasadora iniciará a girar y el cronómetro iniciará su marcha.
- d) Durante la homogeneización llene la bureta con agua salina hasta que la parte baja del menisco coincida con la línea del porcentaje de humedad de la muestra.
- e) Después del proceso de homogeneización y ya teniendo la bureta llena, detenga la marcha de la amasadora y oprima el botón de reinicio del cronómetro.
- f) Ponga de nuevo en marcha la amasadora e inmediatamente gire la llave de paso de la bureta y permita que el líquido inicie su mezcla con la harina. Permita que fluya la totalidad de la solución salina.
- g) Mientras la amasadora realiza su trabajo prepare el material para la extracción de los bastones, Coloque 5 placas de reposo a un lado de los cuadros de laminado y la placa de extracción en el pasaje de extracción.
- h) Con el dispensador de aceite de oliva, agregue aceite a lo largo de cada cuadro de laminado en las placas de vidrio.
- i) Al completarse el minuto 8 en el cronómetro prepare la extracción.
- j) Abra la compuerta de extracción y Apague la marcha de la amasadora.
- k) Mueva el botón de movimiento del aspa de la amasadora hacia abajo.
- l) Encienda la marcha de la amasadora.
- m) El aspa iniciará a sacar la masa poco a poco en forma de cinta, por el pasaje de extracción.

- n) Cuando la masa alcance las muescas de la placa de extracción, con la espátula de metal, córtela rápidamente en la parte del pasaje de extracción.
- o) Extraiga sucesivamente 5 pastones, sin detener el motor, colocando cada vez la placa de extracción, previamente aceitada con una gota de aceite de oliva, en su lugar.
- p) Detenga la marcha del motor, apagándolo.
- q) Lamine los cuatro bastones (2 + 2) con el rodillo de acero, haciéndolo deslizar sobre los rieles, 12 veces seguidas
- r) Hunda, a fondo el sacabocados en el centro de cada pastón. Retire la masa que queda alrededor e incline el sacabocados para que el bastón caiga en la placa de reposo destinada a recibirla.
- s) Lamine y recorte el quinto pastón.
- t) Deje reposar los pastones sobre las placas de reposo dentro de la cámara de reposo durante 20 minutos.
- u) El ensayo debe comenzar, exactamente 28 minutos después del comienzo del amasado.
- v) La platina de metal debe encontrarse desenroscada de los pernos guía.
- w) Agregue una gota de aceite de oliva a la parte fija de la platina de metal y espárzala con la yema del dedo sin tocar el bisel interior.
- x) Aceite de igual forma la cara interna de la tapa de la platina de metal.
- y) Haga deslizar el primer bastón sobre la parte fija de la platina de metal.
- z) Coloque la tapa de la platina de metal, enrósquela lentamente y ajústela.
- aa) Enrosque la platina de metal haciendo girar la manecilla 360 grados, de tal forma que el pastón sea aplastado, desenrosque y retire la tapa de la platina de metal.

bb) Observe cuidadosamente la bola de masa y cuando sea evidente la ruptura de su superficie, mueva la manecilla del manómetro a posición 1 para detener el suministro de aire.

Descripción de Parámetros Obtenidos

Al finalizar el ensayo el programa del Alveolink genera una gráfica, la cual se conoce como Alveograma.

Presión Máxima, “P”:

Conocido como tenacidad de la masa; representa la resistencia de la masa a la deformación. Mientras más alto el valor mayor la resistencia de la masa.

Extensibilidad:

Es la abscisa de ruptura de cada curva, en milímetros, sobre la línea cero, partiendo del origen de las curvas hasta el punto que corresponde perpendicularmente al punto de la curva en donde se aprecie claramente la caída de la presión, debida a la ruptura de la bola. La media de abscisas en el punto de ruptura de las curvas representa la longitud “L”. La fracción del gluten presente en la harina de trigo, llamada gliadina, es responsable de este parámetro.

Trabajo de deformación, “W”:

Es el área promedio bajo las curvas. Se define como el trabajo de deformación de la masa respecto de un gramo de masa, representado por el símbolo “W” y evaluado en julios $\times 10^{-4}$.

Fuente: *Approved Methods of AACC. 10 th Ed, 2 vols. American Association of Cereal Chemists, Inc*