



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**



---

**Caracterización de flujos de harina de trigo (*Triticum aestivum*) de cada pasaje de molienda en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.**

---

Trabajo de titulación, modalidad: Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, previa la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

**Autora:** Ana Sofia Puma Araujo

**Tutora:** Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

**Ambato – Ecuador**

**Junio - 2017**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

### **CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 05 de mayo del 2017



---

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

**TUTORA**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ana Sofia Puma Araujo, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



---

Ana Sofia Puma Araujo

C.I. 1723724918

**AUTORA**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de línea patrimonial de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



---

Ana Sofía Puma Araujo

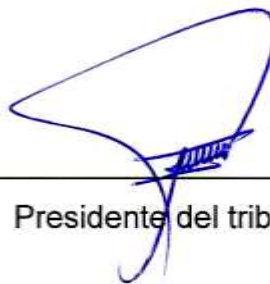
C.I. 1723724918

**AUTORA**

## APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación Modalidad Experiencia Práctica de Investigación y/o Intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del tribunal



Mg. Silvia Janneth Sánchez Vélez

C.I. 1803058013



Mg. Cecilia Mercedes Carpio

C.I. 1704627650

Ambato, 12 de mayo de 2017

## DEDICATORIA

A mi mamita que ha sido mi gran apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y vida, que a más de ser una excepcional madre ha sido mi mejor amiga, a la cual admiro y amo, sin ella no hubiera sido posible ser la persona que soy.

A mi papá oso, el hombre que me demostró que el esfuerzo, entrega, constancia es símbolo de amor al trabajo y a la vida, siempre estarás en mi mente y corazón.

*“Sin motivación no hay sacrificio,  
sin sacrificio no hay disciplina  
y sin disciplina no hay éxito”.*

## AGRADECIMIENTO

Gracias a la vida que me regalo la dicha de aventurarme a conocer, explorar, sentir, querer, amar en otra ciudad de mi bello país, de formarme no solo a nivel profesional sino en el aspecto personal como individuo en constante crecimiento.

A mi familia a mi madre Loly, por tenerme paciencia, por darme su amor y comprensión, a mi padre Emerson por ser un ejemplo de fuerza y valentía a seguir, a mis hermanos: a Beto mi mejor amigo con el cual eh compartido toda mi vida gracias por estar ahí, a Santy por ser un ejemplo a seguir y estar pendiente de mí dispuesto a aconsejarme a pesar de la distancia, a mi hermano Raúl, tío Ángel y abuelitos por sus consejos y motivación.

A mi tutora Ing. Mayra Paredes por su motivación, su ayuda con el desarrollo y culminación de mi trabajo.

A todo el personal que conforma la empresa “Molinos e Industrias Quito”, en especial a la Ing. Mireya Moya por brindar su asesoría, su conocimiento y colaboración para la realización de mi trabajo.

A la empresa “Molinos Miraflores” por gentilmente darme la apertura para la ejecución de uno de los análisis experimentales importantes dentro del trabajo de titulación.

A todos los docentes que conforman y conformaron la FCIAL gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mi ladys gracias por su amistad por tantos momentos inolvidables que viví con cada una de ustedes “chulla vida”, espero sigamos en contacto las quiero mucho. Y a todos mis amigos y compañeros que conocí durante mi vida estudiantil sea dentro y fuera de las aulas gracias por los momentos compartidos.

*“Nuestras vidas se definen por las oportunidades que elegimos y aún más por las que dejamos ir”.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1. Tema:.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. General .....	2
1.3.2. Específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Antecedentes Investigativos .....	3
2.2. Señalamiento de variables de la hipótesis .....	6



CAPÍTULO III.....	7
MATERIAL Y MÉTODOS .....	7
3.1. Materiales.....	7
3.1.1. Materia Prima.....	7
3.1.1.1. Descripción del Proceso .....	9
3.1.2. Equipos utilizados en los análisis .....	15
3.1.3. Reactivos .....	15
3.1.4. Insumos y utensilios .....	16
3.2. Métodos .....	16
3.2.1. Análisis de parámetros físico-químicos .....	16
3.2.2. Análisis de parámetros reológicos .....	20
3.3. Fundamento Estadístico .....	23
CAPÍTULO IV .....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.1. Análisis y Discusión de los Resultados.....	26
4.1.1. Análisis de parámetros físico-químicos .....	26
4.1.2. Análisis de parámetros reológicos .....	39
CAPÍTULO V .....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
5.1. Conclusiones.....	48
5.2. Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	51
ANEXO A .....	61
TABLA DE DATOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA .....	61

ANEXO B .....	63
RESPUESTAS EXPERIMENTALES DEL ANÁLISIS FARINOGRÁFICO (FARINOGRAMAS) .....	63
ANEXO C .....	73
FOTOGRAFÍAS DE LA PARTE EXPERIMENTAL Y DE LAS INSTALACIONES DE “MOLINOS E INDUSTRIAS QUITO” .....	73
ANEXO D .....	78
PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y FARINOGRÁFICAS.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina de trigo..</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. Representación anatómica del grano de trigo.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Curva típica del farinógrafo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4. Farinogramas de dos clases de harinas de trigo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. Farinogramas de harina de trigo de acuerdo a su fuerza y elasticidad.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6. Porcentaje de humedad (%) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. Gráfico de control de la humedad (%) de la harina de trigo final .</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Ensayo de granulometría (%) malla #7 de los pasajes de molienda.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9. Ensayo de granulometría (%) malla #9 de los pasajes de molienda.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10. Gráfico de Control del ensayo de granulometría (malla #7) de la harina de trigo final.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11. Gráfico de Control del ensayo de granulometría (malla #9) de la harina de trigo final.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12. Porcentaje de cenizas (%) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13. Gráfico de Control del contenido de cenizas (%) de la harina de trigo final.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14. Porcentaje de almidón dañado (%) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Gráfico de Control del porcentaje de almidón dañado (%) de la harina de trigo final.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16. Absorción de agua (%) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17. Tiempo de desarrollo (min) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 18. Grado de decaimiento (UF) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Estabilidad (min) de los pasajes de molienda.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Gráfico de Control de la absorción (%) de la harina de trigo final.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21. Gráfico de Control del tiempo de desarrollo (min) de la harina de trigo final.....</i>	<i>43</i>

<i>Figura 22. Gráfico de Control del Aflojamiento (UB) de la harina de trigo final.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 23. Gráfico de Control del Estabilidad (min) de la harina de trigo final .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 24. Color de la harina de trigo de cada pasaje de molienda.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 25. Color de la harina de trigo final .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 26. Farinograma de R1 .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 27. Farinograma de R2 .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 28. Farinograma de R3.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 29. Farinograma de R4.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 30. Farinograma de ZIZ .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 31. Farinograma de CMD .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 32. Farinograma de A1 .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 33. Farinograma de A2 .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 34. Farinograma de B1 .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 35. Farinograma de B2 .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 36. Farinograma de C.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 37. Farinograma de D.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 38. Farinograma de FB/2 .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 39. Farinograma de E.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 40. Farinograma de G.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 41. Farinograma de H.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 42. Farinograma de la Harina Final.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 43.a Centrifuga de harina de trigo; b Bancos de Molienda.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 44. a Sifter de seguridad; b Plansifter .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 45. a Silo de almacenamiento de harina; b Suministro de agua.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 46. a Purificador; b Zaranda .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 47. Área de embalsamiento de harina de trigo.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 48. Determinación de Humedad .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 49. Ensayo de Granulometría .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 50. Ensayo de farinografía.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 51. Determinación de cenizas.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 52. Análisis de almidón dañado .....</i>	<i>77</i>

*Figura 53. SDmatic equipo para análisis de almidón .....82*

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores de Cp. y su interpretación .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Datos experimentales del porcentaje de humedad de los pasajes de molienda. ....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Resultados del ensayo de granulometría de la malla #7 (200 <math>\mu</math>m) de los pasajes de molienda. ....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Resultados del ensayo de granulometría de la malla #9 (150 <math>\mu</math>m) de los pasajes de molienda .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5. Datos experimentales del porcentaje de cenizas de los pasajes de molienda. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6. Datos experimentales del porcentaje de almidón dañado de los pasajes de molienda. ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Resultados de los ensayos farinográficos .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8. Resultados de las especificaciones de las características físico-químicas y reológicas de la harina final .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Resultados de las características físico-químicas y requisitos de la harina final .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10. Datos experimentales del ensayo de granulometría de los pasajes de molienda. ....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 11. Tabla de Corrección de Peso de Harina para 300 g al 14% .....</i>	<i>87</i>

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad evaluar las características fisicoquímicas: humedad, cenizas, almidón dañado, granulometría y propiedades farinográficas: absorción de agua, estabilidad, tiempo de desarrollo y grado de decaimiento o índice de tolerancia al mezclado (ITM) de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) de cada pasaje de molienda de “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.” con el fin de determinar la influencia de cada etapa de molienda y tamizaje en la calidad de la harina final. Además, se estableció especificaciones de calidad de la harina de trigo para panificación bajo modelos estadísticos adecuados.

Las características fisicoquímicas y farinográficas se representaron en gráficos la humedad, cenizas y almidón dañado determinados por la procedencia de los pasajes de molienda ya sea de la etapa de trituración o de reducción, siendo los pasajes H y E de los últimos lisos los que afectan en menor proporción a la calidad de la harina final. Por otro lado, se determinó los factores que influyen sobre los ensayos farinográficos son almidón dañado, fuerza del proceso de molienda, tipo de trigo (blando y duro) y el contenido de proteína en la harina de trigo.

Finalmente, con la aplicación de gráficos de control y el índice de capacidad del proceso se determinó que es estable y potencialmente capaz, además, las especificaciones de las características fisicoquímicas y farinográficas de la harina panadera cumplen con las Normas INEN 616 y Normas CODEX 152.

**Palabras claves:** harina de trigo, molienda, características fisicoquímicas, propiedades farinográficas, Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physicochemical: moisture, ash, damaged starch, granulometry and farinographic characteristics (water absorption, stability, development time and grade of decay or mixing tolerance index (MTI) of wheat flour (*Triticum aestivum*) from each grinding passage of "Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda." in order to determine the influence of each stage of grinding and screening on the quality of the final flour. Furthermore, it was established quality specifications of wheat flour for baking under appropriate statistical models.

The physicochemical and farinographic characteristics were represented as graphic of moisture, ash and damaged starch determined by the provenance of the grinding passages, either from the crushing or reduction stage, where the passages H and E from the last smooth ones affect in lower proportion to the quality of the final flour. On the other hand, it was determined that the factors influencing the farinographic tests are damaged starch, grinding process strength, type of wheat (soft and hard) and protein content in wheat flour.

Finally, with the application of control graphs and the process capacity index it was determined that it is stable and potentially capable, in addition, the specifications of the physicochemical and farinographic characteristics of the baking flour comply with the INEN 616 and CODEX 152 Standards.

**Key words:** wheat flour, grinding, physicochemical characteristics, farinographic propertie, Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.



## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum*) es considerado uno de los alimentos básicos más influyentes en el mundo y el más usado en el sector panadero (Villanueva, 2014)

Según la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), la utilización mundial del trigo en el año 2016 fue de 734,3 millones de toneladas, se estima que en el 2017 será de 736,5 millones de toneladas lo que denota un incremento de 2,2 millones de toneladas, es decir, un 0,3% más de la utilización de trigo a nivel mundial.

Así mismo este cereal es ampliamente utilizado en la industria molinera del Ecuador, el 98% del grano que se destina a su molienda es importado de países como Canadá y EEUU que son los principales mercados de abastecimiento. En el 2014 llegó a importar unas 624 000 toneladas de trigo para abastecer a las empresas productoras de pastas, fideos, galletas y principalmente de panificación. Según un estudio efectuado por la Asociación Ecuatoriana de Molineros (Asemol) la demanda anual del trigo se incrementa de 2-3% (Moreta, 2015)

La empresa de estudio se encuentra ubicada actualmente en Ecuador en la provincia de Pichincha, cantón Quito, Sangolquí vía Amaguaña con el nombre de “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.” se dedica a la elaboración y venta de productos de molienda que son la harina de trigo para panificación, harina integral pura y lista, también subproductos como el moyuelo y afrechillo.

Se considera al trigo de especial interés en el sector panadero, debido a que de todos los cereales sólo de él se obtiene harinas capaces de formar masas resistentes, viscoelásticas y cohesivas, con habilidad de retención de gases producidos por fermentación y aumento de volumen (Herrera y Peña, 2006).

Por ello es fundamental saber la constitución del grano de trigo y que partes son usadas y cuales son descartadas para la elaboración de harina para panificación. Enríquez (2012) menciona, el grano de trigo está formado por 3 partes: el endospermo que constituye el 83,0% de la semilla es rico en carbohidratos y es usado para transformarlo en harina, el salvado o pericarpio representa alrededor del 14,5% de la semilla, contiene trazas de minerales y ciertas fibras dietéticas y el germen o embrión el 2,5% se separa del endospermo debido a que contiene grasas que afectan la conservación de la harina.

Por lo tanto, según Barrera (2014), la harina de trigo es producto de la molienda gradual y sistemática de los granos de trigo, mientras se da la separación de las impurezas hasta llegar a un grado de extracción idóneo, es decir, eliminar el salvado y germen mediante la molturación y cernido.

Por otro lado, la molienda se basa en separar la mayor proporción de endospermo del grano de trigo y transformarlo en harina con la mínima contaminación de salvado (Gil y Majem, 2010).

Villanueva, Leong, Posner, y Ponte (2001) enuncian que mientras se da la ruptura del grano de trigo, se efectúa la recuperación de endospermo adherido al salvado y finalmente la reducción del endospermo a harina generando numerosas corrientes de productos que conforman el diagrama de molienda industrial. En el transcurso del proceso de molienda se va intercalando equipos para la molturación (molinos de rodillos) que trituran y desgarran el grano, tamices (cernidores o plansifters) y equipos para la clasificación y purificación de las distintas fracciones (sadores y cepilladoras de salvado) (Culbertson, 2004).

Después de cada etapa de reducción de tamaño, el material se dirige a la zona de tamices para la separación de las distintas fracciones, al inicio de acuerdo a su tamaño y finalmente según su densidad (Villanueva et al., 2001), obteniéndose en cada pasada diferentes fracciones de harinas que juntas constituyen la harina final (Ferrerías, 2009).

Como lo enuncia Serna (1996) los cereales desde su cosecha hasta llegar al consumidor están sujetos a medidas de calidad, ya que el control de calidad en las industrias molineras de harina es fundamental por estar vinculadas con las características fisicoquímicas, reológicas, rendimiento de productos intermedios y terminados.

En cuanto al desempeño de la harina de trigo, según Gil y Serra (2010), depende de la variedad, la localidad de la producción y el almacenamiento. Así como la calidad molinera del trigo está dada por el rendimiento y pureza de la harina, los mismos que dependen de la eficiencia de la separación del endospermo y salvado, de la resistencia a la fragmentación del salvado, de la fragilidad del endospermo y de la facilidad del tamizado de la harina (Seghezzi, 2014).

Con respecto al proceso de rotura, según Enríquez (2012) es el paso más crucial en el sistema de la molienda en cuanto al rendimiento y calidad. El modo de trituración del grano afecta a las operaciones consecutivas como el cernido y purificación, tanto en la distribución de partículas por tamaño como en la cantidad de salvado presente en el producto, además, es determinante en ciertos parámetros de la calidad por ejemplo en la cantidad de cenizas, granulometría, humedad, contenido de almidón dañado y en la conducta farinográfica.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Tema:

Caracterización de flujos de harina de trigo (*Triticum aestivum*) de cada pasaje de molienda en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.

### 1.2. Justificación

En la actualidad las industrias productoras de harina de trigo para panificación poseen nuevas y mejoradas tecnologías para la obtención de este producto, incluso a nivel nacional ha ido evolucionando, de modo que incrementa la competitividad de este sector industrial (Fischer, Ramos y Manjarrés, 2013). Frente a esta realidad “Molinos e Industrias Quito” ve la necesidad de adquirir otras instalaciones que le permitan implementar nuevas tecnologías y optimizar su proceso. Por lo tanto, resulta imprescindible disponer de un patrón de la calidad habitual de la harina panadera que comercializan (Muñoz y Quezada, 2002).

La caracterización de flujos de cada pasaje de molienda consiste en identificar las condiciones en las cuales se desenvuelve el proceso de molienda y los factores que intervienen en la calidad de la harina de cada pasaje, para levantar la línea base de los parámetros más importantes que controlan el desempeño y el uso de una harina. Se propone como parámetros a evaluarse: el porcentaje de humedad, granulometría, contenido de cenizas, porcentaje de almidón dañado y el comportamiento farinográfico, los cuales definen el comportamiento fisicoquímico y viscoelástico de una masa de harina y agua (Ram, Dawar, Singh y Shoran, 2005).

Al llevar a cabo la evaluación de los parámetros mencionados, se establecerá las especificaciones de calidad de la harina que comercializa “Molinos e

Industrias Quito”, proporcionando una guía para la implementación de control de calidad de la harina de trigo en las nuevas instalaciones de la empresa.

Entonces el presente trabajo de titulación tiene como finalidad evaluar las características de las diferentes harinas obtenidas en los pasajes del proceso de molturación y conocer la influencia de cada etapa en la calidad final de la harina de trigo refinada obtenida en los “Molinos e Industrias Quito”, generando así un patrón del proceso de molienda a reproducir. Adicionalmente, contribuirá al conocimiento del estado y calibración de la maquinaria de la industria molinera evidenciando el cumplimiento de los estándares de cada sección del molino. Finalmente, esta información facilitará la toma de decisiones preventivas y correctivas logrando mejorar la calidad de la harina sin generar mayores costos.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Caracterizar los flujos de harina de trigo (*Triticum aestivum*) de cada pasaje de molienda en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.

#### **1.3.2. Específicos**

- Evaluar las características fisicoquímicas de los flujos de la harina de trigo de cada pasaje de molturación en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.
- Determinar los factores que influyen en las características farinográficas de la harina de trigo de cada pasaje de molturación en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.
- Establecer las especificaciones de la calidad actual de la harina de trigo de cada pasaje de molturación en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda.”.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes Investigativos**

Según la Asociación Ecuatoriana de Molineros (ASEMOL, 2016), el trigo junto con otros cereales son de gran importancia en Ecuador, el consumo nacional de trigo supera las 450 000 Tm/año. Esto demuestra que es altamente usado para la elaboración de diversos productos y ha dado lugar a que se establezcan una a una las empresas molineras en el país, a lo largo de la historia industrial del Ecuador, con el aporte de grandes inversiones en capital humano y tecnología. En la actualidad ofertan productos con altos estándares de calidad que permiten satisfacer la demanda nacional de los principales productos farináceos.

Considerando lo dicho, se precisa realizar evaluaciones de las características fisicoquímicas y propiedades reológicas, con el fin de mejorar la calidad de la harina panadera como demuestran los estudios que se describen a continuación:

Calderón et al. (2006), en su investigación sobre la “Evaluación de la Calidad de diferentes fracciones de trigo obtenidas en los distintos pasajes del proceso de molienda”, han determinado que es un proceso complejo que implica diferentes pasajes diseñados para optimizar la calidad del producto final. Por ello el estudio de las características fisicoquímicas de cada fracción: Roturas (R), Sasores (S), Primeros Lisos (PL), Últimos Lisos (UL) permite optimizar la molienda para mejorar el rendimiento y calidad de las mismas, por ende, estandarizar ciertos parámetros que indican el estado y calibración de la maquinaria implicada.

Gambarotta (2005) en su estudio de la “Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades químicas y reológicas de las

fracciones de trigo pan obtenidas en el molino experimental Buhler Mlu-202”, demostró que se obtiene el conocimiento de la composición y el comportamiento reológico de cada fracción de harina, además el realizar estos análisis permite observar claramente el cumplimiento de los objetivos de cada sección del molino.

Por otro lado, en relación a las propiedades reológicas, Ferreras (2009), efectuó un estudio sobre los “Análisis reológicos de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo” y concluyó que las harinas obtenidas durante la molturación del trigo poseen gran variabilidad cada una de ellas, de las cuales unas aportan buenas características panaderas mientras otras, aunque en baja proporción hacen disminuir su calidad, además las primeras trituraciones y compresiones contribuyen a brindar mayor porcentaje de extracción que da lugar a fracciones con mayor calidad reológica.

En cuanto a las características fisicoquímicas, Vásquez y Matos (2009), manifiestan que los análisis fisicoquímicos en las harinas de trigo son propicios para mostrar su comportamiento en el proceso de panificación.

A continuación, se citarán varios autores que mencionan de forma específica la importancia de la evaluación de ciertas características fisicoquímicas y reológicas en la harina de trigo, además de establecer que factores del proceso y de la calidad del producto final influyen en cada uno de los parámetros evaluados.

Guittieri, Stark, O'Brien y Souza (2001) enuncian que el porcentaje de humedad presente en la harina de trigo es un factor importante porque influye en la vida útil, producción y calidad del producto final de molienda, la harina.

Con respecto al contenido de cenizas Barrera, Bassi, Reyes, León y Ribotta (2012) manifiestan que el salvado está constituido químicamente por una porción elevada de minerales y fibras, por consiguiente, la determinación de

cenizas permite clasificar las fracciones de harinas por el grado de extracción; es decir la cantidad de cenizas muestra el rendimiento de la molienda al mismo tiempo que manifiesta el grado de contaminación por salvado en la harina (USDA, 2013).

En cuanto al porcentaje de almidón dañado, Hevia (2003), menciona que este porcentaje es considerado un índice de calidad de la molienda porque varía con la severidad o fuerza del proceso, incluso en la panificación influye en la textura de la masa.

Acerca del parámetro granulométrico, Ferreras (2009), establece en su investigación que la granulometría detalla específicamente el tamaño de partícula, además es importante para definir la calidad final del producto y la uniformidad de la molienda.

Finalmente, en lo concerniente a las propiedades reológicas, Baños (2013), menciona que permiten establecer cuál es el comportamiento de la masa de harina de trigo, cuando se la somete a una manipulación mecánica, así como también conocer que influencia tiene en la calidad final del producto.

Además, la calidad panificable de una harina se establece por medio de una serie de pruebas de laboratorio donde se evalúan sus propiedades reológicas, capacidad de absorción de agua, sus propiedades físicas y comportamiento tecnológico durante el proceso de panificación (Menkovska, Knezevic y Ivanoski, 2002).

Por consiguiente, el estudio en profundidad de cada uno de los pasajes de una fábrica de harinas resulta imprescindible para diferenciar que fracciones de harina y que características proporcionan a la harina final cada etapa del proceso, así mismo provee información del funcionamiento de un sistema de molienda en general y más concretamente de la posibilidad que ofrece la fábrica estudiada en la obtención de harinas homogéneas, su mejora, su diversificación o su rentabilidad económica (Enriquez, 2012).



## **2.2. Señalamiento de variables de la hipótesis**

**Variable Independiente:** El proceso de molienda de la harina de trigo

**Variable Dependiente:** Parámetros fisicoquímicos y farinográficos

**Unidad de Observación:** Molinos e Industrias Quito

# CAPÍTULO III

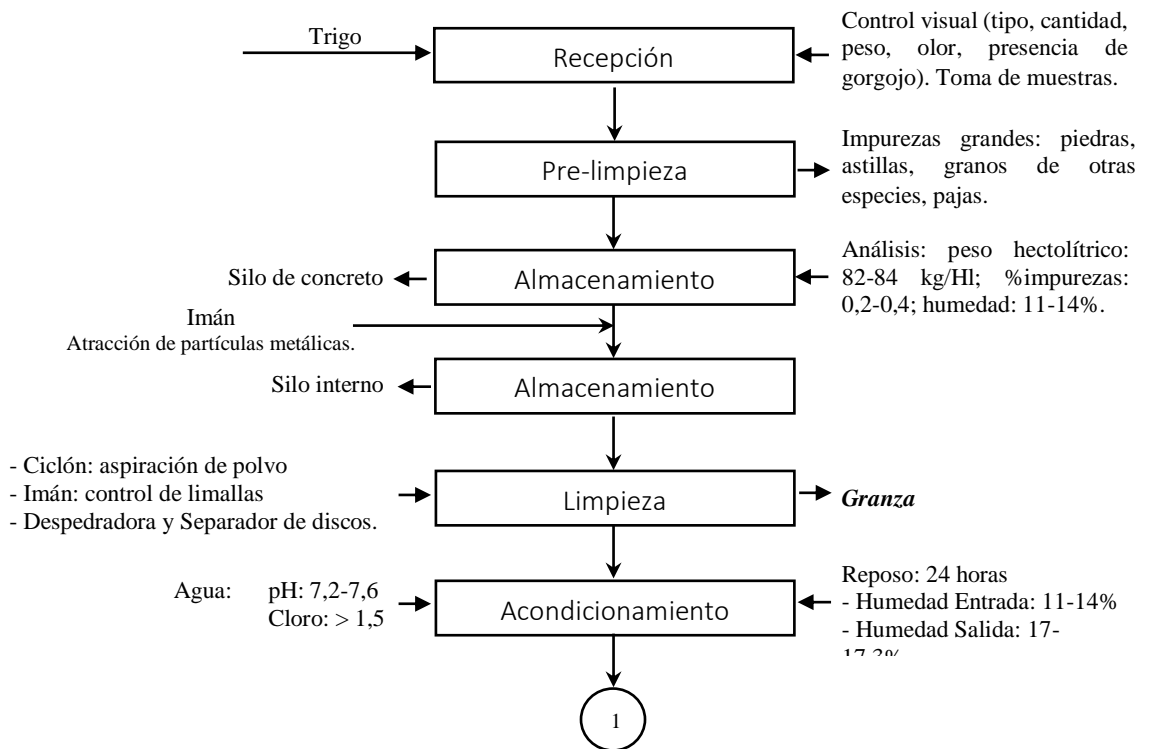
## MATERIAL Y MÉTODOS

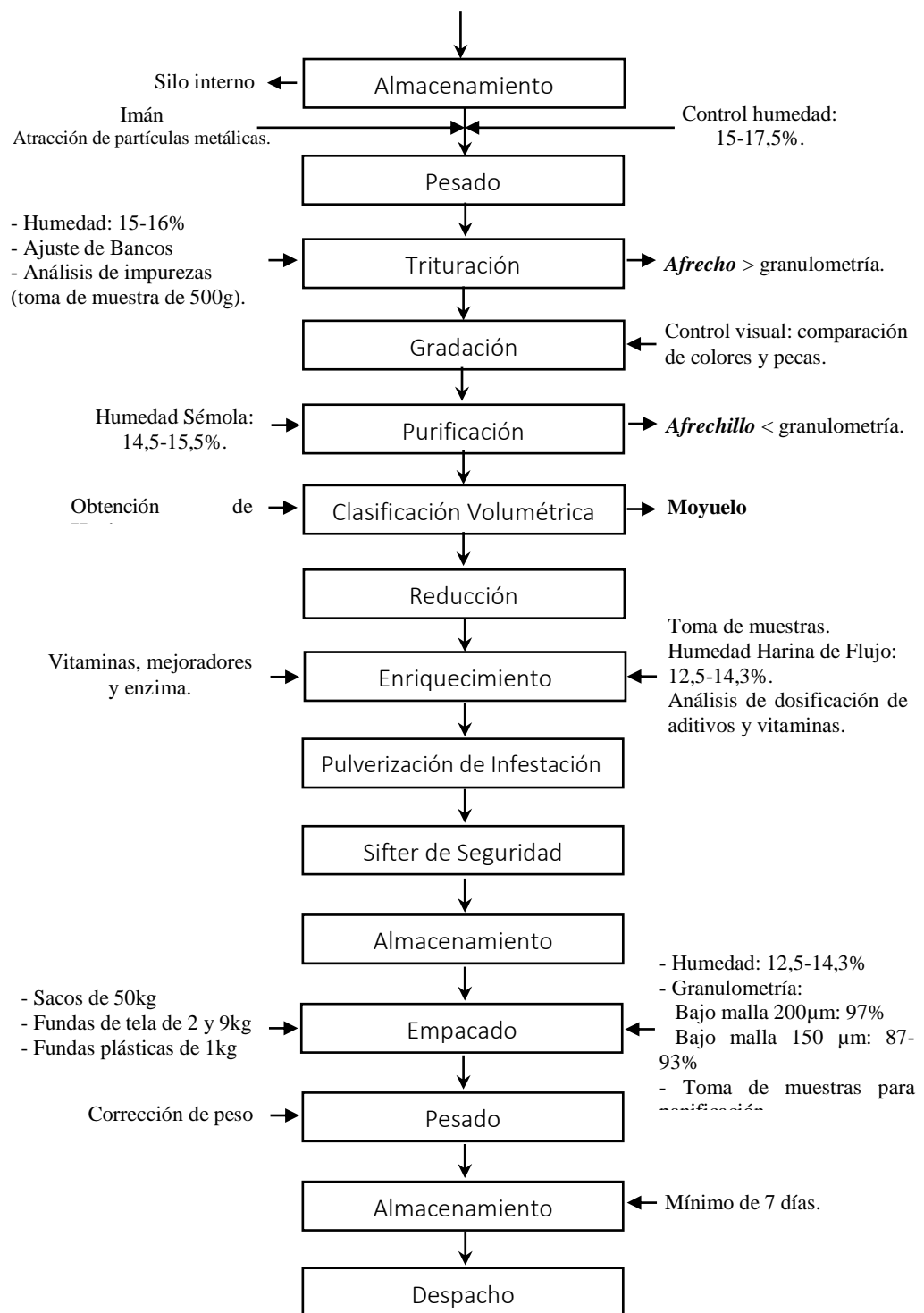
Los análisis fisicoquímicos y reológicos se realizaron en el laboratorio de Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., en los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato y en el laboratorio de Molinos Miraflores.

### 3.1. Materiales

#### 3.1.1. Materia Prima

La harina de trigo que se empleó fue obtenida de los pasajes de molienda de “Molinos e Industrias Quito”. A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la obtención de la harina de trigo.





**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina de trigo

**Fuente:** Registros de “Molinos e Industrias Quito”, 2015.

### 3.1.1.1. Descripción del Proceso

**Recepción:** Del trigo transportado por camiones se extrae las muestras para los análisis de calidad. En esta etapa se realiza una inspección visual del tipo, cantidad, peso, olor y presencia de gorgojo, luego se procede al pesaje y traslado del trigo a los silos de concreto de almacenamiento.

**Pre- limpieza:** Antes de ingresar el trigo a los silos de almacenamiento, se separa las impurezas grandes tales como piedras, astillas, granos de otras especies y pajas por medio de una zaranda y criba.

**Almacenamiento:** Durante el almacenamiento del trigo se ejecuta los análisis de calidad del grano como: peso hectolítrico: (82-84 kg/Hl), porcentaje de impurezas: (0,2-0,4%) y humedad: (11-14%). Según la programación de producción, el trigo se dirige a los silos internos de la planta; durante el traslado pasa por un detector de metales o imán que elimina cualquier metal contenido.

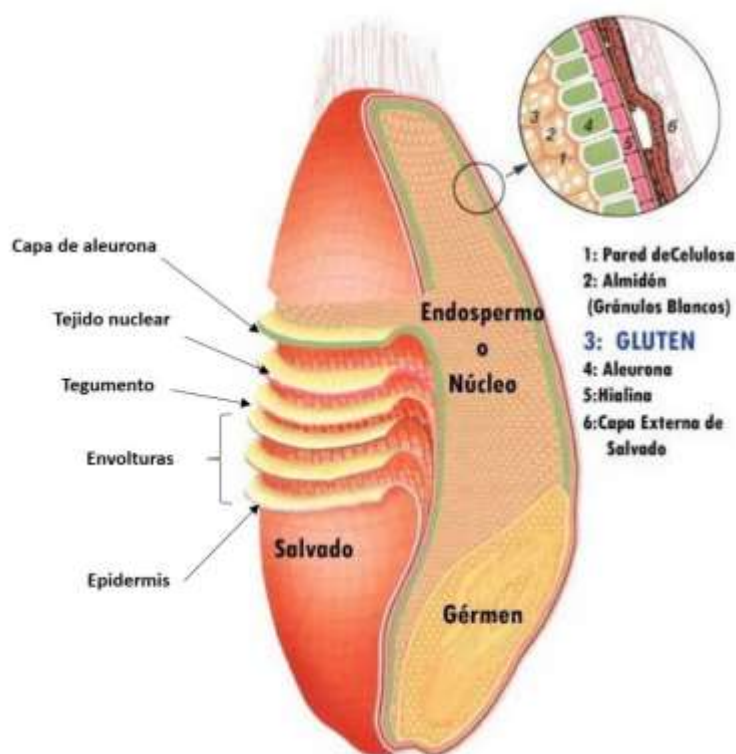
**Limpieza:** El objetivo de esta fase es separar del grano de trigo, toda clase de impurezas a través de maquinaria especializada.

- **Ciclón:** Su función es separar el polvo del grano a través de fuerza centrífuga y gravedad (Inova Ingeniería, 2009).
- **Imán:** Por acción de las propiedades magnéticas de las partículas metálicas éstas son atraídas hacia el imán, evitando así daños en la maquinaria y contaminación del producto (Enríquez, 2012).
- **Despedradora:** Su papel es separar del grano, todo elemento con peso específico elevado mediante operación vibratoria (Streckel y Schrader, 2017).
- **Separador de discos:** Por la diferencia de tamaño éste separa al trigo de impurezas como son las semillas de diferentes especies de acuerdo a su tamaño y además las clasifica. (Prillwitz y Cia. SRL, 2004).

**Acondicionamiento:** Una vez limpio el trigo se procede a la adición uniforme de agua hasta llegar a una humedad de 17-17,3%, para luego mantenerlo en reposo durante 24 horas.

El propósito de esta etapa es mejorar la separación de las capas anatómicas del grano durante el proceso de molienda, en lo concerniente a: provocar que las capas envolventes (tegumento) sean más flexibles y resistentes, reduciendo la posibilidad de producción de polvillo de salvado y contaminación a los productos de molienda, facilidad para separar sus partes, en consecuencia, aumento del rendimiento de tamizado y extracción (Ferrerías, 2009).

**Molienda:** Esta etapa tiene como finalidad separar las partes anatómicas del trigo, el salvado y germen del endospermo (ver Figura 2), mediante acción mecánica, para que este finalmente sea triturado. Se separa el germen por ser relativamente rico en lípidos, lo que produciría un enranciamiento del producto y disminuiría su calidad (Gambarotta, 2005).



**Figura 2.** Representación anatómica del grano de trigo

**Fuente:** Pamplona, 2006

Las operaciones que conforman el proceso de molienda son:

**Trituración:** El objeto de este proceso es separar el salvado del endospermo mediante cilindros de rotura, los cuales poseen estrías y trabajan a velocidades diferentes, cabe señalar que se obtiene el subproducto afrecho (Ferreas, 2009). Por otro lado, en este punto se puede realizar ajustes de bancos de molienda, siendo éstos 8 y se controla la calidad mediante análisis de impurezas: negras (semillas de nabo, ergots) y otras (cebada, alverja, lenteja, maíz tallos, cascarilla y espigas), flujo del grano en (ton/h) y flujo de agua para el acondicionamiento en (l/h), porcentaje de humedad de: la entrada del grano sucio, la salida del grano limpio y el grano que se dirige hacia la primera rotura.

**Gradación:** En esta sección se realiza el cernido o tamizado del material obtenido de los bancos de molienda los clasifica para proseguir al paso siguiente del proceso (Enríquez, 2012). Ésto es posible mediante 4 plansifters los cuales distribuyen a las partículas de acuerdo a su diámetro pasando por 14 mallas y clasificándolas en: fractura gruesa, fractura fina, sémolas, semolinas y harinas (Ferrerías, 2009).

También se ejecuta un control visual: se compara los colores y pecas de las harinas de cada pasaje.

**Purificación:** Mediante un savor se realiza la limpieza de las sémolas y semolinas eliminando los restos de salvado, estos son enviados al resto del afrecho. La forma de asegurar la calidad de esta fase es realizar el ensayo de granulometría al afrecho, así como el control de humedad de la sémola (Enríquez, 2012).

**Clasificación Volumétrica:** En esta fase se obtiene la harina como producto por la acción de tamices y el moyuelo (salvado muy fino) como subproducto.

**Reducción:** Esta etapa consiste en reducir el tamaño de las partículas en específico de las semolinas purificadas por medio de los rodillos de reducción,

estos poseen una superficie lisa. Los bancos de reducción se dividen en cilindros de semolinas, de colas y de productos de baja calidad.

Luego de cada reducción el producto es enviado a tamices para que sea clasificado por su tamaño (Gambarotta, 2005).

**Enriquecimiento:** Ya lista la harina se procede a dosificar aditivos como son: las vitaminas, mejoradores y enzima, estos son mezclados por medio de una centrífuga. Por lo general a esta mezcla se la conoce como premezcla donde pueden ser constituidas por:

- Sustancias que impiden alteraciones químicas o biológicas,
- Sustancias estabilizadoras
- Sustancias correctoras de cualidades plásticas.

Las sustancias antes mencionadas son añadidas con el objetivo de modificar las propiedades técnicas de elaboración, conservación y adaptación al uso de panificación (Figueredo, Mieres, Monserrat y Vásquez, 2004).

De igual manera como en todo el proceso se realiza análisis de calidad de la dosificación de los aditivos y vitaminas.

Además, cabe mencionar que se mantiene el control de humedad de la harina que está fluyendo, al menos 6 veces al día, según la programación de producción establecida por la empresa.

**Pulverización de infestación:** Se elimina el polvo durante todo el proceso de molienda para garantizar la calidad y limpieza del producto.

**Sifter de Seguridad:** Este paso tiene como función realizar un último tamizado para garantizar el tamaño de partícula deseado en el producto.

**Almacenamiento, Empacado y Pesado:** Se procede a almacenar la harina en los silos para después ser envasados en sacos de 50kg y/o fundas de 2 y

9kg, contando con un procedimiento de pesaje y registro de unidades producidas por día. Se efectúa análisis de calidad que incluye: humedad (12,5-14,3%), granulometría malla 7: bajo malla de (200µm: 97%); malla 9: bajo malla de (150 µm: 87- 93%) y la toma de muestras para pruebas de panificación.

**Almacenamiento y Despacho:** Se almacena la harina en la bodega de la planta antes de ser despachada; el mínimo tiempo de reposo de la harina se considera de 7 días. Se verifica la calidad mediante análisis de humedad de la harina en bodega.

### **Proceso de Molienda**

El proceso de molienda es gradual y continuo, lleva una secuencia lógica para producir harina. Un molino en general se encuentra estructurado por dos etapas específicas la de trituración o roturación y comprensión o reducción.

El diagrama de molturación inicia en la primera rotura R1, esta corriente de granos pasa por el primer banco de molienda (aquí pasa todo el trigo), desde este punto se da la clasificación por tamizado mediante sifters (separadores de las roturas), donde el producto toma diferentes rumbos. Entonces en la primera trituración se fragmenta el grano y se origina partículas de diferentes tamaños las cuales se clasifican en el tamizado.

Según Ferreras, (2009), como norma general el producto obtenido por el tamizado es:

- Sémola gruesa con 1110-525 µm
- Sémola fina con 525-290 µm
- Semolina con 290-150 µm



Las partículas de tamaño inferior a 150 micras constituyen la harina y las partículas de tamaño superior a 1110 micras se denomina fractura gruesa. En base a esta clasificación los cinco productos obtenidos del plansifter, se dirigen a distintas máquinas, a continuación, se describe el destino de cada producto.

- La fractura gruesa es enviada a la segunda trituración R2, para poder reducirse y seguir separando el endospermo.
- Las sémolas gruesas se direccionan al sasor para limpiar los restos de salvado y mejorar la clasificación de partículas de acuerdo a la cantidad de salvado contenido.
- Las sémolas finas se las envía al sasor para clasificar las sémolas.
- Las semolinas que están lo suficientemente limpias (libres de salvado) se dirigen a otro sifter, con el fin de separar toda la harina.
- La harina obtenida en la primera trituración se transporta a los silos.

El producto que se envía a la rotura R2, luego de pasar por el molino nuevamente se clasifica en los mismos grupos mencionados, de tal forma que las corrientes más gruesas se envían a la siguiente rotura y las sémolas en función de su tamaño y limpieza se trasladan al sasor.

Las partes con más salvado y partículas grandes se las envía a las roturas R3 y R4, mientras las partículas más pequeñas y limpias son enviadas a los bancos de molienda con rodillos lisos para reducir su tamaño, los productos intermedios se direccionan a cepilladores para poder separar el endospermo pegado al salvado.

En el resto de bancos de molienda siguen el mismo sistema, el cual es reducir y separar el endospermo del salvado hasta separar totalmente todo el endospermo, para así enviar el salvado a las terminadoras de afrecho acto seguido hacia sus silos.

Finalmente, las partes reducidas y limpias serán reducidas el tamaño hasta sacar la harina del diagrama y los que aún no llegan al tamaño ideal pasan por el siguiente banco de molienda para reducirlas progresivamente (Ferrerías, 2009).

Según Ferreras (2009) el diagrama de molienda en el que realizó su estudio presenta en total 14 pasajes de molienda, mientras que en “Molinos e Industrias Quito” el diagrama de molienda está constituido por 16 pasajes. Como lo enuncia Webb y Owens (2003) existen diferencias importantes entre los productos de un molino industrial a otro, a causa de la intensidad con la que se aplica los procesos y las configuraciones que se usan en las máquinas implicadas.

### **3.1.2. Equipos de Análisis**

- Balanza infrarroja Radwag
- Balanza analítica
- Farinógrafo Brabender 1982
- Equipo Simon vibrador de tamices
- Horno Mufla
- Horno Estufa
- Desecador
- SDmatic
- Cocineta
- Plancha de precalentamiento

### **3.1.3. Reactivos**

- Ácido bórico
- Yoduro de potasio
- Agua Destilada

- Afrechillo (para limpieza del amasador del farinógrafo)

#### **3.1.4. Insumos y utensilios**

- Fundas ziploc capacidad de 0,5 y 1 kg
- Crisoles
- Vasos de precipitación de 500ml
- Matraces Erlenmeyer de 500ml
- Marcador
- Espátulas
- Rollo de toallas absorbentes
- Probeta de 1000ml
- Balón de aforo de 1000ml
- Termómetro
- Pinza para crisol

### **3.2. Métodos**

Para la evaluación de los parámetros establecidos en la caracterización de la harina de trigo para panificación de los “Molinos e Industrias Quito”, se realizó los siguientes análisis fisicoquímicos y farinográficos:

#### **3.2.1. Análisis de parámetros fisicoquímicos**

##### **3.2.1.1. *Determinación del porcentaje de humedad***

El contenido de agua afecta a las características reológicas por ende al desempeño panadero de la harina de trigo, porque es responsable de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, una de las causas principales del deterioro de un alimento lo cual también afecta el grado de

conservación; es decir vida útil del producto (Badui, Bourges y Anzaldúa, 1999).

Esta determinación se efectúa por el método de secado que se basa en eliminar el agua contenida en la harina de trigo por acción del calor producido por la balanza infrarroja en condiciones determinadas, esta balanza marca el porcentaje de humedad (Radwag, 2013).

El método se basó en la Norma Técnica INEN 616 (2006) Harina de trigo (Ver Anexo D).

### **3.2.1.2. Ensayo de granulometría**

Este ensayo tiene como objetivo identificar la uniformidad de la molienda con el uso del Equipo Simon un vibrador de tamices, el cual mediante movimientos oscilatorios separa las partículas de la muestra de harina de trigo según su tamaño, al atravesar los tamices, ordenados desde el diámetro de poro más grueso al más fino. Posteriormente se pesa la harina retenida en cada tamiz y se calcula el porcentaje. (Espinoza y Quispe, 2013).

El ensayo se realizó de acuerdo a la Norma Técnica INEN 517 (1980), Harina de origen vegetal. Determinación del tamaño de partículas. (Ver Anexo D)

La granulometría está relacionada con el proceso de clasificación o también denominada gradación de la molienda del trigo, debido a que los productos son tamizados mediante plansifters (Seghezzi y Molfese, 1999), como en el ensayo de granulometría, la muestra pasa por una serie de tamices superpuestos, donde cierta cantidad de harina queda retenida en los tamices los cuales están ordenados de forma que en la parte superior se encuentra el de mayor apertura y en la parte inferior el de menor tamaño de partícula (Espinoza y Quispe, 2013). La granulometría resulta ser una característica importante puesto que brinda información acerca del proceso de molienda de la harina de trigo, en específico de la clasificación y reducción.

### **3.2.1.3. Determinación de la ceniza**

Esta determinación se realiza por método gravimétrico, que consiste en incinerar una muestra de harina en el horno mufla donde se elimina totalmente la materia orgánica hasta obtener únicamente materia inorgánica “ceniza blanca”, la cual es previamente enfriada en un desecador y pesada en una balanza analítica (AOAC, 2005). La determinación se llevó a cabo por el Método Oficial de la AOAC 923.03, 18va Edición (2005). (Ver Anexo D)

Para calcular el porcentaje de Cenizas Totales (%CT) se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Cenizas Totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

**Donde:**

**m<sub>1</sub>**: masa de la cápsula con las cenizas, en gramos.

**m<sub>2</sub>**: masa de la cápsula con la muestra, en gramos.

**m<sub>0</sub>**: masa de la cápsula vacía, en gramos.

(AOAC, 2005)

Mediante el análisis de ceniza es posible dar una clasificación a las harinas en función del contenido de salvado, el cual está formado por: el pericarpio, la capa aleuronal, epidermis nuclear y tegumentos (Ver figura 2) partes que en su composición química presentan elevada porción de minerales en relación a las otras partes del grano de trigo (Hoseney, 1994).

### **3.2.1.4. Análisis De Almidón Dañado**

El grano de trigo está constituido por 76% de carbohidratos, la mayor parte de ellos están formados por almidón y solo un 1 – 2% por azúcares (Pamplona, 2006). El almidón en el grano se encuentra en forma de gránulos, está

macromolécula está compuesta por dos polímeros de unidades de glucosa: amilosa, de carácter esencialmente lineal y la amilopectina, altamente ramificada y de mayor peso molecular (Van y Vliegenthart, 1997). El almidón al tener contacto con la humedad y una cierta temperatura sufre cambios como son un proceso lento de absorción de agua, la gelatinización de la molécula, si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente ocasionando la dispersión de la disolución la amilosa y la amilopectina, hasta finalmente convertirse en un gel. (Rocha, 2015).

En el proceso de molienda, se ven afectados los gránulos de almidón puesto que pueden resultar lesionados a lo largo del proceso a medida que se va fraccionando y triturando el endospermo, los gránulos de almidón sufren un daño físico a esto se lo denomina almidón dañado, el nivel del daño varía con la fuerza de la molienda y dureza del trigo (Hoseney, 1994; Tester, Patel y Harding, 2006; Van Der Borght, Goeseaert, Veraverbeke y Delcour, 2005).

La medición del almidón dañado de una harina permite definir la calidad en concreto, de la tasa de hidratación y el estado en que se encuentra el molino, de esa manera se podrá comprobar el ajuste de los cilindros de los bancos de molienda, su paralelismo y desgaste (Chopin Tehnologies, 2015).

Este análisis usa el método amperométrico, se basa en medir la absorción de yodo de una suspensión de harina diluida en medio ácido. El yodo se fija en los gránulos de almidón dañado. Cuanto más débil sea la intensidad de la corriente eléctrica mayor será la absorción de yodo y por ende el porcentaje de almidón dañado (AACC, 2011).

El análisis se realizó en base al procedimiento de la AACC (2011). 76-33.01 Método Amperométrico con SDmatic, 11va Edición. (Ver Anexo D).

### **3.2.2. Análisis de parámetros reológicos**

Uno de los parámetros fundamentales para determinar la calidad de la harina son las propiedades reológicas, a razón de que se conoce el comportamiento de las masas y sus propiedades, esta información toma gran importancia por el notable progreso de la industrialización automatizada (Launay, 1990). Además, como lo menciona Gil y Serra (2010) son un buen factor indicativo de calidad de la masa y el pan.

#### **3.1.1.1. Procedimiento de análisis farinográfico**

Este procedimiento es ideal para evaluar el comportamiento en el amasado de la harina de trigo, para ello se emplea el farinógrafo Brabender provisto de una amasadora de 300 gramos, con el propósito de simular las operaciones habituales de la elaboración del pan (Vázquez, 2009)

El principio de este análisis es mezclar la harina con una determinada cantidad de agua destilada (depende de la absorción de la harina), en una amasadora que tiene dos brazos que giran en sentido inverso uno con respecto al otro. La masa se forma y “resiste” al movimiento de las paletas de la amasadora, mientras se va graficando en el papel farinográfico la curva de titulación o calibración (García, 2015). Se realiza los intentos necesarios hasta que la cantidad de agua que se agregue sea la necesaria para alcanzar la máxima consistencia de 500 UB, la cantidad de agua es la absorción que se expresa en porcentaje (%) (Vázquez, 2009).

Posteriormente con la absorción se realiza la curva estándar la cual suministra información del tiempo de desarrollo en minutos, la estabilidad en minutos, grado de decaimiento o índice de tolerancia al mezclado (ITM) en Unidades Brabender (UB) y su calidad industrial (Peña et al., 2008).

El análisis farinográfico se realizó en base a los procedimientos descritos en el Manual de Instrucción del Farinógrafo – Brabender, Manual de operación del Farinógrafo – Laboratorio Molino Royal, Métodos Oficiales de Análisis –

Cereales, derivados de cereales y cerveza PANREAC QUIMICA, S.A. (Ver Anexo D).

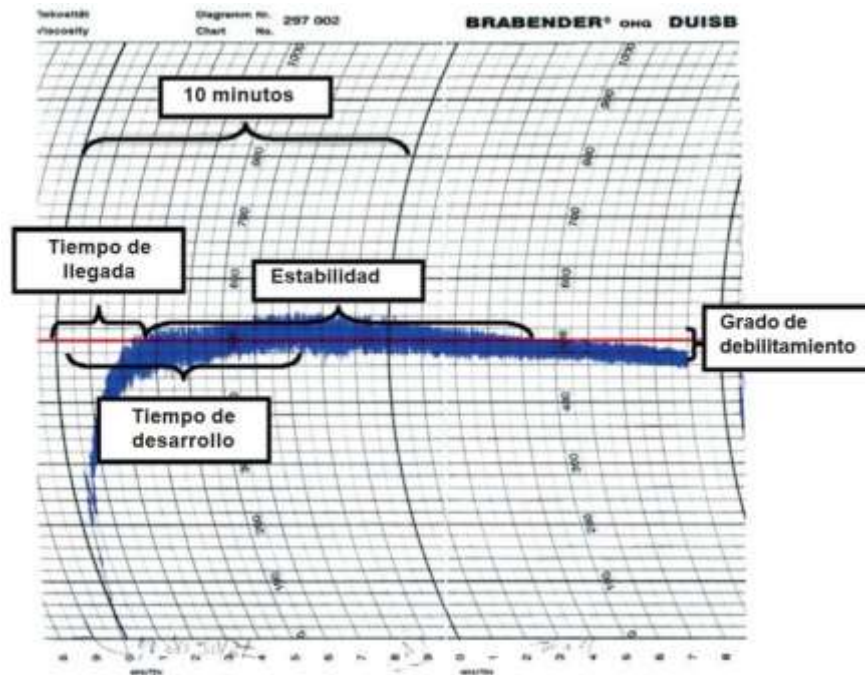


Figura 3. Curva típica del farinógrafo

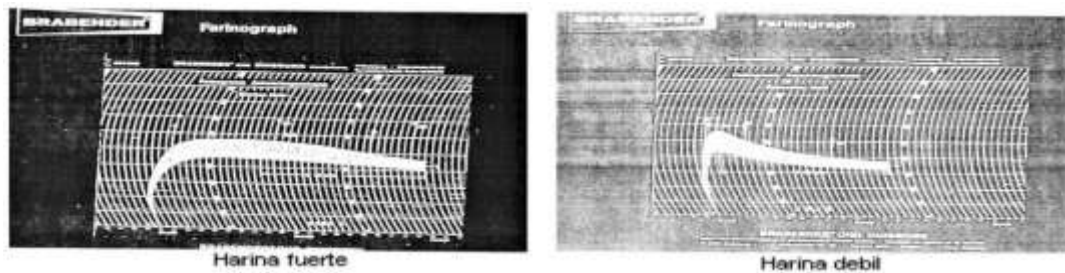
Fuente: (Vázquez, 2009)

En la figura 3 se puede observar los parámetros que se obtienen en la curva estándar.

- **El tiempo de desarrollo:** Es el tiempo en minutos necesario para que la masa alcance la consistencia ideal de fabricación de pan (punto óptimo de desarrollo 500 UB) (Quintana de Viedma, Kohli, y Gómez, 2004).
- **Grado de Decaimiento o índice de tolerancia al mezclado (ITM):** Es la magnitud en Unidades Brabender de la diferencia del grosor de la curva en el tiempo de desarrollo. Se toma en cuenta el último pico máximo que llega la masa menos el grosor de la curva del último pico que llega a línea de las 500 UB (Vázquez, 2009).
- **Estabilidad:** Corresponde al tiempo en minutos que permanece la curva entre la línea de las 500 UB hasta que se encuentra fuera de esta (Peña et al., 2008).



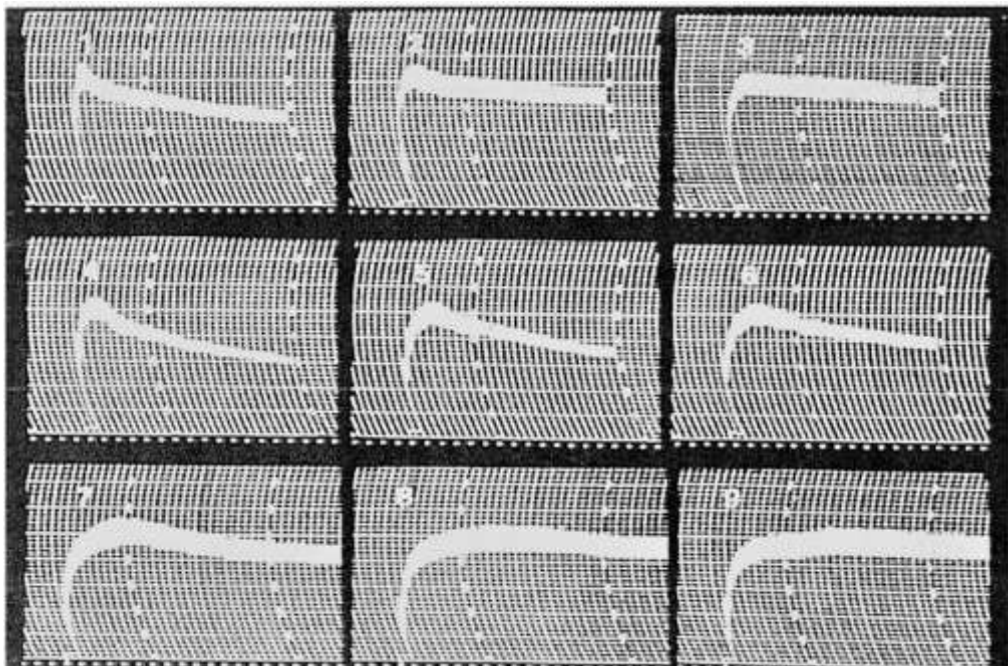
La clasificación general de las harinas se presenta en la siguiente figura, donde se puede apreciar principalmente la gran estabilidad de la harina fuerte y el grado de decaimiento pronunciado en la harina débil.



**Figura 4.** Farinogramas de dos clases de harinas de trigo

**Fuente:** (Álvarez y Macas, 2011)

En la figura 5, se presenta como se clasifican las harinas en razón de los resultados farinográficos. De izquierda a derecha: harinas fuertes y de arriba abajo: harinas más elásticas, mientras más ancha es la banda de la curva más elástica es.



**Figura 5.** Farinogramas de harina de trigo de acuerdo a su fuerza y elasticidad.

**Fuente:** (Álvarez y Macas, 2011)

Los parámetros farinográficos, clasifican a las harinas de trigo en diferentes desempeños o calidades (Alvares y Macas, 2011), los cuales se muestran a continuación:

- **Calidad óptima:** aflojamiento de la masa entre 0 y 30 UB farinográficas, y una estabilidad superior a 10 minutos.
- **Calidad buena:** aflojamiento de la masa entre 30 y 50 UB y estabilidad igual o inferior a 7 minutos.
- **Calidad discreta:** aflojamiento de la masa entre 50 y 70 UB y estabilidad igual o inferior a 5 minutos.
- **Calidad mediocre:** aflojamiento de la masa entre 70 y 130 UB y estabilidad igual o inferior a 3 minutos.
- **Calidad baja:** aflojamiento superior a 130 UB y estabilidad igual o inferior a 2 minutos.

### 3.3. Fundamento Estadístico

El análisis estadístico de la caracterización de los flujos de harina de trigo de los diferentes pasajes de molienda en los “Molinos e Industrias Quito”, se llevó a cabo mediante la ejecución de gráficos de cada uno de los parámetros medidos. Además, se realizaron gráficos de control de la harina final, que permitieron establecer especificaciones de la calidad de la harina de trigo producida.

#### Gráficos de Control

Los gráficos de control son útiles para evaluar la estabilidad de un proceso, los cuales permiten identificar la presencia o ausencia de causas especiales de variación (Levine, Krehbiel y Berenson, 2006).

Se determinó si los parámetros están fuera de control, si fue así se identificó las causas especiales de variación que están provocando las condiciones fuera de control (Suárez, 2012).

## Capacidad del Proceso

Para establecer especificaciones de calidad, es imprescindible determinar antes si el proceso es potencialmente capaz para cumplir con las especificaciones para ello se calculó el índice de Cp con la siguiente fórmula:

$$Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Donde:

ES: Especificaciones superiores

EI: Especificaciones inferiores

$\sigma$ : Desviación estándar del proceso

Es decir:

$$Cp = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

(Gutiérrez y Róman, 2009).

Para la correcta interpretación de los valores del índice de Cp se debe tener en cuenta la información detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Valores de Cp. y su interpretación

Valor del Cp.	Clase de Proceso	Decisión
$Cp. \geq 2$	Clase Mundial	Tiene calidad Seis Sigma
$Cp. > 1,33$	1	Adecuado
$1 < Cp. \leq 1,33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0,67 < Cp \leq 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$Cp. \leq 0,67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones muy serias.

Nota: Si el  $C_{pk} < C_p$ , entonces una vez que se centre el proceso tendrá la clase de proceso que se indica.

**Fuente:** Gutiérrez y Róman, 2009

Usualmente una de las desventajas de Cp es no tomar en cuenta si el proceso está centrado, para poder evaluarlo se debe disponer de la media del proceso con respecto a las especificaciones. De tal forma que se corrige al índice de capacidad real del proceso Cpk (Verdoy, Mahiques, Pellicer y Prades, 2006).

$$Cpk = \text{Mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

Donde:

ES: Especificaciones superiores

EI: Especificaciones inferiores

$\sigma$ : Desviación estándar del proceso

$\mu$ : Media del proceso

(Gutiérrez y Róman, 2009).

El índice Cpk será menor o igual al Cp cuando la media del proceso se ubique en el punto medio de las especificaciones, por ende, la capacidad potencial y real serán similares. Sí el proceso no está centrado entonces el valor del índice de Cpk será menor que el Cp.

- Si el valor del índice Cpk es mucho menor que el Cp, indicará que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esta manera, el índice Cpk estará indicando la capacidad real del proceso, si se corrige el problema de descentrado, se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice Cp.
- Valores mayores a 1, 25 de Cpk dentro de un proceso ya existente, indica que el proceso tiene capacidad satisfactoria en otras palabras cumple con las especificaciones.
- Valores de 0 o negativos de Cpk indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones (Gutiérrez y Róman, 2009).

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Análisis y Discusión de los Resultados**

La calidad de la harina producida a través del proceso de molienda depende de la secuencia de operaciones realizadas y del grado de separación de sus partes dado que los componentes del grano de trigo no se encuentran distribuidos uniformemente, lo que da lugar a la variabilidad de las fracciones de harina (Van Bockstaele, De Leyn, Eeckhout y Dewettinck, 2008). Por ello, es preciso tener en cuenta cómo se da la secuencia del proceso en “Molinos e Industrias Quito” y la clasificación de los pasajes de molienda.

Los pasajes de molienda se agrupan de la siguiente forma:

- Etapa de Roturación y/o trituración del grano de trigo, aquí se encuentra 4 roturas en secuencia codificadas por: R1, R2, R3, R4 harinas provenientes de bancos de molienda de rotura.
- Etapa de Reducción y/o compresión llamado así porque son procedentes de molinos de reducción, donde se van purificando y reduciendo hasta llegar al tamaño de partícula de la harina. Los pasajes que lo conforman son: A1, A2, B1, B2, C, D, FB2, E, ZIZ, CMD, G, H.

FB2, E (subproducto afrecho) van hacia las terminadoras de Afrecho 1; ZIZ, CMD se obtiene sémolas de las roturas y salvado que se dirigen a las terminadoras de afrecho 2; G, H fracciones de harina y subproducto moyuelo.

##### **4.1.1. Análisis de parámetros físico-químicos**

###### **4.1.1.1. Análisis del porcentaje de humedad**

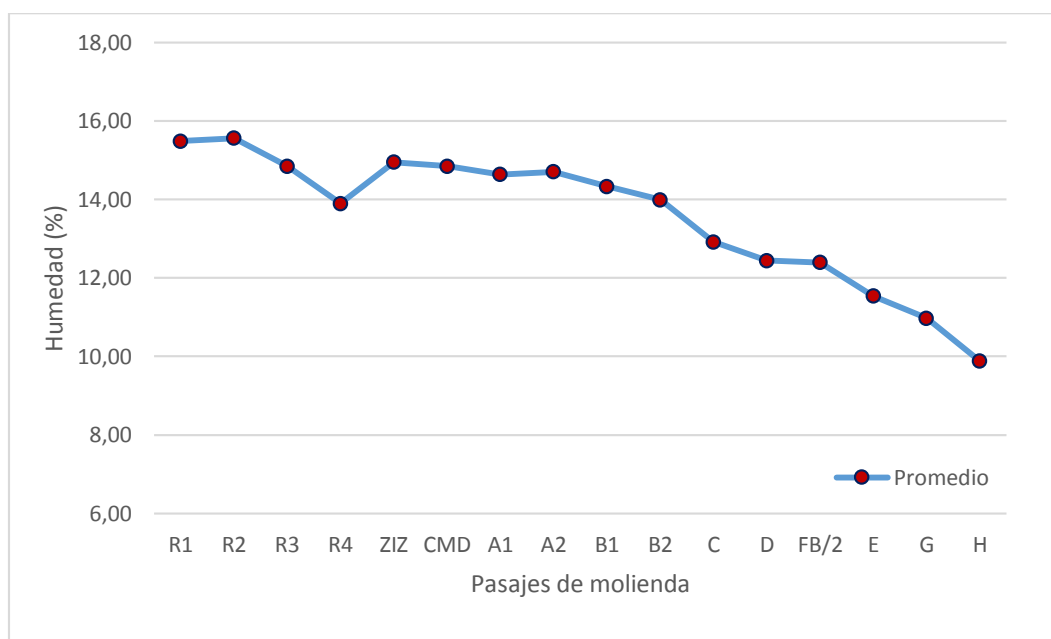
Los resultados experimentales obtenidos se pueden observar en la Tabla 2, a partir de los promedios se realizó el gráfico del porcentaje de humedad de los pasajes de molienda (Ver Figura 6), donde se puede ver que el promedio

máximo del porcentaje de humedad es del pasaje correspondiente a la etapa de roturación R2 con 15,56%.

**Tabla 2.** Datos experimentales del porcentaje de humedad de los pasajes de molienda.

Pasajes	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Réplica 3 (%)	Promedio ± Desviación Estándar	Caudal Másico (kg/min)
R1	15,89	15,54	15,03	15,49 ±0,432	0,164
R2	15,83	15,70	15,14	15,56 ±0,367	0,324
R3	15,03	14,79	14,71	14,84 ±0,167	0,235
R4	13,77	14,01	13,90	13,89 ±0,120	0,539
ZIZ	15,06	14,99	14,79	14,95 ±0,140	0,115
CMD	14,76	14,86	14,91	14,84 ±0,076	0,070
A1	14,27	15,15	14,48	14,63 ±0,460	0,779
A2	14,98	14,87	14,25	14,70 ±0,394	0,176
B1	14,17	14,31	14,51	14,33 ±0,171	0,253
B2	14,11	13,39	14,47	13,99 ±0,550	0,171
C	12,87	12,99	12,89	12,92 ±0,064	0,155
D	12,35	12,51	12,46	12,44 ±0,082	0,203
FB/2	12,28	12,51	12,39	12,39 ±0,115	0,062
E	11,19	11,63	11,79	11,54 ±0,311	0,062
G	11,02	10,84	11,06	10,97 ±0,117	0,042
H	9,54	10,08	10,02	9,88 ±0,296	0,069

Elaborado por: Ana Puma

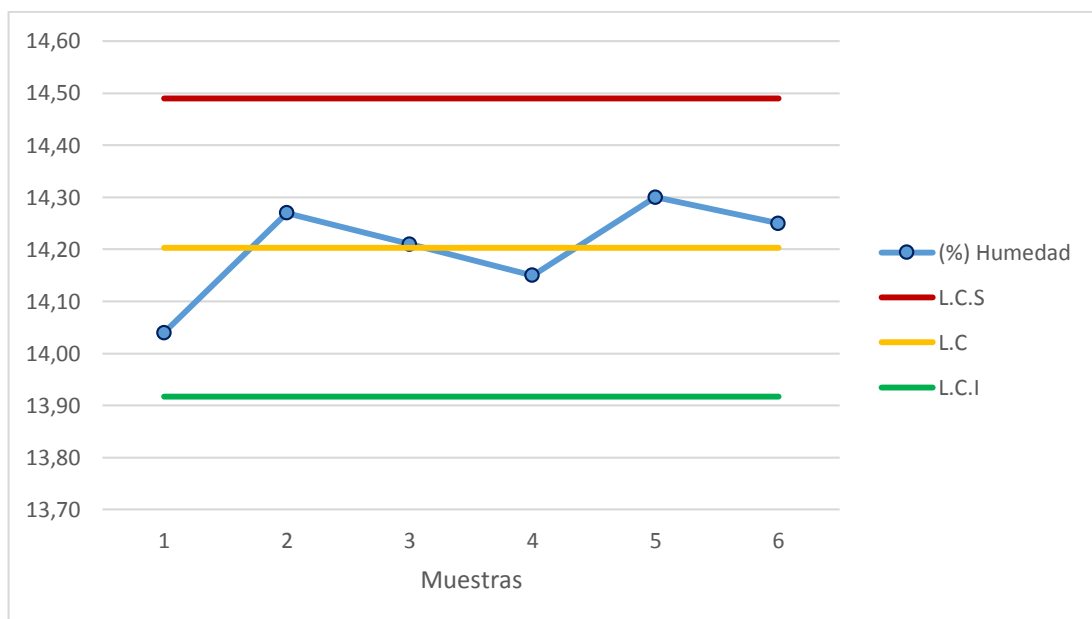


**Figura 6.** Porcentaje de humedad (%) de los pasajes de molienda.

Elaborado por: Ana Puma

Esto se debe a que el acondicionamiento es un proceso que tiene como propósito aumentar el porcentaje de humedad entre 15,5% y 16,0%, el cual provoca cambios en las características mecánicas de los tejidos del grano para optimizar la separación del endospermo de las capas sobrantes del grano, por ello las corrientes de primeras de roturas obtendrán mayor cantidad de humedad (Gil y Serra, 2010); mientras que el pasaje con promedio mínimo de porcentaje de humedad es el H con 9,88% pasaje correspondiente a la etapa de reducción, debido a que se lo considera de los últimos lisos o colas del molino en las cuales se purifica y reduce. Esta harina es más refinada, por tanto, durante el proceso se ha eliminado un porcentaje de humedad representativo (Enriquez, 2012).

Por otro lado, se midió la capacidad de producción del molino la cual es 24,30 kg/min. Como se puede observar en la Tabla 2 el caudal másico está en función de la humedad de cada pasaje de molienda expresado en (kg/min), el pasaje con promedio mínimo de aporte es el pasaje G de 0,042 kg/min y con promedio máximo de aporte es el pasaje A1 con 0,779 kg/min. Se puede establecer que lo aportado por cada pasaje contribuye a obtener un promedio de humedad de la harina final adecuado.



**Figura 7.** Gráfico de control de la humedad (%) de la harina de trigo final

**Fuente:** Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., 2016.

Se visualiza en el Figura 7, que los valores promedio de los porcentajes de humedad están dentro de los límites inferiores como superiores manteniéndose en la media de 14,20%, con ello se puede establecer que el proceso se encuentra dentro de los límites de control.

En consecuencia, de acuerdo a los resultados se puede señalar que el porcentaje de humedad aportado por cada pasaje contribuyen a obtener las características deseadas de la harina de trigo final, debido a que se encuentra dentro de los requisitos de las normas INEN 518 la cual establece que no debe ser mayor a 14,5% de humedad, teniendo como promedio 14,17% de humedad de la harina final, dado esto se establecieron las especificaciones de la harina de cada pasaje de molienda citadas en la Tabla 8.

#### **4.1.1.2. Análisis del Ensayo de Granulometría**

En la Tabla 10 (Anexo A) se puede visualizar los datos correspondientes a la granulometría realizada en el producto de cada uno de los pasajes de molienda.

Los ensayos granulométricos de las mallas 7 (200  $\mu\text{m}$ ) y 9 (150  $\mu\text{m}$ ) se puede observar en las Tabla 3 y 4 respectivamente, se trabajó con los valores promedio de bajo malla ya que en estas se establece los límites de tolerancia. El pasaje con menor porcentaje corresponde a la R4 con 97% de retenido en la malla 7 de 200  $\mu\text{m}$  (ver Tabla 3 y Figura 8) posee el mayor porcentaje de partículas gruesas. En tabla 4 y Figura 9 que corresponde a la malla 9 de 150  $\mu\text{m}$  se observa que el pasaje E con 63,0% posee menor porcentaje de harina retenida en esta malla.

El grado de finura de la harina varía según el molino y el pasaje, mediante esta prueba se puede clasificar las partes más gruesas conocidas como redondas de las más finas denominadas planas. (Quaglia, 1991).



**Tabla 3.** Resultados del ensayo de granulometría de la malla #7 (200 µm) de los pasajes de molienda.

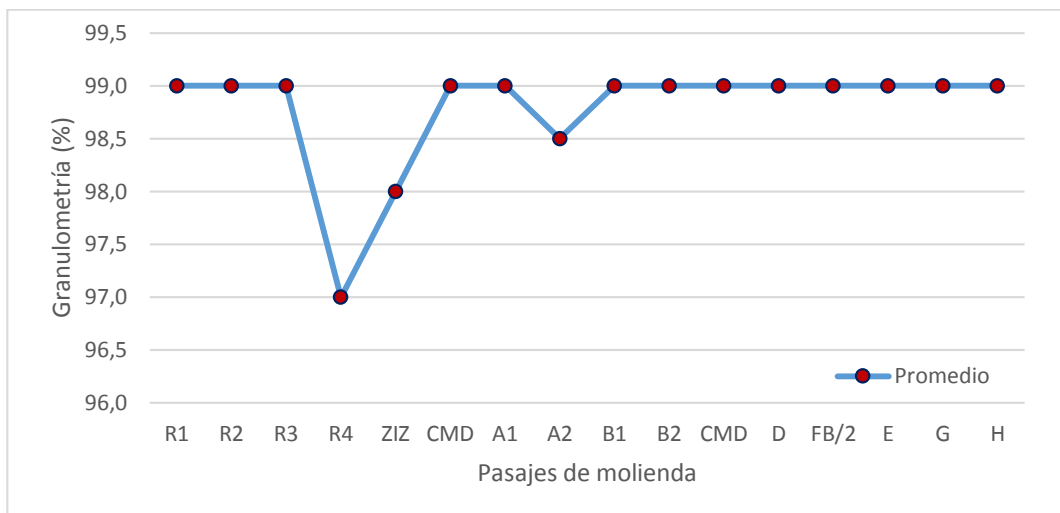
Pasajes	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Promedio ± Desviación Estándar	Caudal Másico (kg/min)
R1	99	99	99,0 ±0,000	1,047
R2	99	99	99,0 ±0,000	2,063
R3	99	99	99,0 ±0,000	1,570
R4	97	97	97,0 ±0,000	3,764
ZIZ	99	97	98,0 ±1,414	0,757
CMD	99	99	99,0 ±0,000	0,469
A1	99	99	99,0 ±0,000	5,269
A2	99	98	98,5 ±0,707	1,179
B1	99	99	99,0 ±0,000	1,751
B2	99	99	99,0 ±0,000	1,212
CMD	99	99	99,0 ±0,000	1,189
D	99	99	99,0 ±0,000	1,612
FB/2	99	99	99,0 ±0,000	0,492
E	99	99	99,0 ±0,000	0,531
G	99	99	99,0 ±0,000	0,376
H	99	99	99,0 ±0,000	0,687

Elaborado por: Ana Puma

**Tabla 4.** Resultados del ensayo de granulometría de la malla #9 (150 µm) de los pasajes de molienda

Pasajes	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Promedio ± Desviación Estándar	Caudal Másico (kg/min)
R1	87	91	89,0 ±2,828	0,942
R2	88	89	88,5 ±0,707	1,844
R3	91	95	93,0 ±2,828	1,475
R4	88	87	87,5 ±0,707	3,395
ZIZ	87	87	87,0 ±0,000	0,672
CMD	87	89	88,0 ±1,414	0,417
A1	80	82	81,0 ±1,414	4,311
A2	78	77	77,5 ±0,707	0,928
B1	88	92	90,0 ±2,828	1,592
B2	93	89	91,0 ±2,828	1,114
CMD	81	89	85,0 ±5,657	1,021
D	80	82	81,0 ±1,414	1,319
FB/2	88	86	87,0 ±1,414	0,432
E	60	66	63,0 ±4,243	0,338
G	91	89	90,0 ±1,414	0,342
H	67	66	66,5 ±0,707	0,462

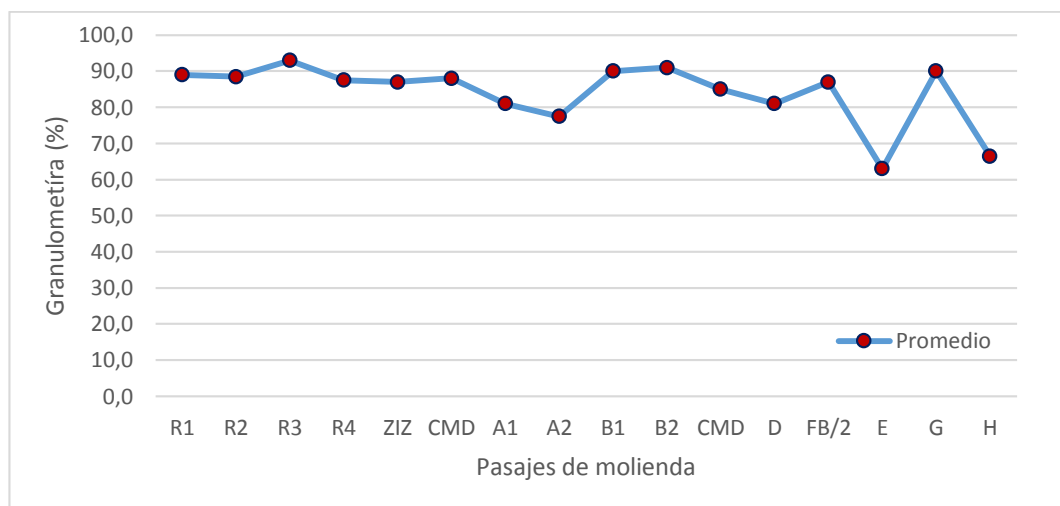
Elaborado por: Ana Puma



**Figura 8.** Ensayo de granulometría (%) malla #7 de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

Se puede visualizar en la Figura 8, que los pasajes con menor porcentaje son los pasajes R4, ZIZ y A2 con mayor cantidad de partículas redondas.

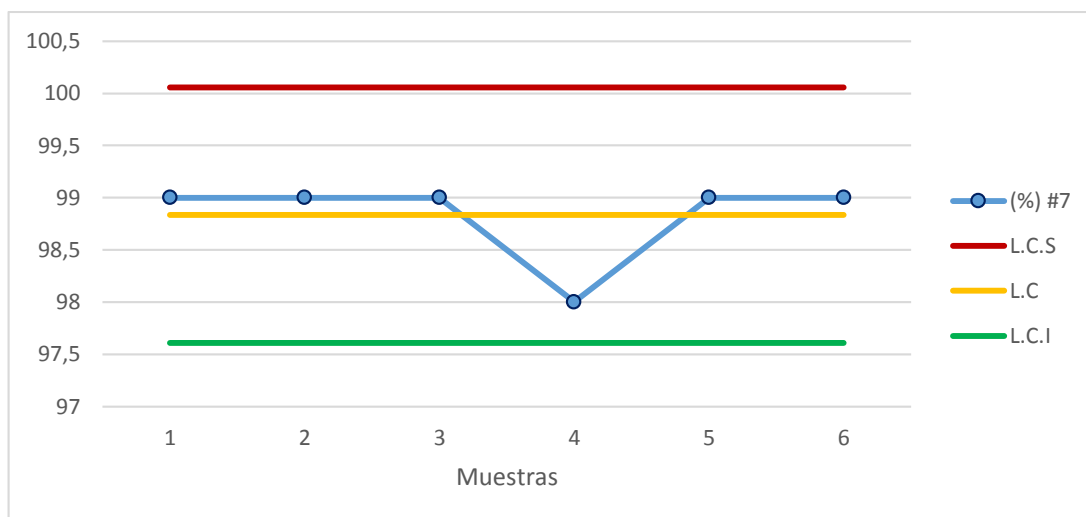


**Figura 9.** Ensayo de granulometría (%) malla #9 de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

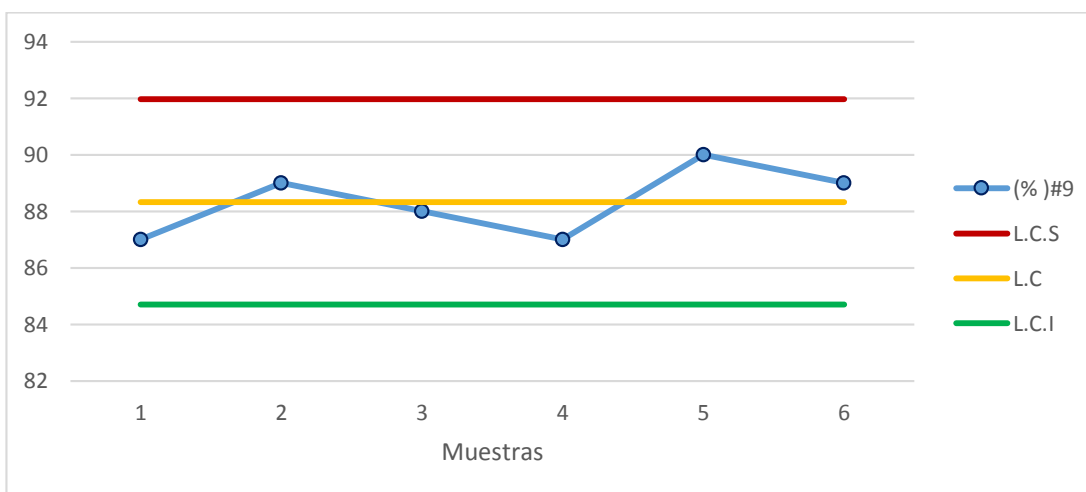
En la Figura 9, se aprecia que los pasajes con más partículas redondas son E, H, A2, A1 y D, mientras que los pasajes con mayor porcentaje de partículas planas son R3, B2, G y B1 los cuales suministran el grado de finura a la harina final.

Con relación al caudal másico de la malla 9 de 150  $\mu\text{m}$  (Ver Tabla 4) los pasajes con mayor aporte son A1, R4, R2 y B1; los pasajes con menor aporte de kg/min son el E, G, CMD y FB/2. Dado este orden la harina final se encuentra dentro de los límites de tolerancia.



**Figura 10.** Gráfico de Control del ensayo de granulometría (malla #7) de la harina de trigo final

**Elaborado por:** Ana Puma



**Figura 11.** Gráfico de Control del ensayo de granulometría (malla #9) de la harina de trigo final

**Elaborado por:** Ana Puma

De acuerdo a los gráficos de control de la Figura 10 y Figura 11, los dos ensayos de granulometría de la harina de trigo final están dentro de los límites

de control y próximos al valor central lo cual indica que el proceso está bajo control porque su variación se debe a causas aleatorias (Lombardero y Gonzales, 2007).

En consecuencia, de los análisis estadísticos realizados se estableció las especificaciones (Ver Tabla 8), que garantizan que la harina fruto del proceso mantiene su calidad y esté dentro de lo que estipula la norma CODEX 152, sobre el tamaño de partícula, la cual establece que el 98% o más de la harina deberá pasar a través de un tamiz N° 70 de 212 micras.

#### 4.1.1.3. Análisis de Ceniza

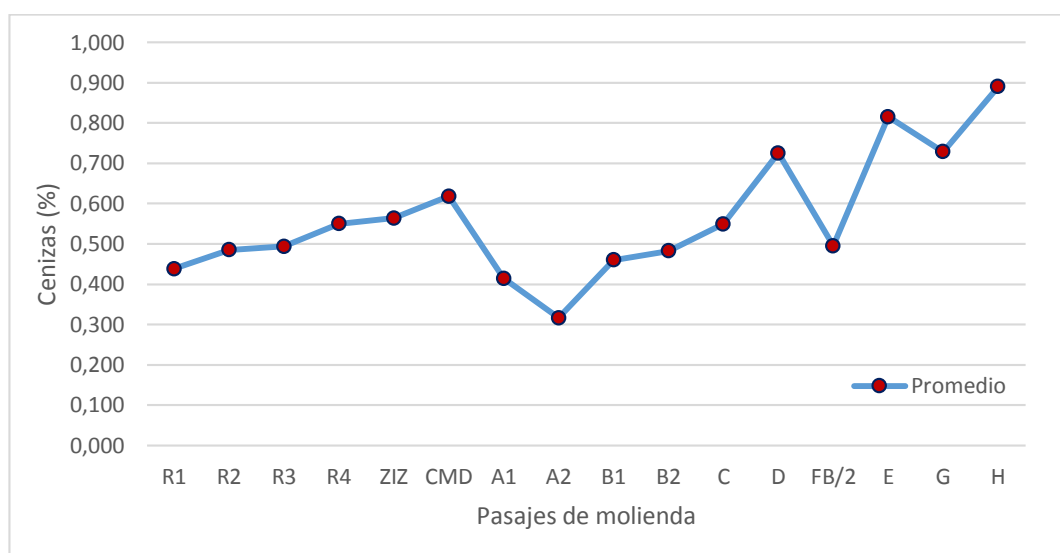
De acuerdo con los resultados experimentales del contenido de cenizas (ver Tabla 5) y la gráfica de cenizas (ver Figura 12) se ve que el pasaje con mayor promedio del contenido de cenizas es el H con 0,890% éste pertenece a la etapa de reducción, es decir que pasa por los bancos de molienda de reducción es los últimos lisos conocido como colas, mientras que el de menor promedio del contenido de cenizas es A2 con 0,317% forma parte también la etapa de reducción siendo de los primeros lisos.

**Tabla 5.** Datos experimentales del porcentaje de cenizas de los pasajes de molienda.

Pasajes	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Promedio ± Desviación Estándar	Caudal Másico (kg/min)
R1	0,413	0,463	0,438 ±0,036	0,0046
R2	0,421	0,550	0,485 ±0,091	0,0101
R3	0,501	0,487	0,494 ±0,010	0,0078
R4	0,501	0,599	0,550 ±0,069	0,0213
ZIZ	0,568	0,560	0,564 ±0,006	0,0044
CMD	0,620	0,616	0,618 ±0,003	0,0029
A1	0,435	0,394	0,414 ±0,029	0,0221
A2	0,358	0,275	0,317 ±0,058	0,0038
B1	0,467	0,453	0,460 ±0,010	0,0081
B2	0,496	0,469	0,483 ±0,019	0,0059
C	0,549	0,550	0,549 ±0,001	0,0066
D	0,711	0,740	0,725 ±0,021	0,0118
FB/2	0,518	0,472	0,495 ±0,033	0,0025
E	0,822	0,809	0,816 ±0,009	0,0044
G	0,725	0,733	0,729 ±0,005	0,0028
H	0,836	0,944	0,890 ±0,077	0,0062

Elaborado por: Ana Puma

Es posible dar una clasificación de las harinas en función del contenido de salvado, a razón de que en su composición química presenta elevada porción de minerales que en otras partes del grano de trigo (Hoseney,1994). Por ello se representó en una gráfica (ver Figura 12) para distinguir los pasajes que poseen mayor porcentaje de cenizas.



**Figura 12.** Porcentaje de cenizas (%) de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

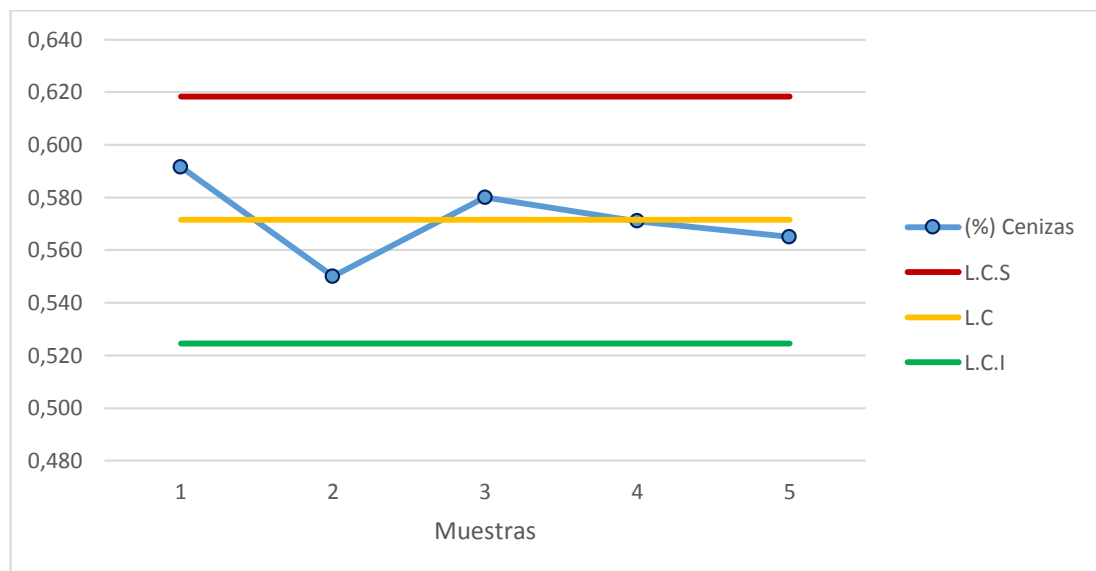
Como lo estipula Gambarotta (2005) el pasaje H corresponde a la fracción que tiene como propósito mejorar el rendimiento de la eliminación del salvado y germen, lo cual causa que durante el proceso se dé la fragmentación de las partículas del salvado, ocasionando una alta contaminación en esta harina provocando un color más oscuro (Cazares, 2011).

Por el contrario, el color del pasaje A2 es más claro, dado que contiene menos porcentaje de ceniza, este pasaje pertenece a las primeras corrientes de lisos denominadas compresiones limpias, debido a que no tienen mayor contacto con las partes del salvado durante su proceso, además su objetivo es ir reduciendo el tamaño del endospermo, liberando la harina del diagrama y los productos que no tienen el tamaño deseado se envían a las siguientes corrientes de reducción (Ferreas, 2009). Por ello este pasaje es considerado más puro.

En definitiva mientras más alto sea el contenido de cenizas menor será la calidad del producto y por ende será bajo el grado de extracción del salvado (Barrera et al., 2012).

Con respecto al aporte de kilogramos por minuto (ver Tabla 5) se puede visualizar que el pasaje que menos aporta es FB/2 (0,0025 kg/min) siendo uno de los cuales presento un mayor promedio del contenido de cenizas, mientras que los pasajes con más aporte son A1 (0,0221 kg/min) y R4 (0,0213 kg/min), los cuales el promedio del contenido de cenizas no pasa de los 0,6%, de esta forma al unirse las harinas de todos los pasajes construyen una harina con un promedio adecuado.

Como se puede visualizar en la Figura 13, los datos experimentales de la harina de trigo final, siguen una distribución normal con una probabilidad del 99,73% de las muestras de la harina de trigo para panificación, las cuales se hallan dentro de  $\pm 3$  desviaciones estándar, (Hansen y Ghare, 1989).



**Figura 13.** Gráfico de Control del contenido de cenizas (%) de la harina de trigo final

**Elaborado por:** Ana Puma

Conforme a los resultados descritos y las observaciones sobre el contenido de cenizas de cada pasaje de molienda se puede establecer que conceden a la harina final las características idóneas para que este producto esté dentro

de los requisitos de las normas INEN 520 con un promedio de contenido de ceniza del 0,572%, por ello se estableció las especificaciones señaladas en la Tabla 8. Además, estos resultados nos indican que la harina es altamente refinada y con una alta calidad panadera siendo un proceso que cuenta con un alto grado de extracción del salvado.

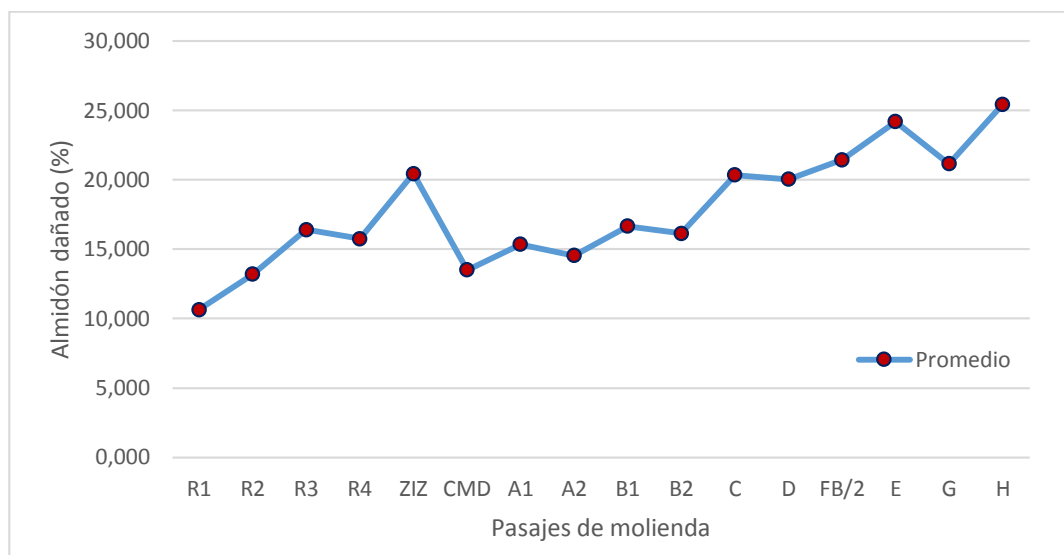
#### 4.1.1.4. *Análisis de Almidón Dañado (AACC,2016)*

En la Tabla 6 se observa los promedios del porcentaje de almidón dañado de cada pasaje de molienda, se visualiza en la gráfica (ver Figura 14) que el promedio del pasaje R1 es menor que todos debido a que este pertenece a la etapa de trituración, dicha fracción de harina no sufre mayor daño mecánico ni físico en sus gránulos de almidón, mientras que el pasaje H es el de menor promedio, ya que este pasaje pertenece a la etapa de reducción siendo de los últimos lisos fracción que más daños físicos y mecánicos ha sufrido

**Tabla 6.** Datos experimentales del porcentaje de almidón dañado de los pasajes de molienda.

<b>Pasajes</b>	<b>Réplica 1 (%)</b>	<b>Réplica 2 (%)</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Caudal Másico (kg/min)</b>
<b>R1</b>	10,60	10,70	10,650	0,071±	0,464
<b>R2</b>	13,10	13,30	13,200	0,141±	1,132
<b>R3</b>	16,40	16,40	16,400	0,000±	1,070
<b>R4</b>	15,80	15,70	15,750	0,071±	2,515
<b>ZIZ</b>	20,60	20,30	20,450	0,212±	0,650
<b>CMD</b>	13,40	13,60	13,500	0,141±	0,263
<b>A1</b>	15,30	15,40	15,350	0,071±	3,362
<b>A2</b>	14,50	14,60	14,550	0,071±	0,717
<b>B1</b>	16,50	16,80	16,650	0,212±	1,212
<b>B2</b>	16,10	16,20	16,150	0,071±	0,813
<b>C</b>	20,30	20,40	20,350	0,071±	1,006
<b>D</b>	20,00	20,10	20,050	0,071±	1,343
<b>FB/2</b>	21,50	21,40	21,450	0,071±	0,439
<b>E</b>	24,20	24,20	24,200	0,000±	0,534
<b>G</b>	21,10	21,20	21,150	0,071±	0,331
<b>H</b>	25,40	25,50	25,450	0,071±	0,727

**Elaborado por:** Ana Puma



**Figura 14.** Porcentaje de almidón dañado (%) de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

Es importante mencionar que el almidón dañado afecta a las propiedades reológicas y fisicoquímicas de la harina, en especial a la capacidad de absorción ya que los gránulos dañados absorben 200 y 430% de su peso en agua a temperatura ambiente mientras que los gránulos sin daño absorben aproximadamente 39-87% de su peso (Berton, Scher, Villieras, y Hardy, 2002). Esto nos indica que en los pasajes H, E y FB/2 son los que proporciona mayor cantidad de gránulos dañados en consecuencia aporta a dar una mayor absorción de agua.

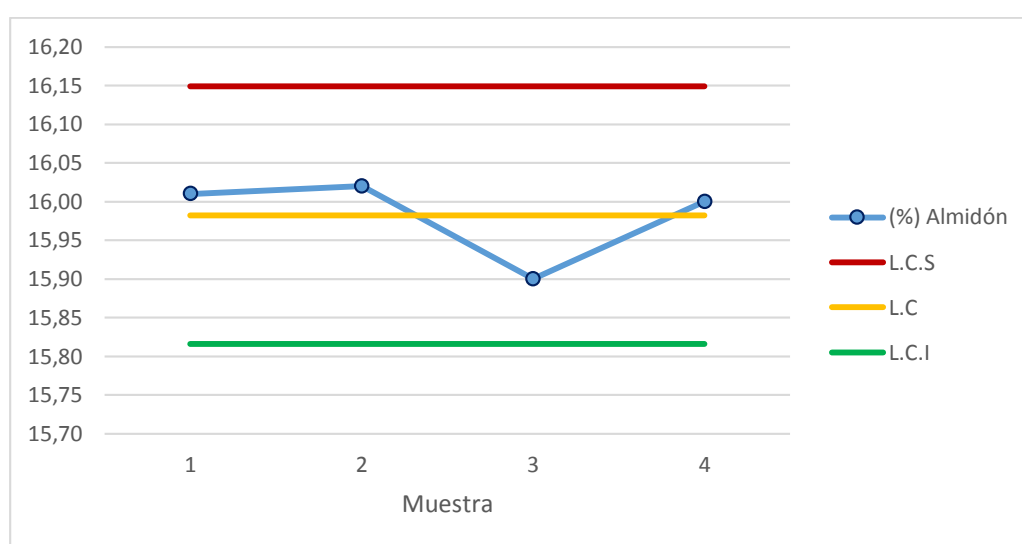
A lo que refiere al caudal másico en la Tabla 6, el aporte de los pasajes con mayor contribución son el A1 y R4 con 3,362 kg/min y 2,515 kg/min respectivamente, en ellos el porcentaje de almidón dañado sobrepasa del 16%, por el contrario, los pasajes con mayor porcentaje de almidón dañado son los correspondientes a un aporte por minuto bajo, por ello no se ve altamente afectada la harina final.

Sin embargo, según Barrera (2014) la harina de trigo posee alrededor de 5 – 13% de almidón dañado, el cual depende de las características del trigo y de las condiciones de molienda. Siendo que el promedio del almidón dañado de la harina final es 15,98%, revela que la severidad del proceso de molturación



de “Molinos e Industrias Quito” contribuye a tener mayor contenido de almidón dañado, así como también el tipo de trigo que utilizan es considerado trigo duro de calidad superior por Instituto Canadiense Internacional de Granos (Cigi, 2013).

Además, concuerda con lo enunciado por Giroux y Morris (1997) que cuando se trata de un grano con dureza alta se da un incremento de la resistencia del gránulo por consiguiente en la cantidad de almidón dañado



**Figura 15.** Gráfico de Control del porcentaje de almidón dañado (%) de la harina de trigo final

**Elaborado por:** Ana Puma

Con la elaboración del gráfico de control (Figura 15) se puede estimar que la harina final se encuentra dentro de los límites de control y responde a una distribución normal. Para demostrar si este proceso es capaz se calculó el Cp (ver Tabla 8) sí el valor es mayor a 2 indica que tiene una calidad seis sigma, en consecuencia el Cpk será menor al Cp lo cual indica que el proceso es satisfactorio (Gutiérrez y Róman, 2009). De tal manera las especificaciones planteadas en la tabla 8 son consideradas adecuadas ya que están dentro de las establecidas por los reglamentos internos del molino de estudio.

## 4.1.2. Análisis de parámetros reológicos

### 4.1.2.1. Análisis Farinográfico

Los datos experimentales obtenidos de cada pasaje de molienda se presentan en la tabla 7 y en el Anexo B se pueden observar los farinogramas de las harinas de trigo de todos los pasajes de molienda evaluados en “Molinos e Industrias Quito”.

El análisis farinográfico y la curva dibujada por el Farinógrafo Brabender suministran la siguiente información:

**Tabla 7.** Resultados de los ensayos farinográficos

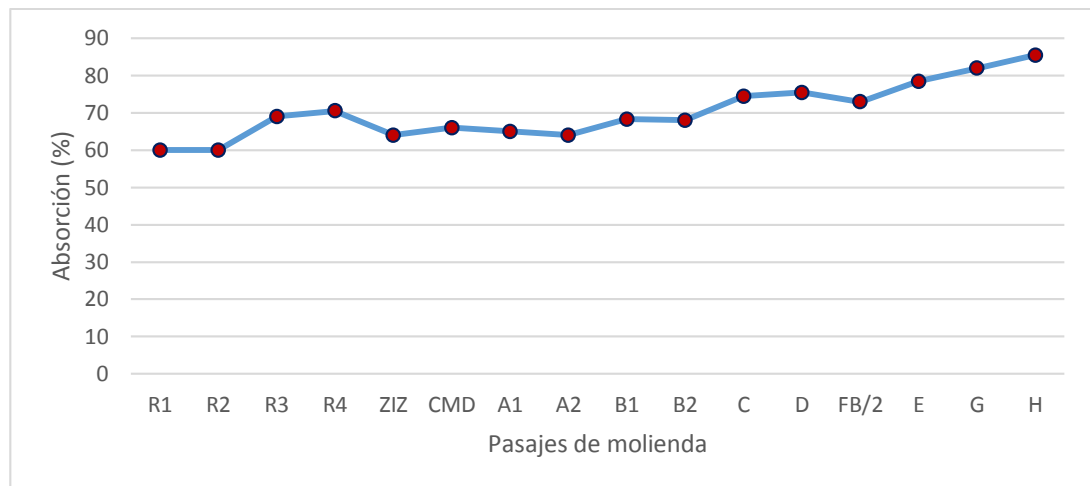
<i>Pasajes</i>	<i>Absorción (%)</i>	<i>Tiempo de Desarrollo (min)</i>	<i>Grado de decaimiento (UF)</i>	<i>Estabilidad (min)</i>	<i>Calidad</i>	<i>Caudal Másico (kg/min)</i>
<i>R1</i>	60	9	0	11,50	Óptima	1,06
<i>R2</i>	60	9,5	20	11,50	Óptima	2,08
<i>R3</i>	69	8,5	0	12,50	Óptima	1,59
<i>R4</i>	70,5	10	20	12,50	Óptima	3,88
<i>ZIZ</i>	64	8	20	11,50	Óptima	0,77
<i>CMD</i>	66	9	40	8,00	Buena	0,47
<i>A1</i>	65	8,5	0	14,00	Óptima	5,32
<i>A2</i>	64	8	20	14,25	Óptima	1,20
<i>B1</i>	68,3	9,5	0	12,50	Óptima	1,77
<i>B2</i>	68	9,5	0	14,00	Óptima	1,22
<i>C</i>	74,5	5,5	0	7,00	Buena	1,20
<i>D</i>	75,5	5	20	4,50	Buena	1,63
<i>FB/2</i>	73	5	20	8,50	Buena	0,50
<i>E</i>	78,5	10	20	8,50	Buena	0,54
<i>G</i>	82	5	20	9,50	Buena	0,38
<i>H</i>	85,5	5,5	0	9,00	Buena	0,69

Elaborado por: Ana Puma

### Absorción de agua

Con los datos experimentales de cada pasaje de molienda se elaboró una curva (ver Figura 16) se puede ver que el pasaje que posee la absorción más baja es el R1 de 60% que coincide con el pasaje de menor porcentaje de almidón dañado, mientras que el pasaje H con 85,5%, es el que tiene la más

alta absorción al igual que el mayor porcentaje de almidón dañado. Como lo describe Peña (2002) el almidón dañado al exponer sus componentes amilosa y amilopectina interactúa con otros constituyentes, influye en la absorción de agua, siendo la relación directa, mientras más porcentaje de almidón dañado presente en la harina mayor será la absorción de agua.



**Figura 16.** Absorción de agua (%) de los pasajes de molienda

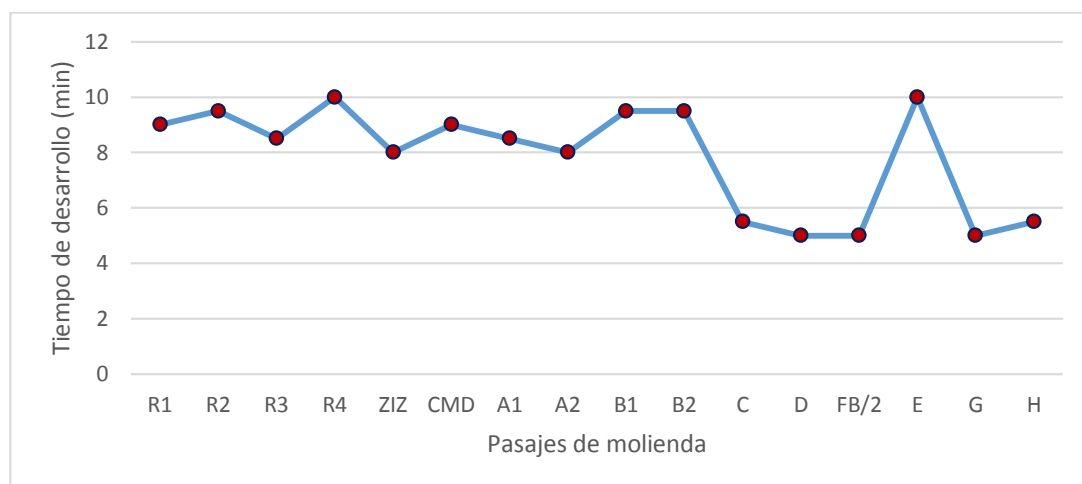
**Elaborado por:** Ana Puma

Los valores normales de la absorción de agua para una harina de panificación se encuentran en un rango de 64,8% a 66,2% (Recalde y Rodríguez, 2003). El promedio de absorción de la harina final de Molinos e Industrias Quito es de 67,17%, siendo esta característica apreciada por sus clientes.

### Tiempo de desarrollo

Si los valores del tiempo de desarrollo son superiores a 5 minutos son considerados adecuados para una harina de panificación (Quintana de Viedma et al., 2004). De acuerdo a los datos que se presentan en la Tabla 7 y en el Figura 17, muestra que todos los pasajes presentan un comportamiento dentro del rango a excepción del pasaje D con un tiempo de desarrollo de 4,5 minutos, mientras que el de mayor valor es el pasaje E con 10 min. Haciendo referencia al caudal másico de la Tabla 7 no representa

mayor afectación el pasaje D ya que no aporta una parte significativa a la harina final, obteniendo un promedio de 7,03 minutos de la harina final.

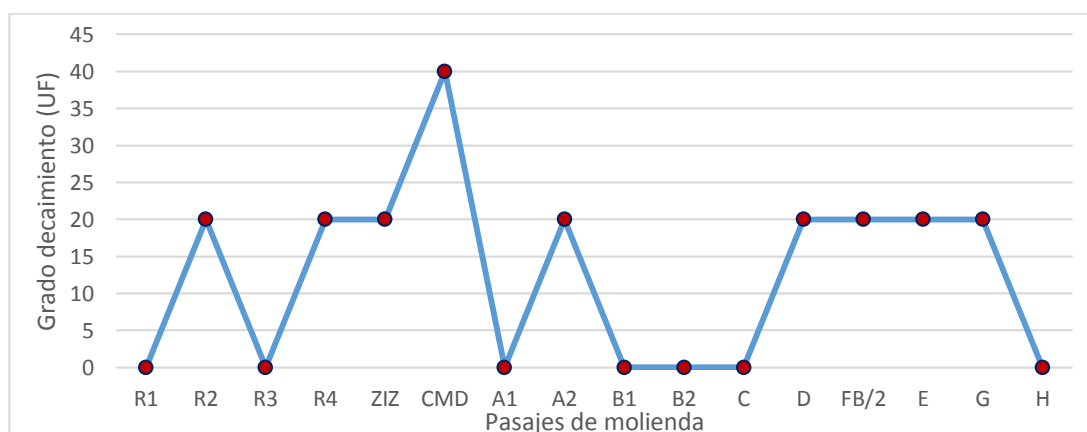


**Figura 17.** Tiempo de desarrollo (min) de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

### **Grado de Decaimiento o Índice de Tolerancia al Mezclado (ITM)**

Las harinas obtenidas de trigos fuertes presentan poco grado de decaimiento o aflojamiento (Ferrerías, 2009). Según los resultados obtenidos en el grado de decaimiento (ver Tabla 7 y Figura 18) ningún pasaje superó las 50 unidades farinográficas (UF) debido a que en Molinos e Industrias Quito utiliza para la elaboración de la harina, el trigo rojo de primavera CWRS considerado por el Cigi (Instituto Canadiense Internacional de Granos) un trigo fuerte (Cigi, 2013).



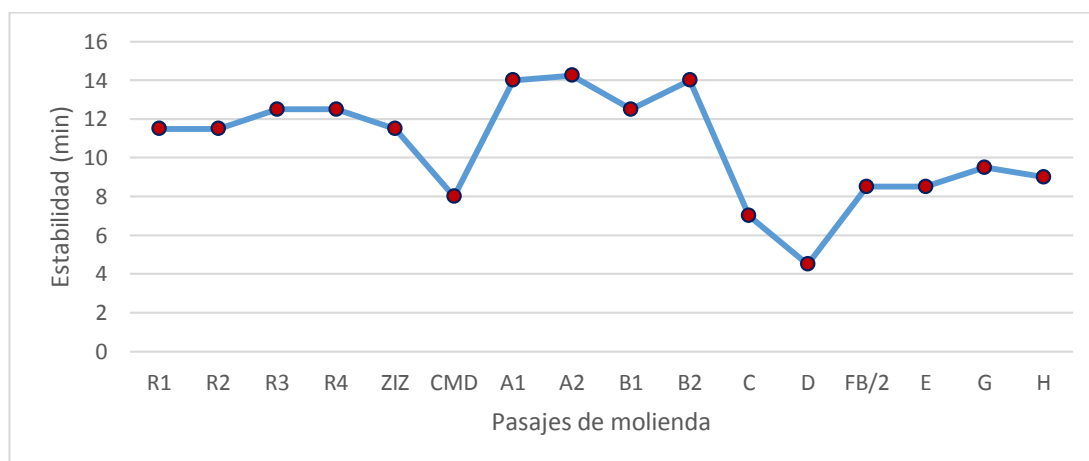
**Figura 18.** Grado de decaimiento (UF) de los pasajes de molienda

**Elaborado por:** Ana Puma

Además, se estableció la calidad industrial de acuerdo a la clasificación del desempeño enunciada por Alvares y Macas, (2011) y los reglamentos internos de la empresa de estudio, los pasajes CMD, C, D, FB/2, E, G y H tienen calidad buena y los pasajes con calidad óptima son R1, R2, R3, R4, ZIZ, A1, A2, B1 y B2. En cuanto a la harina final el promedio del grado de decaimiento es 28,33 UB menor a 30 UB que indica que corresponde a una calidad óptima.

## Estabilidad

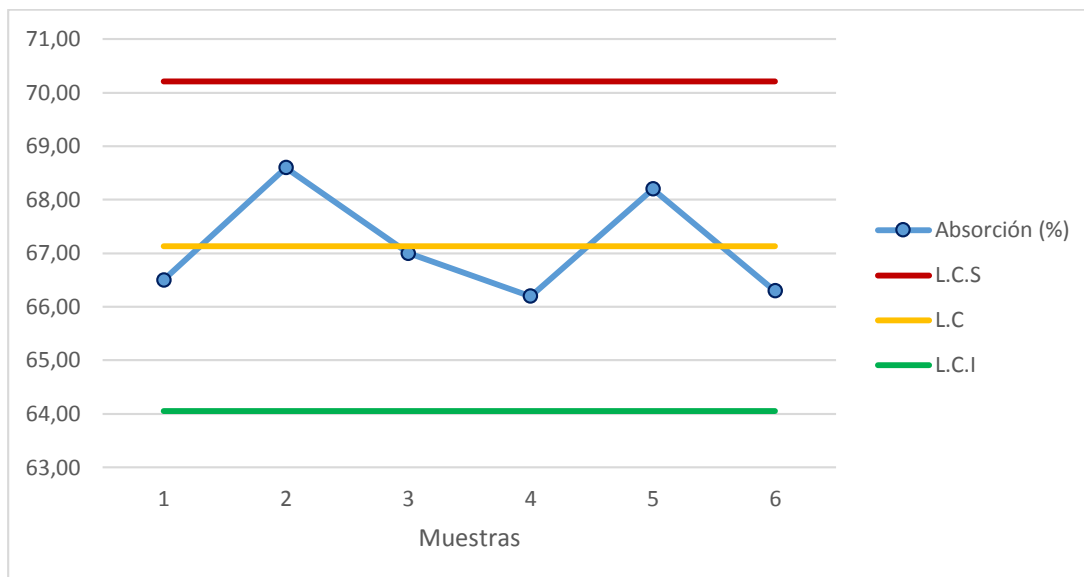
Se puede observar en el Figura 18 que el pasaje con menor estabilidad es el D con 4,5, según la clasificación de desempeño posee una calidad mediocre mientras que el pasaje con mayor estabilidad es el A2 con 14,25 minutos que corresponde a una calidad óptima, de acuerdo con Alvares y Macas, (2011). Esto se debe a que la estabilidad está dada por la cantidad de proteína presente en la harina, mientras más alta sea la cantidad de proteína mayor será el tiempo que resistencia al amasado (La Vega, 2009).



**Figura 19.** Estabilidad (min) de los pasajes de molienda

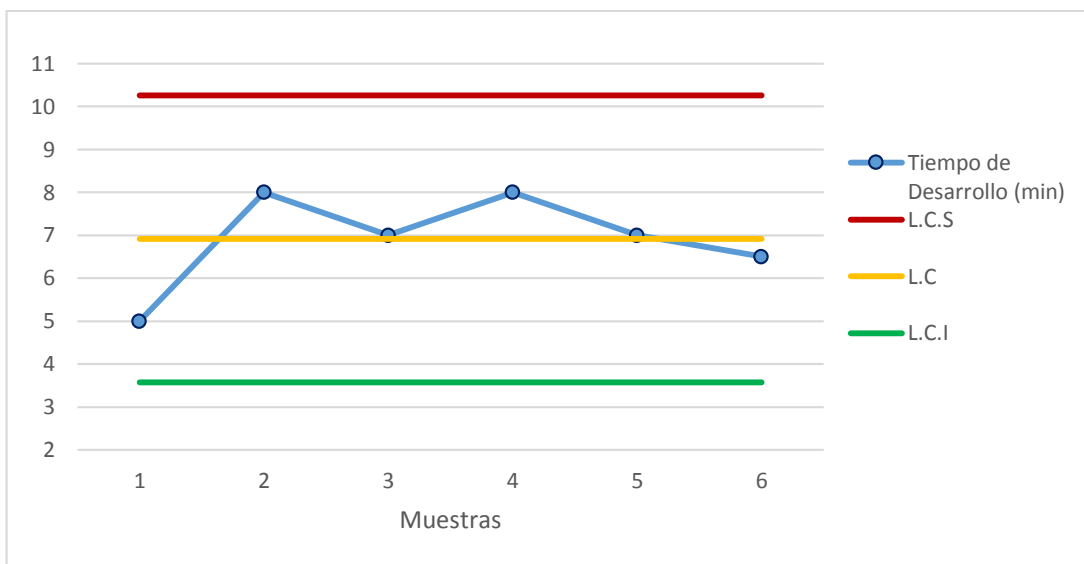
**Elaborado por:** Ana Puma

Con respecto al caudal másico de la Tabla 7 los pasajes D y C que poseen una calidad buena según la clasificación de desempeño son los que representan menor aporte, en cambio los pasajes A1 y R4 son los que aportan más kilogramos por minuto los cuales tiene calidad óptima, lo que da como resultado la obtención de una harina final con calidad industrial óptima.



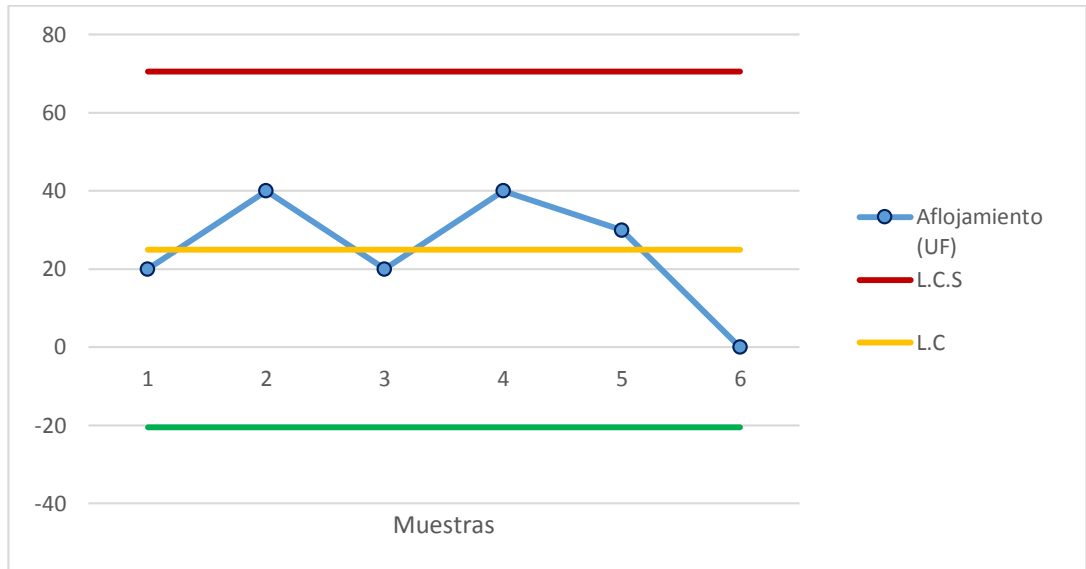
**Figura 20.** Gráfico de Control de la absorción (%) de la harina de trigo final

**Fuente:** Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., 2016.

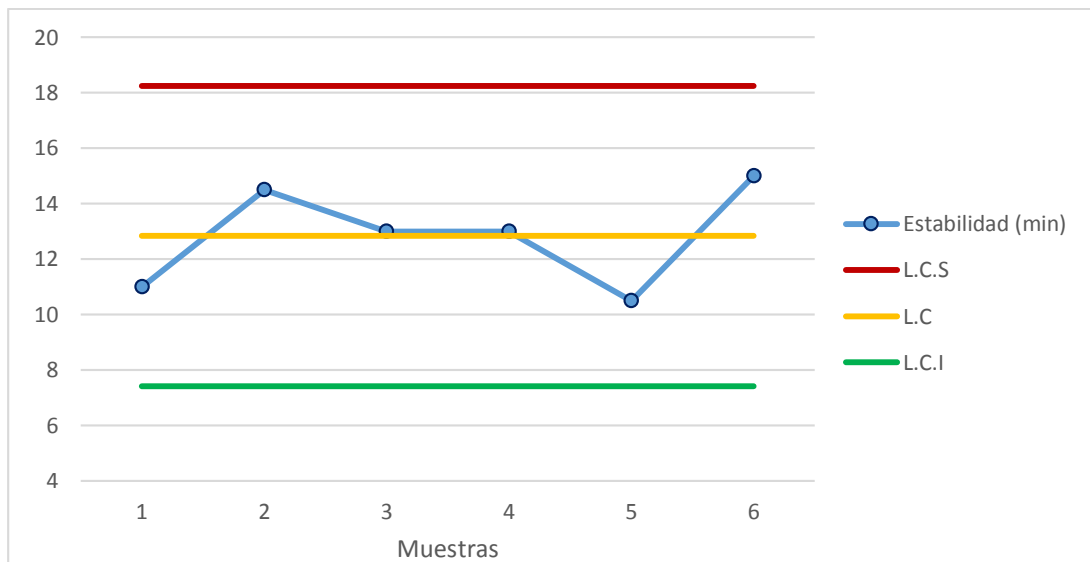


**Figura 21.** Gráfico de Control del tiempo de desarrollo (min) de la harina de trigo final

**Fuente:** Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., 2016.



**Figura 22.** Gráfico de Control del Grado de Decaimiento (UB) de la harina de trigo final  
**Fuente:** Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., 2016.



**Figura 23.** Gráfico de Control del Estabilidad (min) de la harina de trigo final  
**Fuente:** Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda., 2016.

De acuerdo a las figuras 19, 20, 21, 22 los parámetros farinográficos están dentro de los límites de control. Con los resultados obtenidos de los parámetros en estudio se establecieron las especificaciones las mismas que se presentan en la Tabla 8.

## Farinogramas

Para la interpretación de los farinogramas o también llamadas curvas de cada pasaje de molienda (ver Anexo B) se los clasificó en bases a los criterios de las Figuras 3 y 4 descritas por (Álvarez y Macas, 2011). Las curvas de los pasajes C, D, E, G y H se tratan de harina con una estabilidad corta y son consideradas harinas débiles con un grado de decaimiento más pronunciado que otros, mientras que las curvas de los pasajes R3, ZIZ, CMD y FB/2 se asemejan a las correspondientes a harinas elásticas. Los pasajes A1, A2, B1, B2 poseen elasticidad media y son harinas fuertes. Finalmente, las curvas de los pasajes R1, R2 y R4 corresponden a una elasticidad media y pertenecen a harinas fuertes.

## Especificaciones

El determinar la capacidad del proceso tiene por objeto establecer si el proceso está dentro de una distribución normal y por lo tanto bajo control. Puesto a que la variabilidad natural de los datos está dentro de las especificaciones o también llamado límite de tolerancia que da lugar a que el proceso sea capaz (Vilar, 1999).

**Tabla 8.** Resultados de las especificaciones de las características fisicoquímicas y reológicas de la harina final

Parámetros	Unidades	<sup>a</sup> $\mu$	<sup>b</sup> $\sigma$	<sup>c</sup> ES	<sup>d</sup> EI	<sup>e</sup> Cp	Cpk
<b>Humedad</b>	(%)	14,20	0,10	14,60	13,50	1,92	1,39
<sup>1</sup> <b>Cenizas</b>	(%)	0,57	0,02	0,800	0,000	8,53	4,87
<b>Almidón Dañado</b>	(%)	15,98	0,06	17,000	0,000	50,96	6,10
<b>Granulometría #7</b>	(%)	98,83	0,41	100,00	97,00	1,22	0,95
<b>Granulometría #9</b>	(%)	88,33	1,21	92,00	84,00	1,10	1,01
<sup>2</sup> <b>Absorción</b>	(%)	67,17	1,00	70,50	63,00	1,25	1,09
<sup>2</sup> <b>Tiempo de desarrollo</b>	min	7,03	1,10	10,50	3,00	1,14	1,07
<sup>2</sup> <b>Aflojamiento</b>	UB	28,33	9,83	60,00	0,00	1,02	0,55
<sup>2</sup> <b>Estabilidad</b>	min	12,00	1,76	17,50	5,00	1,18	0,86

<sup>1</sup>Se promedió con los resultados del laboratorio LACONAL.

<sup>2</sup>Se promedió los resultados obtenidos del equipo Mixolab del Laboratorio LACONAL.

<sup>a</sup> Promedio; <sup>b</sup> desviación estándar; <sup>c</sup> Especificaciones Superiores, <sup>d</sup> Especificaciones Inferiores, <sup>e</sup> Capacidad de proceso.

**Fuente:** Laboratorio de "Molinos e Industrias Quito y LACONAL.

**Elaborado por:** Ana Puma



De acuerdo a la Tabla 8 el Cp calculado para humedad es mayor a 1,33 lo cual significa que la harina posee una calidad adecuada; es decir, el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones.

En cuanto al índice Cpk calculado, se observa que es mayor a 1,25 y menor al valor de Cp lo que expresa la capacidad real del proceso y es considerado de capacidad satisfactoria (Gutiérrez y Róman, 2009).

Para los parámetros de cenizas y almidón dañado el valor de Cp es mayor a 2 lo que representa calidad seis sigma, respecto al Cpk su valor es mayor a 1,25 y es menor al valor de Cp, del cual se puede establecer que la capacidad real del proceso es satisfactoria. (Gutiérrez y Róman, 2009).

Para los parámetros de granulometría, absorción, tiempo de desarrollo, estabilidad y grado de decaimiento los valores de Cp calculados son mayores a uno lo que significa que pertenece a categoría de proceso 2, es decir, es parcialmente adecuado que requiere un control más estricto, mientras que los valores de Cpk son menores al Cp lo cual indica que no se encuentra centrado o bajo control (Gutiérrez y Román, 2009).

En consecuencia, con el análisis de todos los parámetros fisicoquímicos y reológicos de cada pasaje de molienda se determinaron las especificaciones tomando en cuenta el control estadístico y a los gráficos de cada pasaje que al unirse resulta un producto para panificación conforme con el cliente.

**Tabla 9.** Resultados de las características físico-químicas y requisitos de la harina final

<b>Características Físicoquímicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Máx.</b>	
Humedad	%	14,20	NTE INEN 518	14,5	
<sup>a</sup> Cenizas	%	0,570	NTE INEN 520	1,6	
Almidón Dañado	%	15,98	E. Internas Molino	17	
Granulometría	<sup>b</sup> M. #7	%	99,83	CODEX Stand 152	98
	<sup>b</sup> M. #9	%	88	E. Internas Molino	87-93

<sup>a</sup> Se promedió con los resultados del laboratorio LACONAL.

<sup>b</sup> M. representa malla.

**Fuente:** Laboratorio de “Molinos e Industrias Quito”.

**Elaborado por:** Ana Puma

De acuerdo con los resultados de las características fisicoquímicas presentados en la Tabla 9, se puede establecer que la harina final cumple con los requisitos bajo las Normas INEN, Normas CODEX y especificaciones internas de la empresa.

### **Control visual de la harina de trigo de cada pasaje de molienda**



**Figura 24.** Color de la harina de trigo de cada pasaje de molienda

En cuanto a la Figura 23 se puede ordenar los pasajes de acuerdo a su color del más oscuro hasta el más claro siendo el orden el siguiente: C, D, R4, G, CMD, R1, E, FB/2, R3, R2, H, B2, B1, A2, A1 y ZIZ.

Se puede ordenar también por la presencia de pecas, de mayor a menor, siendo: C, D, G, FB/2, CMD, E, R1 R4, R3, R2, B2, B1, A2, A1, H y ZIZ.



**Figura 25.** Color de la harina de trigo final

Como se puede visualizar en la Figura 24 la harina de trigo final posee un color semejante al B2 en su color y contenido de pecas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se evaluó que los pasajes que contribuyen con mayor porcentaje de humedad son de las primeras roturas R1 y R2 y los que lo hacen con menor porcentaje son el H y G, mientras circule por más rodillos menor será su humedad.
- Se evaluó que la granulometría de la malla 7 (200  $\mu\text{m}$ ) de todos los pasajes se encuentran dentro del rango  $\geq 97\%$ , con la malla 9 (150  $\mu\text{m}$ ) los pasajes con alto porcentaje de partículas gruesas son el H y E con 66,5% y 63% respectivamente.
- En la evaluación del contenido de cenizas, los pasajes que aportan con más porcentaje de cenizas son: el H y E con 0,890 y 0,729%, ya que son pertenecientes a los pasajes de colas donde existe mayor contaminación de salvado, mientras que los que aportan con menor porcentaje son: los A1 0,317% y A2 0,414% pertenecientes a los lisos limpios que tienen menor contacto con el salvado.
- En relación a la evaluación del almidón dañado los pasajes con menor porcentaje son de las primeras roturas R1 y R2 con 10,65 y 13,20%, en cambio los de mayor porcentaje son el H y E con 25,45% y 21,15%, esta característica es determinada por la molienda mientras más fuerte es y se utilice un trigo duro mayor es el porcentaje de almidón dañado.
- La influencia de la absorción de agua es dada por el almidón dañado mientras mayor sea este mayor será la absorción, siendo los pasajes con

mayor porcentaje el H y G con 85,5% y 82% y los de menor absorción los pasajes R1 y R2 con 60%.

- La influencia del aflojamiento está dada por el tipo de trigo si es fuerte presenta poco decaimiento, siendo que se trabaja con un trigo fuerte ningún pasaje tiene más de 40UB.
- La influencia de la estabilidad depende del contenido de proteína presente en la harina puesto que mientras más alto sea mayor es su estabilidad, siendo los pasajes con mayor tiempo de estabilidad A2 (14,25 min), B2 (14,25 min) y A1 (14 min) los cuales brindan la estabilidad a la harina final.
- Se estableció las especificaciones de calidad de la harina de trigo final en cada una de las características evaluadas, para humedad es de 13,5%-14,6%, cenizas máximo 0,8 (%), granulometría malla 7 mínimo de bajo malla de 97%, malla 9 bajo malla de 92-84%, almidón dañado máximo 17%, absorción de 70,5-63,0%, tiempo de desarrollo de 10,5 a 3 min, aflojamiento máximo 60 UB, estabilidad de 17,5-5,0 min.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda a Molinos e Industrias Quito realice un plan de control para la caracterización de los pasajes de molienda del molino actual para que así puedan establecer comparaciones entre las curvas de los parámetros evaluados del molino antiguo, de esta manera mejorar la calidad y el control de la harina de trigo comercializada.
- Realizar análisis de las características fisicoquímicas de cada pasaje con mayor frecuencia, teniendo como patrón las curvas obtenidas para poder llevar un mejor control tanto del proceso de molienda como de la calidad de la harina final.

- Se recomienda disponer de un control continuo del análisis de almidón dañado de cada pasaje como de la harina final durante el proceso para poder establecer las especificaciones internas de la empresa con ayuda de las citadas en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AACC (2011) Method 76-33.01 damaged starch – Amperometric method by SDmatic, In Internacional approved methods of cereal chemists. St Paul, MN.
- AOAC (2005). Método 923.03. Determinación de Cenizas Totales en Alimentos Método Gravimétrico. Métodos oficiales de análisis 18th Edición. Cap. 32, p. 2.
- Alvarado, J. D. D., Aguilera, J. M. y Juan de Dios Alvarado, J. M. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos* (No. TX 541. M47 2001).
- Álvarez D. y Macas M., (2011). Reingeniería del farinógrafo y extensógrafo de los laboratorios de investigación en tecnología de alimentos perteneciente a la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato (Tesis para la obtención del Título de Ingeniería). Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3204/1/T-ESPE-031068.pdf>
- Asociación Ecuatoriana de Molineros, (2016). Inicio - El trigo. Recuperado de: <http://www.asemol.com/>
- Baños B. (2013). *Caracterización reológica de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble* (Tesis de Ingeniería Agroindustrial). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/509/Caracterizacion%20reologica%20de%20masas.pdf?sequence=1>

- Badui, S., Bourges H., y Anzaldúa A., (1999). Proteínas. *Química de los alimentos. LONGMAN de México Editores, SA de CV*, 123-209.
- Barrera, G. (2014). “Efecto del almidón dañado sobre las propiedades de las masas panarias y la calidad de los panificados”. (Tesis Doctorado en Ciencias de la Ingeniería). Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1963>
- Barrera G., Bassi E., Reyes R., León A. y Ribotta, P., (2012). Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Agriscientia*, 29(2), 69-79.
- Berton, B., Scher, J., Villieras, F., y Hardy, J. (2002). Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology*, 128(2), 326-331.
- Calderón A., Campaña I., Cardós M., Puppo M.C., Ferrero C. y Añón M.C. (2006). *Evaluación de Calidad de diferentes fracciones de trigo obtenidas en los distintos pasajes del proceso de molienda*. (Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos). Córdoba. Recuperado de: [http://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?keywords=&id=05380&inst=yes&congresos=yes&detalles=yes&congr\\_id=148430](http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=05380&inst=yes&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=148430)
- Cazares M., (2011). *Evaluación físico-química y farinográfica de la harina de trigo (Triticum aestivum) obtenida en los pasajes de molienda de la industria “Molinos Miraflores”*. (Tesis de Ingeniería en Alimentos). Universidad Técnica Ambato. Recuperado de: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/834/1/AL460%20Ref.%203353.pdf>
- Chopin Technologies (2015). Manual de SDmatic. Métodos y Equipos para el control de las Características de los Cereales y derivados. Disponible online: <http://www.chopin.fr>

- Cigi (2013), Trigo del oeste de Canadá. Las ventajas de la calidad. Disponible: [https://cigi.ca/wp-content/uploads/2013/11/WheatClass\\_Spanish\\_13090901.pdf](https://cigi.ca/wp-content/uploads/2013/11/WheatClass_Spanish_13090901.pdf)
- Culbertson, J., (2004). Grain, cereal: ready-to-eat breakfast cereals. *Food processing: principles and applications*, 12, 239-248.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2013), Informe del USDA Oferta y Demanda de los Estados Unidos. Capítulo: Significado de las pruebas. Recuperado en la base de datos del INIAP.
- Díaz M., Sierra M., Megía M., Hernández, S., Navarro B., Galapero J., Quintana L., Candau J., García J., Zarzo M. y Sánchez M. (2004). *Manual para la elaboración de los gráficos de control de calidad de materiales*. Junta Andalucía. Recuperado de [http://www.aopandalucia.es/inetfiles/area\\_tecnica/Calidad/Control\\_de\\_calidad\\_de\\_materiales/Manual\\_graficas\\_control\\_calidad\\_materiales/manual\\_graficos\\_control\\_calidad\\_version\\_abril\\_2004.pdf](http://www.aopandalucia.es/inetfiles/area_tecnica/Calidad/Control_de_calidad_de_materiales/Manual_graficas_control_calidad_materiales/manual_graficos_control_calidad_version_abril_2004.pdf)
- Enríquez O., (2012). *Instalación de un banco de molienda para la producción de trigo planchado para mejorar la productividad de una planta de la industria alimentaria*. (Tesis de Ingeniería en Alimentos). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/biblioteca/tesis/1015.pdf>
- Espinoza C. y Quispe M., (2013), *Manual de tecnología de Cereales y Leguminosas*. Primera Edición. Huancayo. Recuperado de: <https://maqsolano.files.wordpress.com/2014/04/manual-de-tecnologia-de-cereales.pdf>
- Ferreras R., (2009). *Análisis reológico de las distintas fracciones de harina obtenidas de la molienda del grano de trigo*. (Tesis de Ingeniería Técnica Agrícola). Escuela Politécnica Superior de Zamora. Recuperado de\_



[http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/56078/1/PFC\\_Analisisreologico.pdf](http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/56078/1/PFC_Analisisreologico.pdf)

- Figueredo M., Mieres A., Monserrat E. y Vásquez E., (2004). *Evaluación del sistema de dosificación de aditivos para la harina panadera en una empresa molinera*. Revista Ingeniería UC. Vol. 11, N°2, 78-91.
- Fischer S., Ramos L. y Manjarrés C. (2013). *Análisis de un sistema de gestión de la cadena de suministro para la producción de harina de trigo en la ciudad de Guayaquil*. (Tesis de Ingeniería en Negocios Internacionales). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de: [http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D\\_Tesis\\_PDF/D-95517.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-95517.pdf)
- Gambarotta, L. (2005). *Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades físico-químicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BÜHLER MLU-202*. Tesis de Licenciatura en tecnología de Alimentos). Universidad del Belgrano, Buenos Aires. Recuperado de: <http://www-biblio.inti.gov.ar/gsd/collect/inti/index/assoc/HASHb4c0.dir/doc.pdf>.
- García, D. N., (2015). Apuntes de tecnología de Cereales y Oleaginosas.
- Gil, Á., y Majem, S. (2010). *Libro blanco del pan*. Ed. Médica Panamericana S.A. Madrid. Cap. 1 y 2.
- Giroux M. y Morris C., (1997). *A glycine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin*. Theoretical and Applied Genetic, Cap. 95, pp. 857-864.
- Gutiérrez H. y Róman V. (2009). *Control Estadístico de calidad y seis sigmas*, Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill. México. Cap. 9.

- Guttieri M., Stark J., O'Brien K. y Souza E., (2001). *Sensibilidad relativa del rendimiento de grano de primavera y parámetros de calidad al déficit de humedad*. Ciencia de los cultivos Cap.41, pp. 327-335.
- Hansen, B. L. y Ghare, P. M. (1989). *Control de calidad: teoría y aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- Hevia F. (2003). *Componentes químicos y algunas propiedades físicas del grano de trigo y su relación con la funcionalidad de las harinas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Carillanca. Temuco. (pp.47-71).
- Herrera C. y Peña, C., (2006). *Análisis fisicoquímico y microbiológico de las harinas de trigo producidas en El Salvador* (Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia) Universidad de el Salvador. Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/5051/1/10131724.pdf>.
- Hosenev R. (1994). *Structure of cereal. Principles of cereal science and technology*. 2nd Edition. Capítulo 1. Editado por Hosenev RC. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Inova Ingeniería, (2009), Tratamiento de granos. Equipos de aspiración. Ciclones. Recuperado de: <http://www.innova-ing.com/tratamiento-de-granos/ver/ciclones>
- Launay N., (1990). Un modelo no lineal simplificado para describir las propiedades viscoelásticas de las masas de harina de trigo de alto cizallamiento. *Química del cereal*. 67 (1):25-31.
- La Vega G., (2009). Proteínas de la harina de trigo clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*. Vol 13. N°38, pp. 27-32.

- Levine D., Krehbiel T. y Berenson M. (2006). *Estadística para administración*. Pearson Educación de México. Cap. 14.
- Lombardero L. y Gonzales C., (2007). *Control Estadístico de Procesos*. Bureau Veritas Formación, S.A. Recuperado de: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/121001/2016-periodo\\_4/Control\\_estadistico\\_procesos-Bureau.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/121001/2016-periodo_4/Control_estadistico_procesos-Bureau.pdf)
- Manual de Instrucción Farinográfico – Brabender, Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía Ltda.
- Manual de Operación Farinógrafo – Laboratorio Molinos e Industrias Quito Cía Ltda.
- Menkovska, M., Knezevic D. y Ivanoski M. (2002). *Protein allelic composition, dough rheology, and baking characteristics of flour mill streams from wheat cultivars with known and varied baking qualities*, Cereal Chem., 79, 720-725.
- Métodos Oficiales de Análisis – Cereales, derivados de cereales y cervezas PANREAC QUIMICA, S.A.
- Moreta M., (2015). Cuarenta y ocho mil toneladas de harina consumen el país. *Revista los Líderes* Recuperado de <http://www.revistalideres.ec/lideres/consumo-harina-ecuador-toneladas-molinos.html>
- Muñoz A., y Quezada S. (2002). *Producción y Proceso de Comercialización de Trigo Tropicalizado en el Litoral Ecuatoriano*. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3628/1/6155.pdf>
- Norma CODEX Stand 152., (1985). Norma del Codex para Harina de trigo.

- Norma Técnica INEN (2006). Harina de Trigo. Requisitos. Determinación de Análisis de Humedad.
- Norma Técnica INEN 517 (1980). Harina vegetal. Determinación del tamaño de partículas.
- Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura. (2017, febrero 2). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales, Página web oficial FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Pamplona J., (2006). *Salud por los alimentos*. Sexta edición. Editorial Safeliz S. L., España. pp. 295. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=t9Az\\_8Yzgr4C&pg=PA293&dq=partes+del+grano+de+trigo&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=partes%20del%20grano%20de%20trigo&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=t9Az_8Yzgr4C&pg=PA293&dq=partes+del+grano+de+trigo&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=partes%20del%20grano%20de%20trigo&f=false)
- Peña R., (2002). *Wheat for bread and other foods*. In B.C. Curtis, S. Rajaram, H. Gomez. Bread Wheat. Rome.
- Peña B., R. J., Hernández Espinosa, N., Pérez Herrera, P., Villaseñor Mir, H. E., Gómez Valdez, M. M., y Lozano, M. (2008). *Calidad de la cosecha de trigo en México: Ciclo otoño-invierno 2006-07*. Publicación Especial del Conasist. México D.F. pp. 23.
- Prillwitz y Cia. SRL, (2004). Clasificación y cernido. Separador de discos SDA. Recuperado de: [http://www.prillwitz.com.ar/catalogo/sda/\\_separador\\_a\\_discos\\_de\\_granos\\_y\\_semillas.htm](http://www.prillwitz.com.ar/catalogo/sda/_separador_a_discos_de_granos_y_semillas.htm)
- Quintana de Viedma, L. P., Kohli, R., y MM Gómez, G. (2004). *Avances y resultados de la investigación del trigo en el Paraguay* (No. IICA-A50 280).

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Asunción (Paraguay) CAPECO, Asunción (Paraguay) IICA, Asunción (Paraguay).

- Quaglia CC., (1991). *Ciencia y tecnología de Panificación*. Editorial Acribia. España.
- Radwag, (2013). Manual de instrucciones del Analizador de Humedad de la serie PMC modelo PMC 50. Número de instrucción: LM-51-08/07/13 ES. Disponible on line: <http://www.radwag.com>
- Ram, S., Dawar, V., Singh, R. P. y Shoran, J. (2005). Application of solvent retention capacity tests for the prediction of mixing properties of wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 42(2), 261-266.
- Recalde H. y Rodríguez M., (2003). *Utilización de las enzimas alfa-amilasas y xilanasas con ácido L-ascórbico como mejorantes de las cualidades panarias de la harina de trigo*. (Tesis de Ingeniería en Alimentos). Universidad técnica de Ambato. Ambato - Ecuador.
- Rocha F., (2015). *Efecto de la Granulometría de la mezcla con inclusión de harina de trigo suave Triticum aestivum en la calidad de pellet como alimento concentrado para vacas lecheras* (Tesis de Ingeniería Agroindustrial). Universidad Técnica del Norte. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5645/1/03%20EIA%20383%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Seghezzo, M., (2014). *Calidad en trigo candeal*. (1a Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Buenos Aires.
- Seghezzo M. y Molfese E., (1999), *Chacra experimental integrada Barrow. Trigo Candeal. Criterios para la evaluación de calidad*. Publicación Miscelánea N°2, Ministerio de asuntos agrarios, Buenos Aires.

- Serna S., (1996). Química almacenamiento e industrialización de los cereales. Primera edición AGT editor. SA, México.
- Streckel y Schrader, (2017). Limpieza de Cereales. Despedradora., Recuperado de: <http://www.streckel-schrader.com/espanol/productos/limpieza-de-cereales-/despedradora.html>
- Suárez, M. (2012), *Interaprendizaje de Probabilidades y Estadística Inferencial con Excel, Winstats y Graph*. Ibarra, Ecuador. Primera Edición. Imprenta M y V.
- Tester R., Patel T. y Harding S., (2006). *Caracterización de almidón dañado*. Editorial Zaragoza. España. Pp. 1-35.
- Van Bockstaele, F., De Leyn, I., Eeckhout, M., y Dewettinck, K. (2008). Rheological properties of wheat flour dough and the relationship with bread volume. I. Creep-recovery measurements. *Cereal chemistry*, 85(6), 753-761.
- Van Der Borcht A., Goeseaert H., Veraverbeke W.S. y Delcour J., (2005). Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: Overview of main Processes and the Factors Involved. *Journal of cereal Science* (41) 221-237.
- Van Soest, J. J., & Vliegenthart, J. F. (1997). Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends in biotechnology*, 15(6), 208-213.
- Vázquez, D. (2009). Aptitud industrial de trigo, Daniel Vázquez. *Serie Técnica*. 177.

- Vázquez G. y Matos A. (2009). *Evaluación de algunas características fisicoquímicas de harina de trigo peruana en función a su calidad panadera*. Universidad Peruana Unión. Recuperación de: [revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/download/7/pdf](http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/download/7/pdf).
- Verdoy P., Mahiques J., Pellicer S. y Prades R. (2006), *Manual de control estadístico de calidad: teoría y aplicación*. Publicacions de la Universitat Jaume I. Castelló de la Plana. Cap. 3 y 4.
- Vilar J., (1999), *Como mejorar los procesos en su empresa: el control estadístico de procesos (SOC, herramienta fundamental en el incremento de la competitividad)*. Editorial Fundación Confemetal. Cap. 4 y 5, pp. 71-234.
- Villanueva R., (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, (32), 231-246.
- Villanueva, R., Leong, M., Posner, E. y Ponte, J., (2001). Split milling of wheat for diverse end-use products. *Cereal Foods World*, 46(8), 363-369.
- Webb, C. y Owens G., (2003). *Fresado y calidad de la harina en la fabricación del pan Mejorando la calidad*. Stanley P. Cauvain. Ediciones CRC Press LLC, EUA. Cap.3.

**ANEXO A**

**TABLA DE DATOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE  
GRANULOMETRÍA**



**Tabla 10.** Datos experimentales del ensayo de granulometría de los pasajes de molienda.

	<b>Duplicado 1</b>				<b>Duplicado 2</b>			
	<b>#7</b>		<b>#9</b>		<b>#7</b>		<b>#9</b>	
	<b><sup>a</sup>SM</b>	<b><sup>b</sup>BM</b>	<b><sup>a</sup>SM</b>	<b><sup>b</sup>BM</b>	<b><sup>a</sup>SM</b>	<b><sup>b</sup>BM</b>	<b><sup>a</sup>SM</b>	<b><sup>b</sup>BM</b>
<b>R1</b>	1	99	13	87	1	99	9	91
<b>R2</b>	1	99	12	88	1	99	11	89
<b>R3</b>	1	99	9	91	1	99	5	95
<b>R4</b>	3	97	12	88	3	97	13	87
<b>ZIZ</b>	1	99	13	87	3	97	13	87
<b>CMD</b>	1	99	13	87	1	99	11	89
<b>A1</b>	1	99	20	80	1	99	18	82
<b>A2</b>	1	99	22	78	2	98	23	77
<b>B1</b>	1	99	14	88	1	99	8	92
<b>B2</b>	1	99	7	93	1	99	11	89
<b>CMD</b>	1	99	9	81	1	99	11	89
<b>D</b>	1	99	20	80	1	99	18	82
<b>FB/2</b>	1	99	12	88	1	99	14	86
<b>E</b>	1	99	40	60	1	99	34	66
<b>G</b>	1	99	9	91	1	99	11	89
<b>H</b>	1	99	33	67	2	99	34	66

<sup>a</sup> Sobre Malla; <sup>b</sup> Bajo Malla

**ANEXO B**

**RESPUESTAS EXPERIMENTALES DEL ANÁLISIS FARINOGRÁFICO  
(FARINOGRAMAS)**

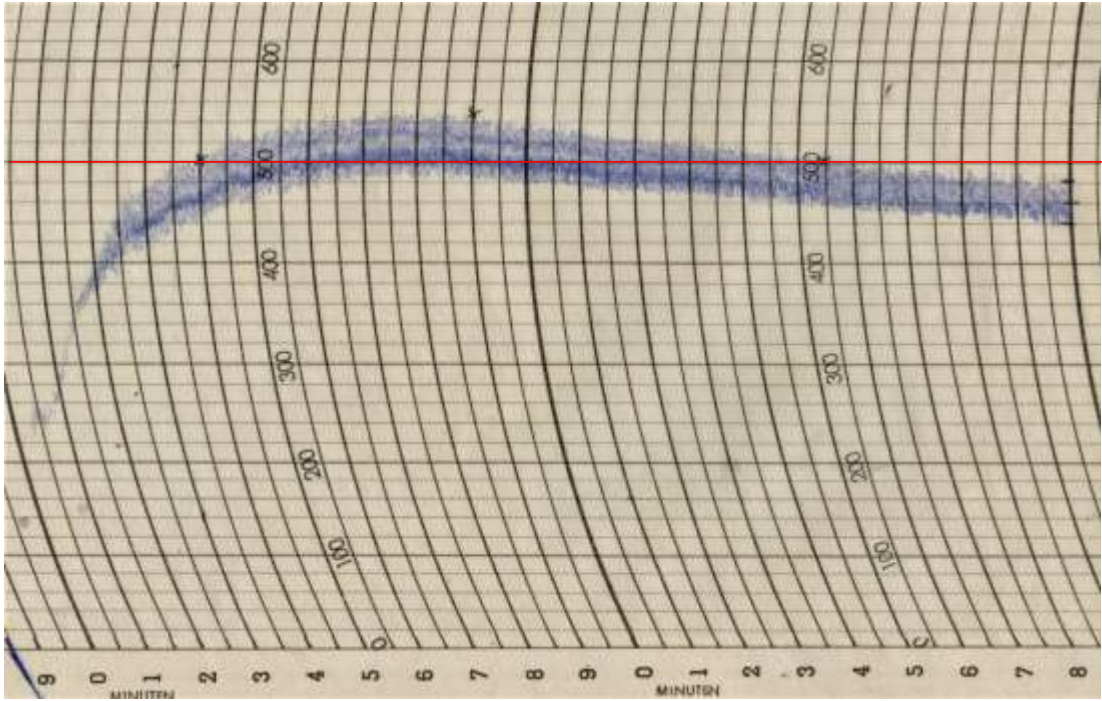


Figura 26. Farinograma de R1

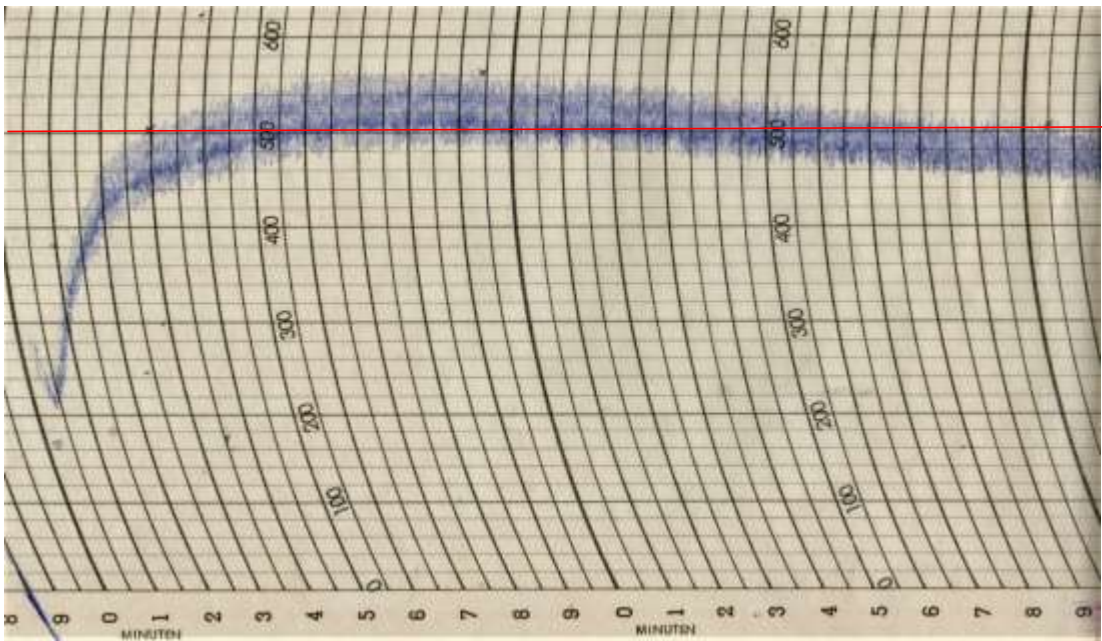
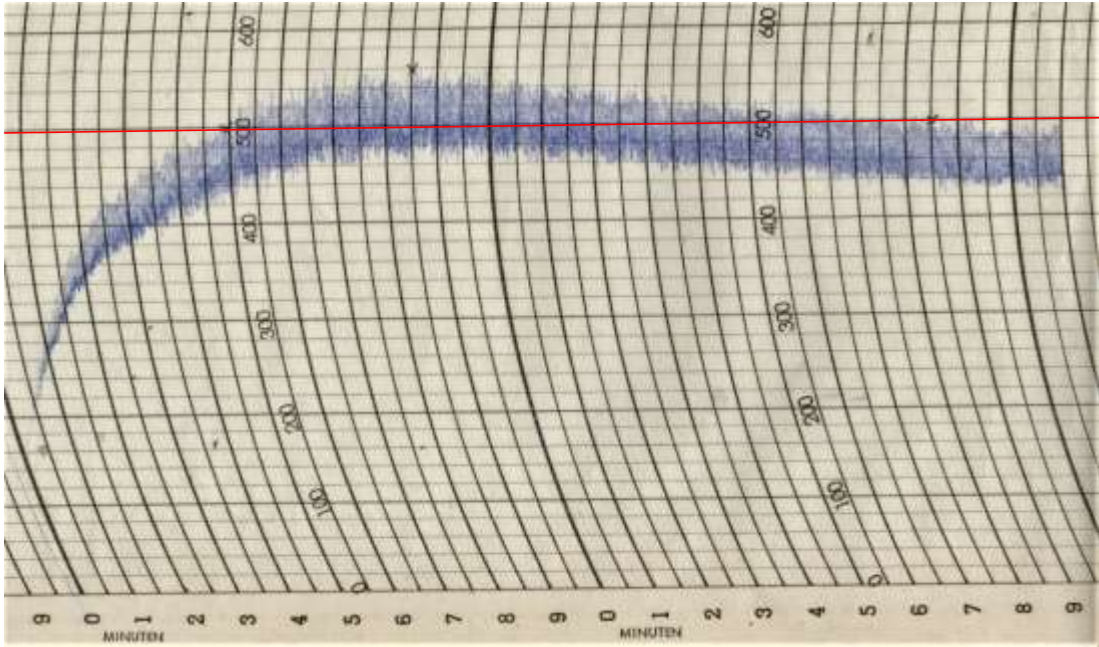
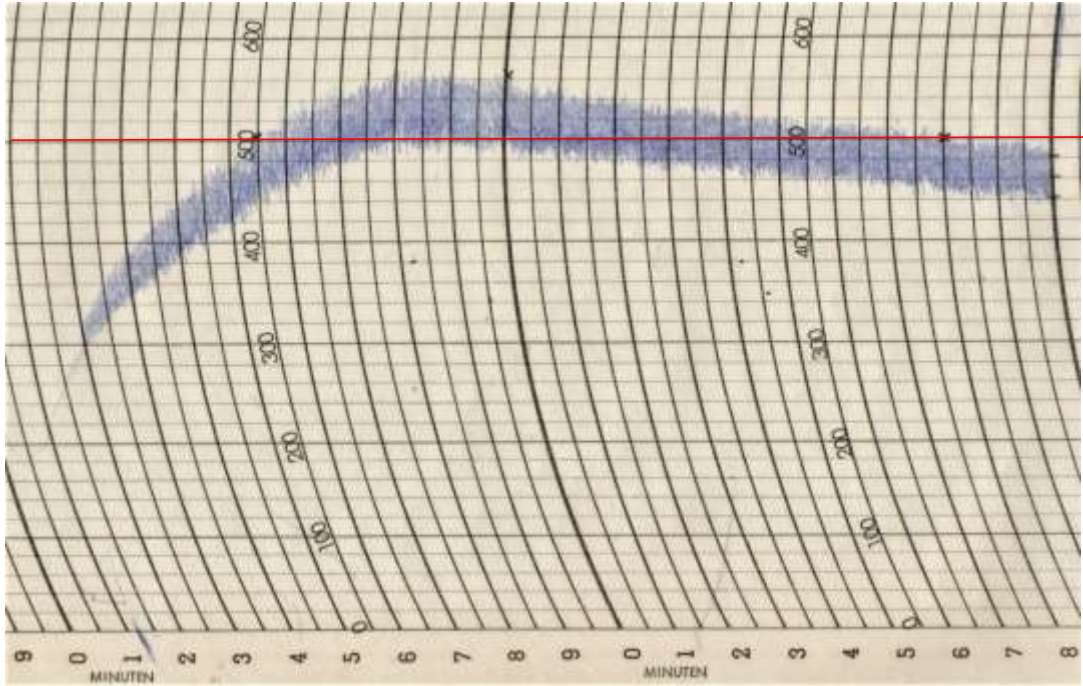


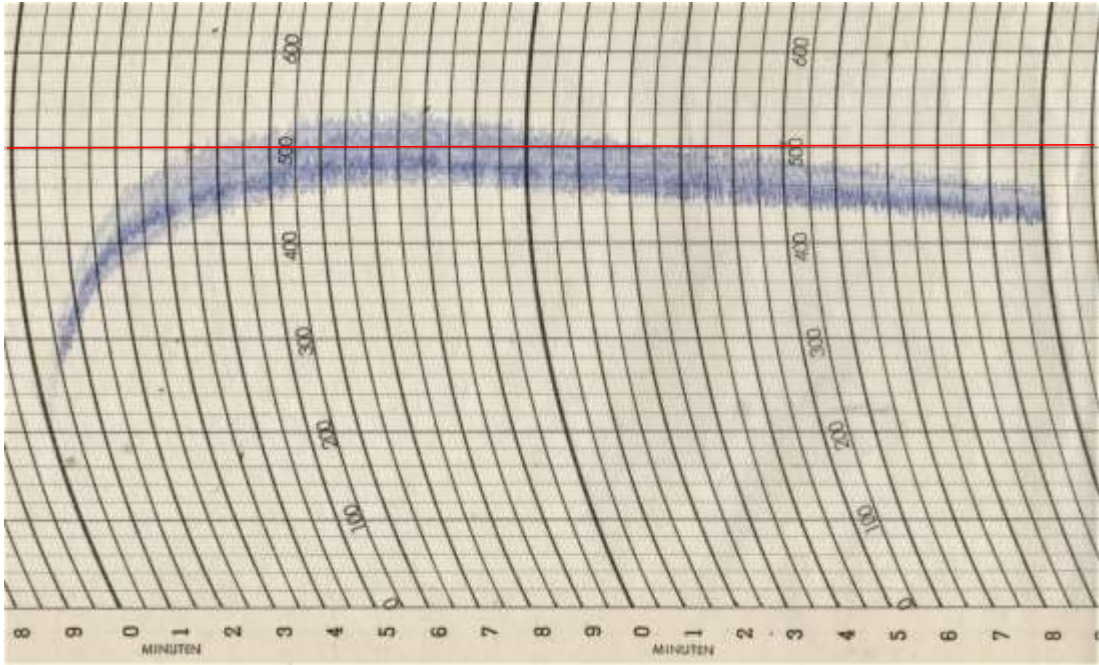
Figura 27. Farinograma de R2



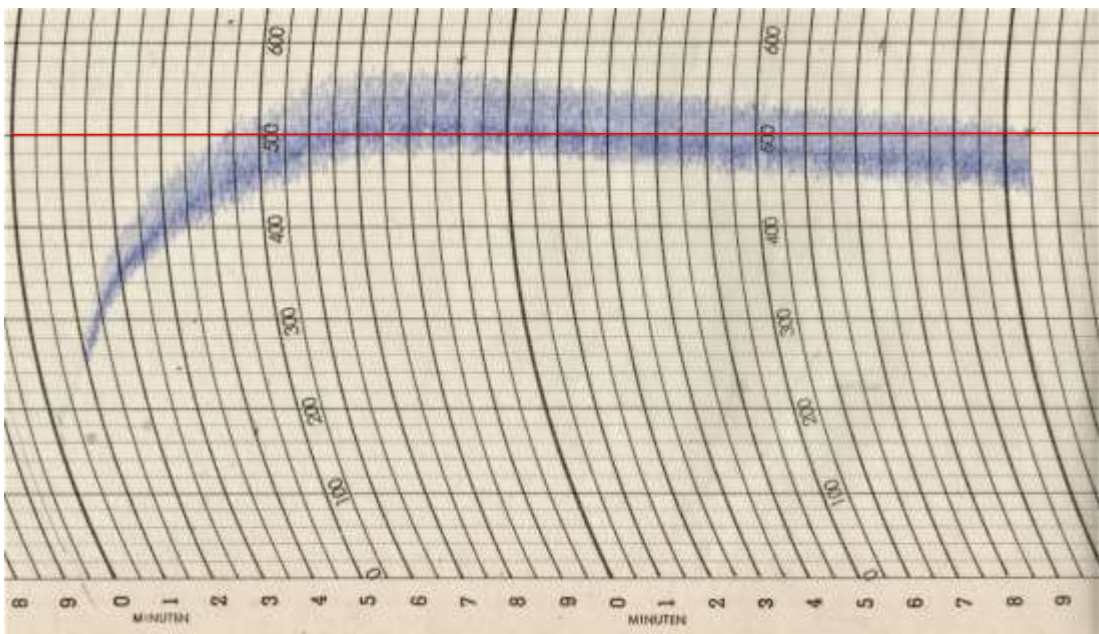
**Figura 28.** Farinograma de R3



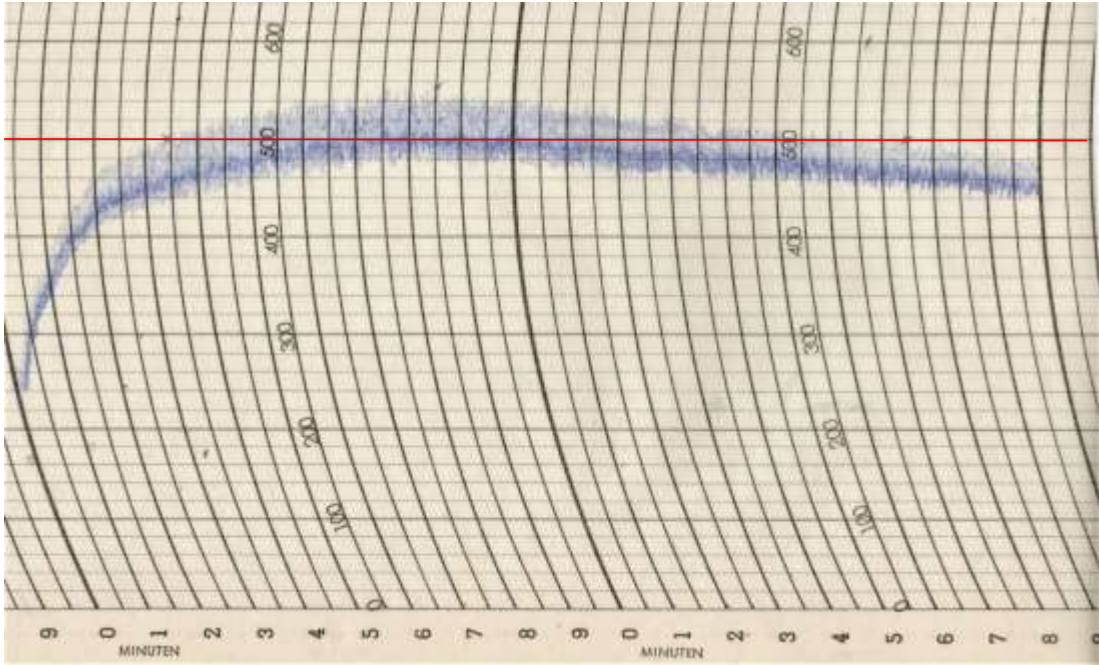
**Figura 29.** Farinograma de R4



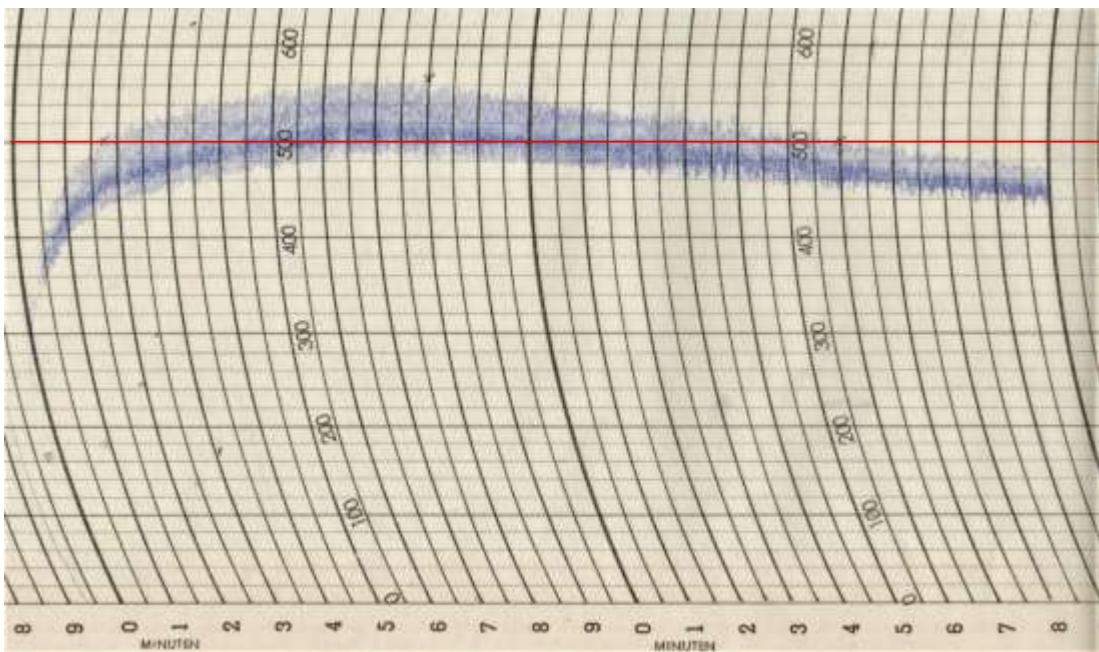
**Figura 30.** Farinograma de ZIZ



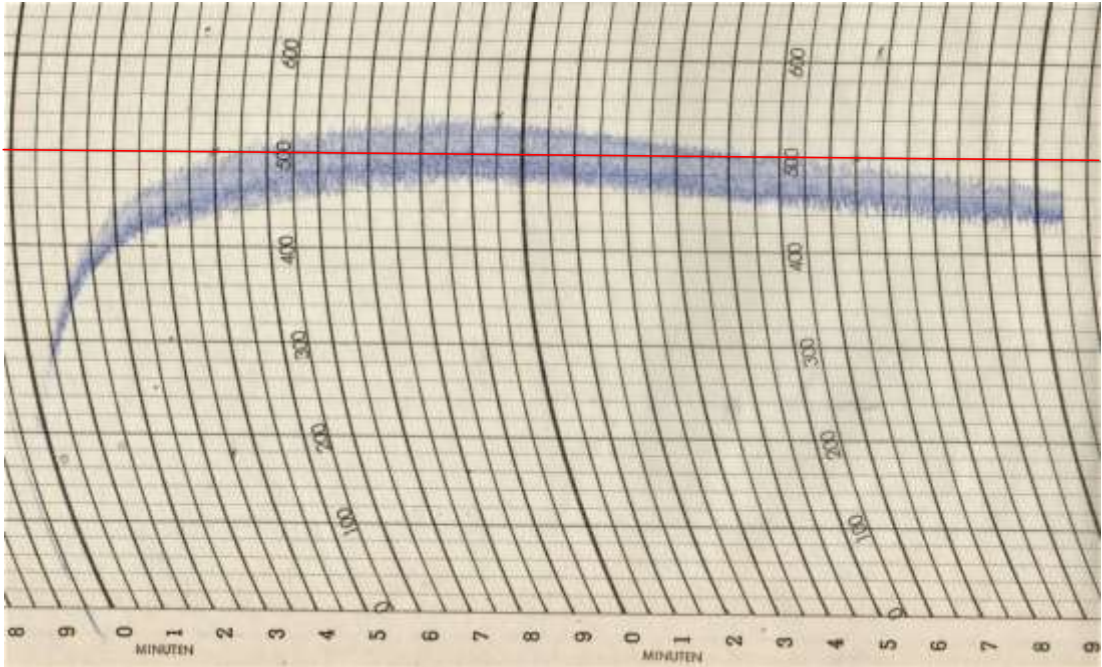
**Figura 31.** Farinograma de CMD



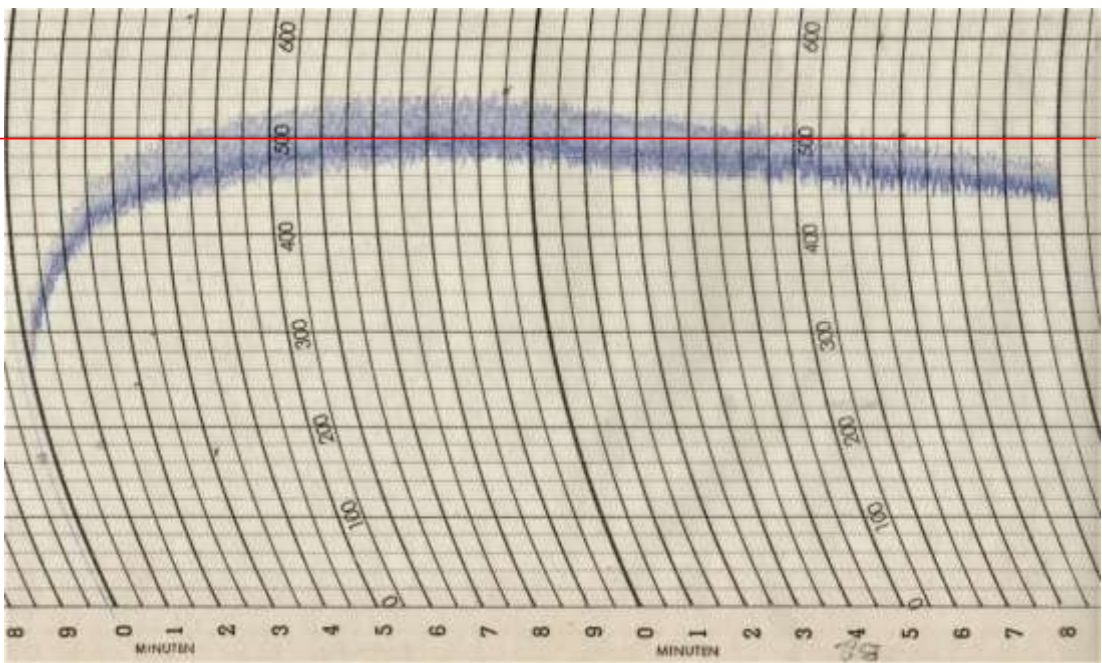
**Figura 32.** Farinograma de A1



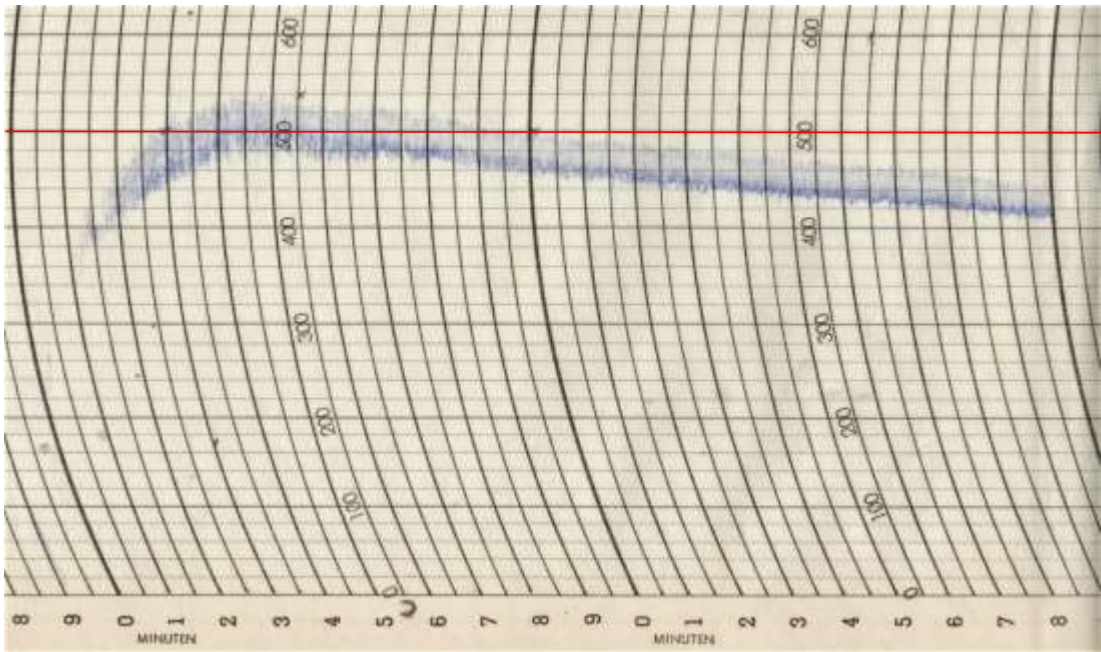
**Figura 33.** Farinograma de A2



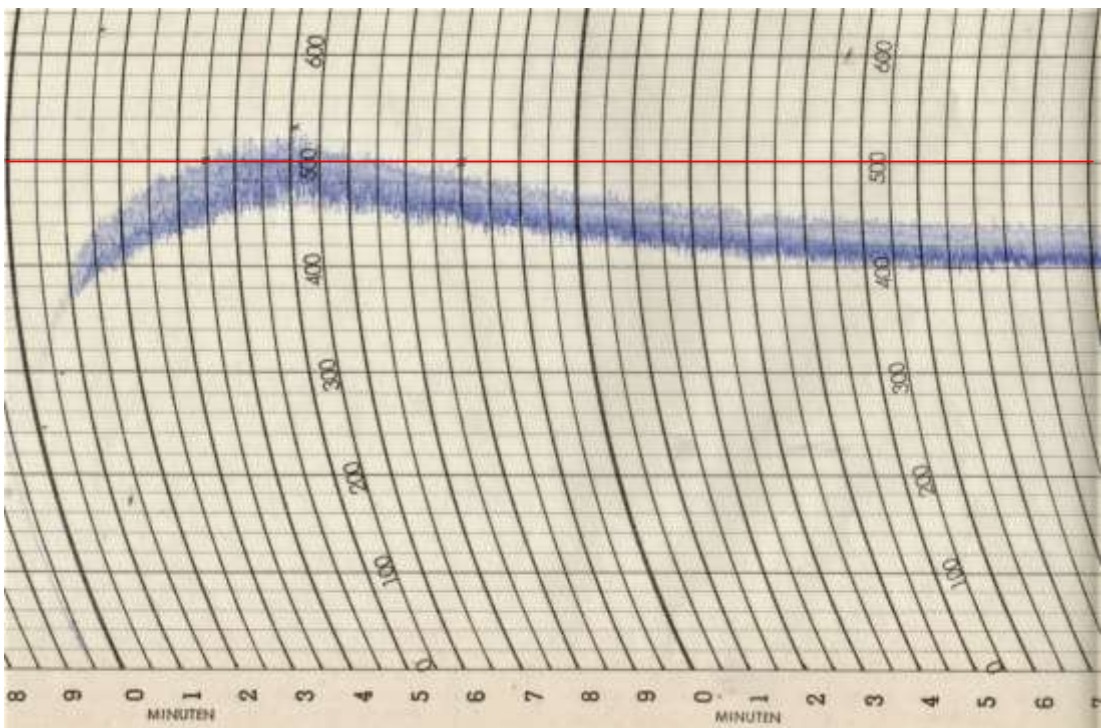
**Figura 34.** Farinograma de B1



**Figura 35.** Farinograma de B2

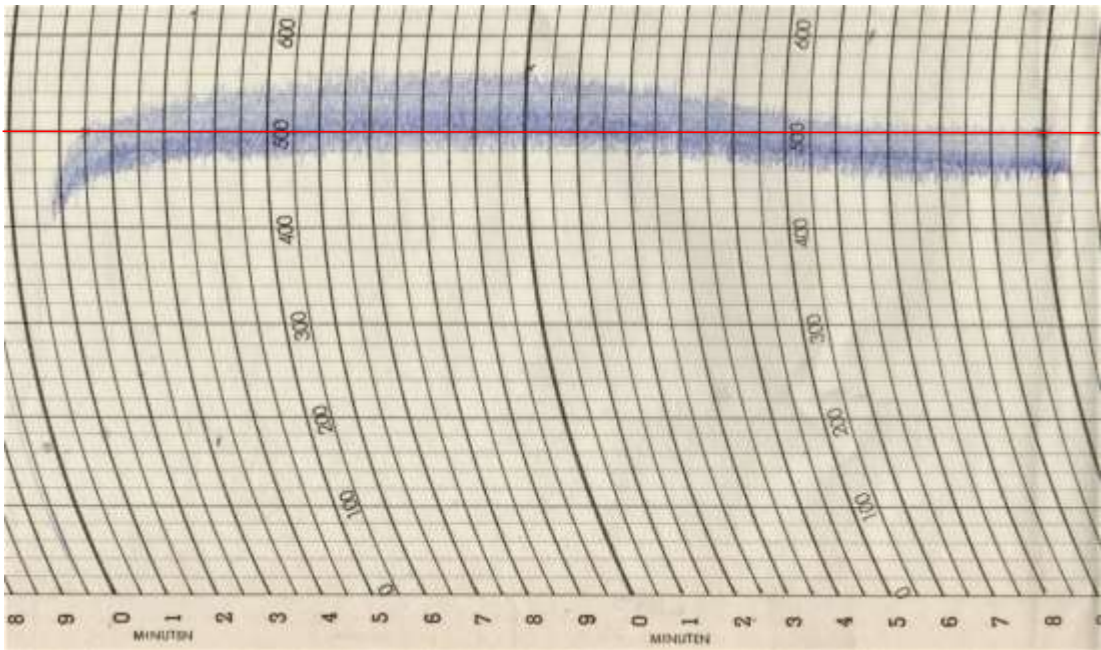


**Figura 36.** Farinograma de C

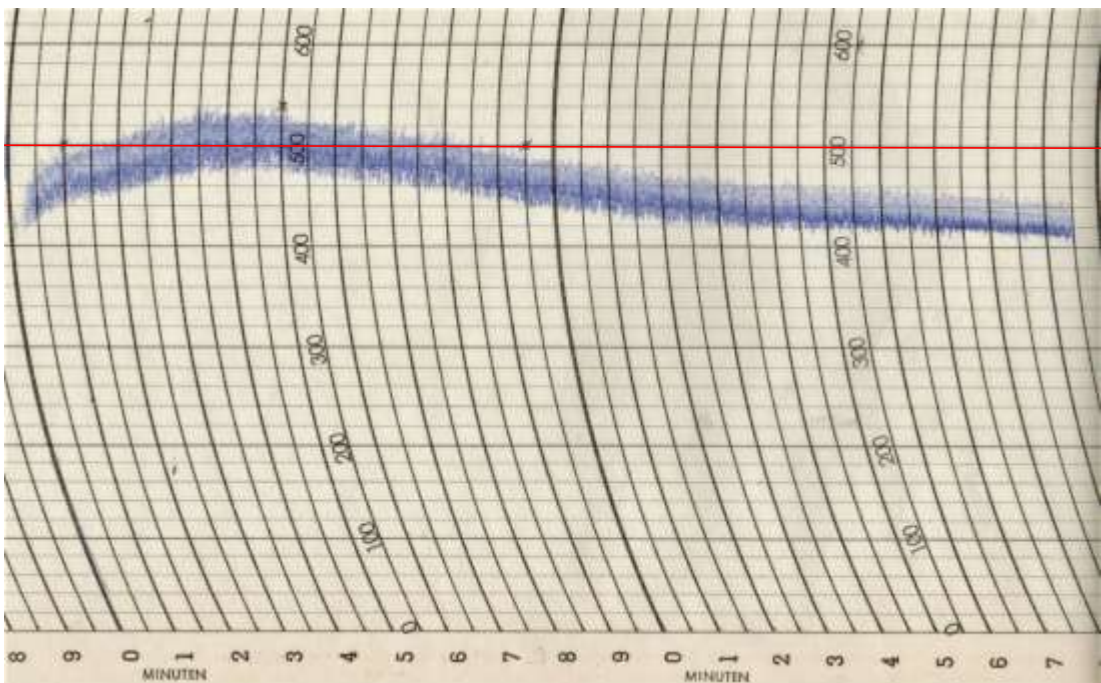


**Figura 37.** Farinograma de D

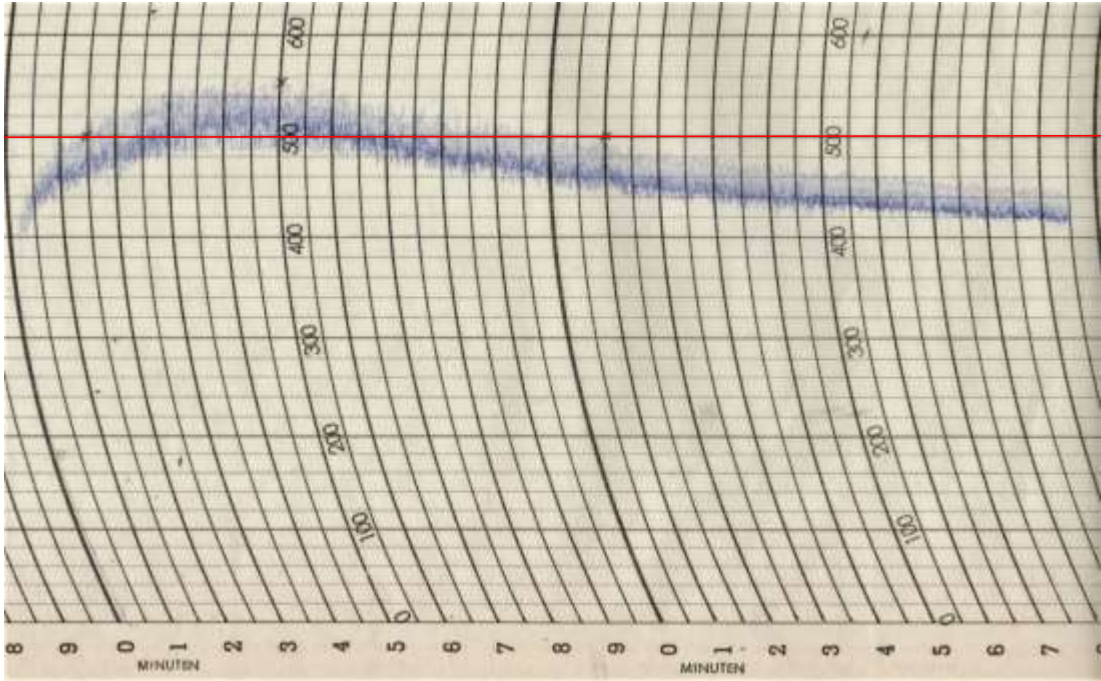




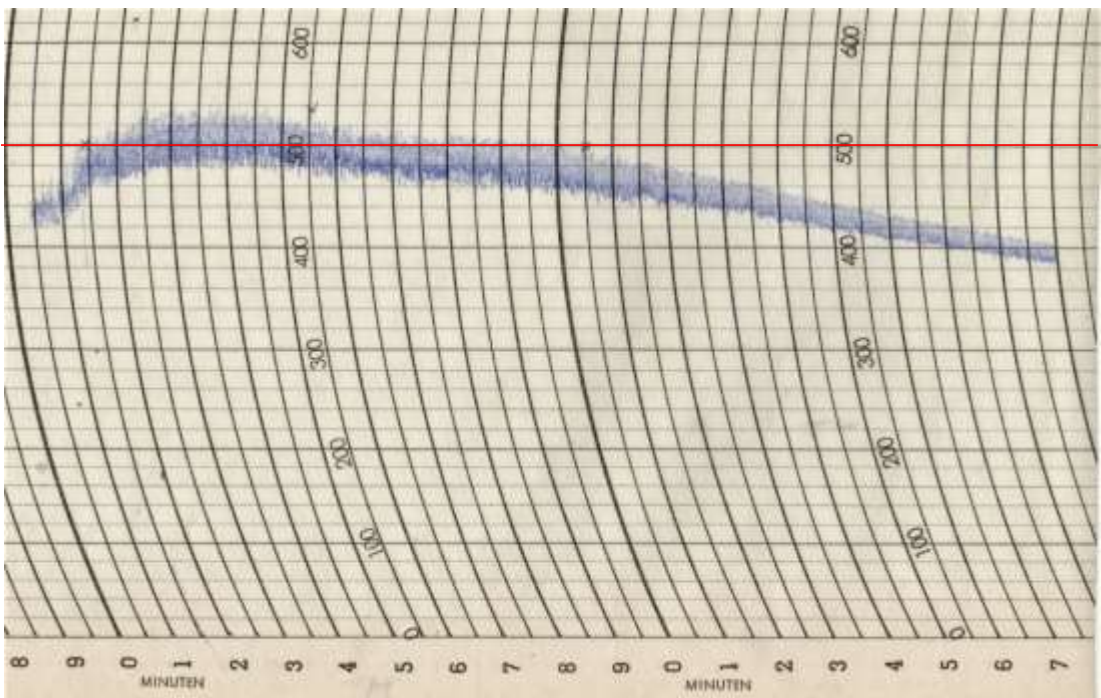
**Figura 38.** Farinograma de FB/2



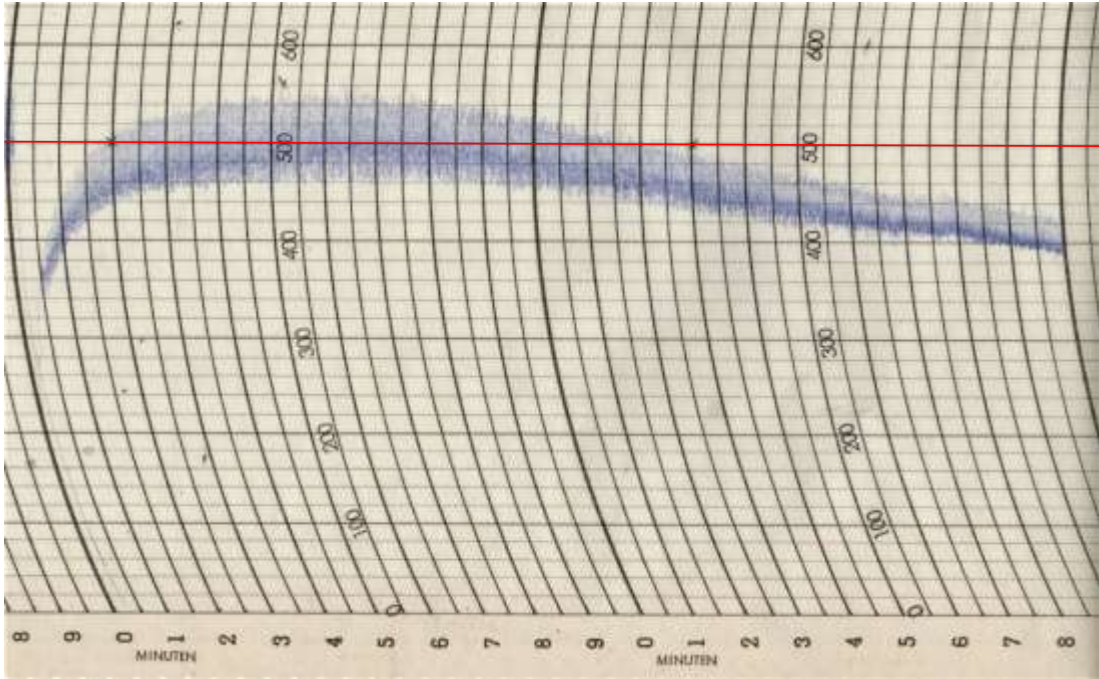
**Figura 39.** Farinograma de E



**Figura 40.** Farinograma de G



**Figura 41.** Farinograma de H



**Figura 42.** Farinograma de la Harina Final

## **ANEXO C**

### **FOTOGRAFÍAS DE LA PARTE EXPERIMENTAL Y DE LAS INSTALACIONES DE “MOLINOS E INDUSTRIAS QUITO”**

a



b



**Figura 43.** a Centrifuga de harina de trigo; b Bancos de Molienda

a



b



**Figura 44.** a Sifter de seguridad; b Plansifter



**Figura 45.** a Silo de almacenamiento de harina; b Suministro de agua



**Figura 46.** a Purificador; b Zaranda



**Figura 47.** Área de embalsamiento de harina de trigo



**Figura 48.** Determinación de Humedad



**Figura 49.** Ensayo de Granulometría



**Figura 50.** Ensayo de farinografía



**Figura 51.** Determinación de cenizas



**Figura 52.** Análisis de almidón dañado



## **ANEXO D**

**PROCEDIMIENTOS EXPERIEMENTALES UTILIZADOS PARA LA  
EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y  
FARINOGRÁFICAS.**

## DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

Norma Técnica INEN 616 (2006) Harina de trigo.

### a) Instrumental:

- Balanza infrarroja para determinación de humedad marca RADWAG modelo PMC 50.
- Cuchara para muestra
- Platillo de aluminio para muestra.

### b) Procedimiento:

- 1) Encender la balanza con el Botón ON/OFF.
- 2) Levantar la tapa y verificar en la pantalla del menú que se encuentre el peso en gramos en cero.
- 3) Colocar el platillo de aluminio sobre la platina de pesado y presionar el botón Start/Stop debe quedar en cero.
- 4) Cerrar la tapa y presionar el botón ▲0/T▼ (Tare) visualizar en la pantalla en la parte derecha superior que en la figura del plato tenga el dibujo de la muestra sobre él y la lectura de cero.
- 5) Una vez tarado, colocar en el platillo de aluminio 5 g de muestra, dispersar la muestra por todo el platillo de forma homogénea y bajar la tapa de la balanza.
- 6) Presionar el botón Start/Stop.
- 7) Finalmente, cuando el equipo emite un sonido que indica que se finalizó la determinación de humedad, leer y anotar el resultado obtenido en porcentaje (%).

## **ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Norma Técnica INEN 517 (1980), Harina de origen vegetal. Determinación del tamaño de partículas

### **a) Instrumental:**

- Equipo Simon vibrador de tamices
- Tapa y Recolector
- Juego de tamices (mallas 7xx-200 $\mu$ m, 9xx-150 $\mu$ m, 10xx-132 $\mu$ m, 26xx-800 $\mu$ m).
- Cronómetro
- Balanza de precisión A: 0,01g ó A: 1g.

### **b) Procedimiento:**

- 1) Pesarse en la balanza 100g de producto a analizar
- 2) Transferir la muestra al tamiz que debe estar colocado sobre el recolector y tapar
- 3) Colocar la columna de tamices y fijar ajustando las llaves en el Equipo Simon vibrador
- 4) Encender el equipo enchufando en el tomacorriente que tiene cronometrado el tiempo o tomar el tiempo en el cronómetro (1 minuto).
- 5) Una vez concluido el tiempo suspender el movimiento del equipo y retirar la columna.
- 6) Desintegrar los aglomerados pasando suavemente el pincel contra la malla.
- 7) Pasar la fracción de muestra retenida en el tamiz a una hoja de papel y pesar.
- 8) Leer y anotar el resultado obtenido en % en la hoja de registro.

## DETERMINACIÓN DE CENIZAS.

Método Oficial de la AOAC 923.03, 18va Edición (2005)

### a) Instrumental:

- Balanza analítica, sensibilidad 0,1mg.
- Crisoles o cápsulas de porcelana, sílice o platino.
- Desecador con deshidratante adecuado (silicagel con indicador, óxido de calcio u otro).
- Placa calefactora u otro
- Mufla regulada a  $550 \pm 2^\circ\text{C}$
- Material usual de laboratorio.

### b) Procedimiento:

- 1) Efectuar el análisis en duplicado.
- 2) Pesar, la harina en una cápsula previamente calcinada y tarada ( $m_0$ ) entre 2 a 5g de muestra homogenizada ( $m_1$ ).
- 3) Proceder a precalcinarse previamente la muestra en placa calefactora, evitando que se inflame, luego colocar en la mufla a  $550^\circ\text{C}$  hasta cenizas blancas o grisáceas.
- 4) Preenfriar en la mufla apagada y luego traspasar a un desecador y pesar a temperatura ambiente. Las cenizas que contiene manganeso o hierro pueden presentar cierta coloración.
- 5) Pesar ( $m_2$ ).

### c) Cálculos:

$$\% \text{Cenizas Totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

#### **Donde:**

$m_1$ : masa de la cápsula con las cenizas, en gramos.

$m_2$ : masa de la cápsula con la muestra, en gramos.

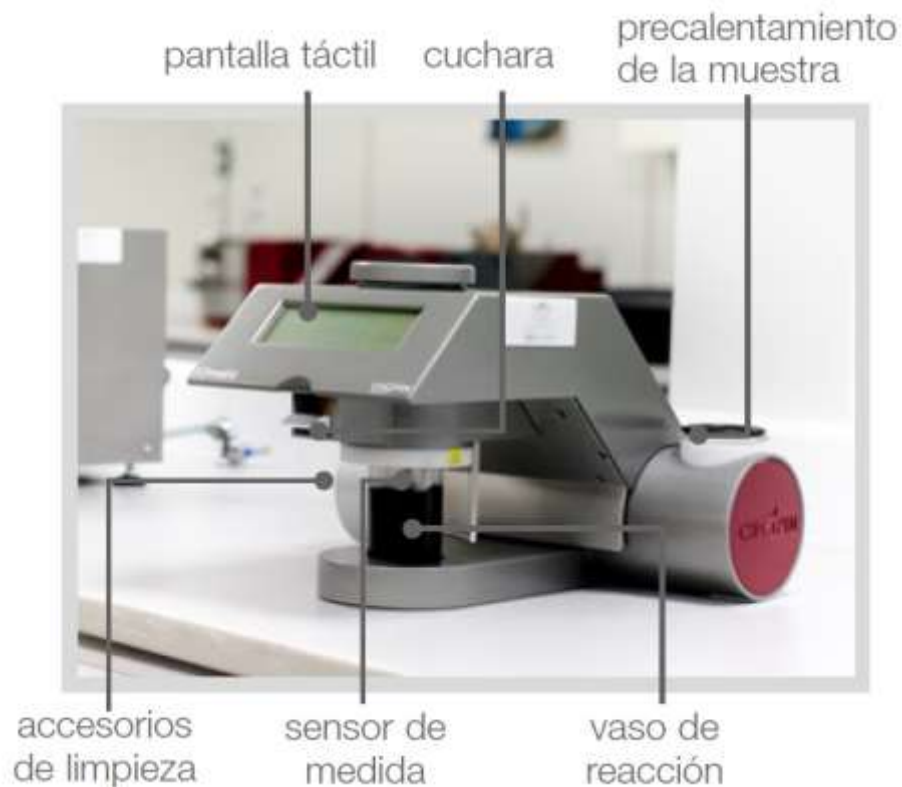
$m_0$ : masa de la cápsula vacía, en gramos.

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con dos decimales.

## ANÁLISIS DE ALMIDÓN DAÑADO.

Método Amperométrico con SDmatic 76-33.01 AACC, 11va Edición (2016).

El SDmatic utiliza el método de análisis basado en los trabajos de Medcalf y Gilles (1965). Este método se basa en la medición de yodo de una suspensión diluida de harina. La rapidez con la que el yodo es absorbido por el almidón, depende de que tan dañado sea éste. Cuanto más débil es el valor medido, mayor resulta la tasa de almidón dañado.



**Figura 53.** SDmatic equipo para análisis de almidón

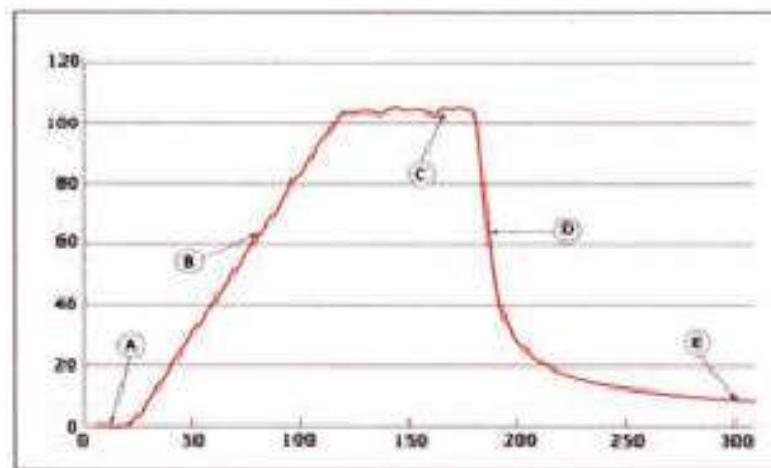
**Fuente:** Chopin Technologies (2015).

### a) Procedimiento

- 1) Antes de realizar el análisis se debe ejecutar la determinación del porcentaje humedad de la muestra de harina.
- 2) Se prepara previamente una solución de 1:1 de Ácido bórico y yoduro de potasio y se agrega una gota de tiosulfato de sodio 0,1 N.

- 3) Seguidamente (Ver Figura 7) se coloca el vaso en el equipo de modo que esté en contacto el sensor de medida con la solución, el cual debe llegar a 35°C.
- 4) A continuación, se coloca en la cuchara de la harina.
- 5) Se sigue los pasos correspondientes que se muestran en la pantalla táctil, en este punto se digita el porcentaje de humedad de la harina antes determinada para que proceda con la medición el SDmatic.

**b) Descripción de las fases de medición que realiza el SDmatic**



**A:** Tiempo 0: inicio del ciclo de medición.

**B:** Desde que la resistencia sumergible lleva la solución a la temperatura adecuada, la sonda produce yodo electroquímicamente en función de la masa de harina introducida.

**C:** Esa parte de la curva permite la medida exacta de la cantidad de corriente (y por tanto de yodo) creada (valor máximo  $I_m$ ).

**D:** La harina se introduce al final del tiempo "c", que es donde se fija el yodo; la corriente disminuye en función de la absorción del yodo.

**E:** Medición del valor residual ( $I_r$ ) a los 300 segundos.

Resultado de la absorción del yodo, almidón dañado  $IA = I_r / I_m$ .

## **PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS FARINOGRÁFICO.**

Manual de Instrucción Farinógrafo – Brabender, Manual de operación Farinógrafo – Laboratorio Molino Royal, Métodos Oficiales de Análisis – Cereales, derivados de cereales y cerveza PANREAC QUÍMICA, S.A.

### **a) Instrumental:**

- Farinógrafo de Brabender: Calibración de pluma indicadora y pluma registradora a 0 UF, Velocidad del papel: 1cm/min.
- Termostato con circulación de agua
- Bureta de absorción graduada de 135ml a 225ml /45% a 75% de absorción. A: 0,2ml, 1%.
- Balanza de precisión A: 0,1g.
- Espátula de plástico
- Piceta plástica
- Matraz Erlenmeyer de 500ml
- Equipo para determinación de humedad.

### **b) Reactivos:**

- Agua Destilada
- Muestra de harina

### **c) Calibración del Farinógrafo de Branbender**

- 1) Verificar el nivel del aparato, si es el caso ajustarlo moviendo los tornillos de las patas y observando el nivel de la burbuja de agua instalado en el lado derecho del equipo.
- 2) Conectar el cable a la toma de 220 V.
- 3) Prender el termostato y fijar la temperatura a  $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- 4) Encender el equipo (palanca izquierda EIN/AUS) sin instalar la amasadora.
- 5) Observar que la pluma indicadora del dial marque cero, si es el caso ajuste con la pesa del brazo colocado al lado izquierdo.
- 6) Llevar a cero la pluma registradora de tinta por medio de vueltas del tornillo del brazo Dampi, que se encuentra a la derecha del equipo.

- 7) Apagar el equipo e instalar la amasadora.
- 8) Prender nuevamente el equipo y observar que las dos plumas marquen 0. En caso de no coincidir, ajuste la del dial con la pesa del brazo izquierdo y la registradora con el tornillo del brazo del Dampi y su ajuste micro con el tornillo ubicado en el otro extremo de la pluma registradora.

**d) Procedimiento para Análisis Farinográfico**

- 1) Calibrar el Farinógrafo de Brabender mediante el procedimiento c.
- 2) Determinar el contenido de humedad de la harina mediante el procedimiento L.C.C.PAH.01.
- 3) Llenar la bureta con agua a  $30 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  hasta encerrar.

**e) Curva de Titulación:**

- 1) Pesar la harina de acuerdo a su contenido de humedad. La corrección del peso de la harina se realiza utilizando la Tabla de Corrección para Peso de Harina 300g al 14% de Humedad (Ver Tabla 11)
- 2) Colocar el papel farinográfico de tal manera que la pluma registradora se encuentre en contacto con una línea de 9 min.
- 3) Colocar el peso de harina en la amasadora del farinógrafo y encender el equipo.
- 4) Mezclar la harina durante un minuto.
- 5) Comenzar a añadir agua destilada de la bureta en la esquina delantera de la derecha de la amasadora cuando la pluma registradora cruce la línea de 0 min.
- 6) Añadir agua (aproximadamente 60% para harinas fuertes y 55% para harinas débiles) en cantidad suficiente hasta absorción ideal o hasta alcanzar 500 UF debe aumentarse agua).
- 7) Correr el farinograma (aproximadamente 4 minutos) en los cuales se mantenga constante el registro sobre 500 UF.
- 8) Apagar el equipo, retirar la pluma registradora del papel y remover la masa de la mezcladora colocando harina o afrechillo, limpiar ayudándose de un paño o esponja húmeda.



- 9) Terminando el proceso de limpieza, armar el equipo y ponerlo a punto para correr la curva estándar de análisis.

**f) Curva Estándar**

- 1) Repetir los pasos 1) a 5) del procedimiento e).
- 2) Agregar la cantidad de agua que se determinó en la curva de titulación lo más rápidamente posible.
- 3) Una vez alcanzada la consistencia máxima, continuar el ensayo durante 12 minutos.
- 4) Repetir el paso 8) del procedimiento e).
- 5) Obtener el farinograma e interpretar la curva registrada, expresando los resultados en una hoja de registro de Análisis Farinográfico.

**Tabla 11.** Tabla de Corrección de Peso de Harina para 300 g al 14%

<b>Humedad de harina (%)</b>	<b>Peso de harina (g)</b>	<b>Humedad de harina (%)</b>	<b>Peso de harina (g)</b>
9,50	285,09	14,00	300,00
9,60	285,39	14,10	300,35
9,70	285,72	14,20	300,70
9,80	286,02	14,30	301,05
9,90	286,35	14,40	301,40
10,00	285,68	14,50	301,75
10,10	286,98	14,60	302,11
10,20	287,31	14,70	302,46
10,30	287,62	14,80	302,80
10,40	287,94	14,90	303,17
10,50	288,27	15,00	303,52
10,60	288,60	15,10	303,88
10,70	288,93	15,20	304,25
10,80	289,23	15,30	304,60
10,90	289,56	15,40	304,96
11,00	289,89	15,50	305,33
11,10	290,21	15,60	305,33
11,20	290,54	15,70	306,05
11,30	290,86	15,80	306,41
11,40	291,20	15,90	306,77
11,50	291,53	16,00	307,14
11,60	291,86	16,10	307,51
11,70	292,19	16,20	307,87
11,80	292,52	16,30	308,24
11,90	292,85	16,40	308,61
12,00	293,18	16,50	308,98
12,10	293,52	16,60	309,35
12,20	293,85	16,70	309,72
12,30	294,18	16,80	310,10
12,40	294,52	16,90	310,47
12,50	294,86	17,00	310,84
12,60	295,19	17,10	311,22
12,70	295,53	17,20	311,59
12,80	295,83	17,30	311,97
12,90	296,21	17,40	312,35
13,00	296,55	17,50	31,73
13,10	296,89	17,60	313,11
13,20	297,23	17,70	313,49
13,30	297,57	17,80	313,87
13,40	297,92	17,90	314,25
13,50	298,27	18,00	314,63
13,60	298,61	18,10	315,02
13,70	298,96	18,20	315,40
13,80	299,30	18,30	315,79
13,90	299,65	18,40	316,18