

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE MASAS  
FUNCIONALES (SIN GLUTEN)**

**POR:**

**YAJAIRA FLORICEL CHÁVEZ BERMÚDEZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**Saltillo, Coahuila, México  
Junio de 2014**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO



DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE MASAS  
FUNCIONALES (SIN GLUTEN)

Presentado por:

**YAJAIRA FLORICEL CHÁVEZ BERMÚDEZ**

**TESIS**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial  
para Obtener el Título de.

**INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

El presente trabajo ha sido dirigido por el siguiente comité:

Asesor principal

Dr. Heliodoro de la Garza Toledo

Asesor

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor

Dr. Efraín Castro Narro

Asesor externo

Ing. José Favian Hernández Ángel

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Dr. Ramiro López Trujillo



BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO DEL 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE MASAS  
FUNCIONALES (SIN GLUTEN)

Presentada por:

YAJAIRA FLORICEL CHÁVEZ BERMÚDEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial  
Para Obtener en Título de

INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobada por el comité:

Lic. Laura Olivia Fuentes Lara

Presidente

Dr. Antonio F. Aguilera Carbó

Vocal

Dr. Heliodoro de la Garza Toledo

Vocal

M.C. Sarahí del Carmen Rangel Ortega

Vocal suplente

Dr. Ramiro López Trujillo  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO, 2014

*Un sueño, una meta, un reto, una promesa, una herencia, hoy llega a su fin, un papel que lleva plasmadas horas de desvelo, esfuerzo y lágrimas de ausencia.*

*Resistir esa era la palabra de todos los días, levantarse temprano no era fácil, hacer coincidir tu actitud con tus sentimientos tampoco fue cosa fácil de lograr, hoy me encuentro con las manos llenas de recompensas, mismas manos que llegaron llenas de sueños e inseguridad, hoy se van llenas de logros.*

*Cuando llegue, solo tenía una meta, solo venía por una cosa, terminar una carrera pero hoy me voy con más que eso, me voy con una familia más grande, llena de amigos, muchísimos compañeros pero sobre todo y para mí lo más importante, miles de experiencias, lecciones de vida, muestras de bondad, generosidad y respeto. Señal de que Mi padre Dios Siempre estuvo aquí.*

*Ahora si ha llegado la hora de compartir lo que he aprendido, de ayudar, de ser el ser humano que la UAAAN formo durante 4 años, al lado de personas extraordinarias que caminaron junto a mí.*

*Llego la hora de recibir esa herencia por la que mis padres lucharon, por la que mis padres sudaron y por la que mis padres pelearon contra todos y contra todo. Llego la hora de que ese buitrecito que salía del cascaron hace 4 años sacuda sus alas y vuele*

## DEDICATORIAS

*Este trabajo y este logro, están dedicados principalmente a mi padre Dios, Rey supremo que siempre me acompaño, que me dio las fuerzas, la paciencia, la sabiduría, la inteligencia y sobre todo la vida y la oportunidad de obtener todo lo que hoy tengo y recibo.*

*A mi padre Arnulfo Chávez García por amarme y creer en mí, que aunque ya no está con nosotros sé que está orgulloso de mí donde quiera que este, papi lo que un día te dije, está hoy en este trabajo, tu esfuerzo y sacrificio valió la pena, a mi madre Gloria Bermúdez García, Mami también te dedico este trabajo ya que es el reflejo de lo que me has enseñado, a ser fuerte, luchar y aguantar, porque las cosas no se acaban hasta que ya no hay nada más que hacer*

*A mi esposo Saul Avila Lang, por siempre estar ahí apoyándome en las decisiones que he tomado, en los logros que hemos celebrado juntos y en las aflicciones cuando las cosas no salían bien, a mis hijas, Yasul Avila Chávez y Saira Yicel Avila Chávez porque aunque aún son pequeñas alegran mi vida con el solo hecho de existir e hicieron que los sacrificios valieran la pena pues son el motivo por el que hoy estoy aquí.*

*A mis hermanos y hermanas Emeterio, Miguel, Mario, Arnulfo, Gloriela, Araceli, Dalila Chávez Bermúdez, por siempre apoyarme y corregirme como han creído que es mejor, por todas las cosas que me han dado y los sacrificios que han hecho, por su tiempo, su esmero y sencillamente por el amor que compartimos.*

*A mis sobrinos y sobrinas que han sido parte del motor del despertar cada día, pues quiero dejarles un buen ejemplo que seguir.*

*A mi tía Carolina Bermúdez García por ser parte importante en mi vida y en la de mi familia.*

*A mis amigas y amigos que siempre me ayudaron y apoyaron estando lejos o cerca, para todas aquellas personas que desinteresadamente estuvieron conmigo y me apoyaron como pudieron.*

*Para esta gran familia que pudo ser testigo de esta etapa de mi vida, este logro es para comparto con ustedes.*

YAJAIRA FLORICEL CHÁVEZ BERMÚDEZ

## *AGRADECIMIENTOS*

*El caminar por la vida no ha sido fácil, me he caído muchas veces, me he levantado otras tantas, he aprendido a perder y a ganar, pero lo más importante es que he aprendido a perdonar.*

*Creer que se puede no es suficiente si no se actúa. Mi sueño nunca fue ser ingeniera, ni casarme y mucho menos tener hijos, pero las cosas no siempre son como uno quiere que sean, es por eso que hay que aprender a recibir con alegría lo que Dios tiene para darnos porque él es quien sabe lo que es mejor para nosotros.*

*Aprender a recibir y aceptar las responsabilidades no es fácil, siempre me ha gustado ayudar a las personas, he sentido la necesidad de dar algo de mí a los que menos tienen, es por eso que hoy me siento feliz por ser quien soy, pero esto no hubiese sido posible si cada uno de ustedes no hubiere estado ahí.*

*Señor mi Dios dueño de todo lo que existe, del pasado y del futuro, quiero decirte GRACIAS por todo lo que me has dado, gracias por la vida, por mi familia, mi salud y mi carrera universitaria. Gracias por todo lo que me has permitido hacer, el trabajo que he realizado y las cosas que pasaron por mis manos, Gracias por ser mi Padre, protector y mi todo.*

*A mis Padres por haberme regalado los mejores años de su vida, por darme su juventud, su experiencia y su incomparable amor, por formar los cimientos de amor, valores, trabajo y apoyo que hoy me permiten crecer.*

*A mi Esposo que día y noche a estado a mi lado, que ha caminado junto a mí, que ha celebrado conmigo y que me ha levantado cuando mis fuerzas faltan y mi cuerpo me dice que no puede más, a ese hombre que pareciera incansable, gracias.*

*A mis hijas, mis pequeñas princesas, por resistir la situación por la que pasamos estos 4 años, espero y que la lección de vida también la hayan podido aprender ustedes, hoy aún son muy pequeñas pero llegara el día en que crecerán y se darán cuenta de las cosas, gracias princesas.*

*A mis hermanos y hermanas que con su apoyo físico, moral y económico forman parte de este gran logro, todos estamos lejos y separados pero eso no impide que los quiera. Gracias por*

*estar ahí, por ser mis hermanos, por aceptarme tal cual soy, por compartir sus experiencias conmigo y siempre buscar lo mejor para mí.*

*A mi tía Carolina Bermúdez García, por ser un pilar importante en mi vida, por su apoyo tanto económico como moral en este trayecto de la vida, muchas gracias por ayudarnos y querernos tanto.*

*A mi Suegra por el apoyo que nos ha dado, por recibirnos en su casa y abrir su corazón y su vida para compartir su tiempo y espacio conmigo y con sus nietas, gracias por el hombre que formo y que hoy es parte de mi vida.*

*A mis Amigas Rosa Elva Gaytán Rodríguez y a su familia, Maribel Rodríguez Rodríguez, Miriam Barreto Martínez, Valeria Segundo Lara, Ángeles García Calvo, Diana Elizabeth Cabrera López, Sandra Jacobo Páez, a mis compañeras y compañeros de la generación y de la carrera de ICTA, muchas gracias por su apoyo con mis hijas y su amistad sincera, por siempre haber estado ahí para apoyarme, son un pilar fundamental en mi vida, han sido testigos de mi caminar por la UAAAN y este logro también es gracias a ustedes.*

*A Vida estudiantil que nos dio la mano y nos acogió con todo el amor que Dios permite que un hijo suyo comparta. Muchas gracias por permitirnos ser parte de ustedes, por sus mensajes en cada película, que quizá no se den cuenta pero que cambia la vida de cada uno de los que las escucha, gracias por reforzar mis valores y orientarnos cuando creíamos que los problemas no tenían solución, agradezco a Dios por permitir que grupos como este se encuentren en una universidad y en momentos cuando el ser humano se encuentra vulnerable, gracias chicas y chicos.*

*A Doña Braulia, a Don Candé y a su familia, que nos abrieron las puertas de su casa y nos permitieron ser parte de ellos por estos 4 años, siempre nos hicieron sentir como en casa, gracias por querer y cuidar a mis hijas como si fueran suyas, gracias por nunca presionarnos con los pagos de la renta cuando las becas no llegaban a tiempo y por respetar nuestro espacio.*

*A mis profesores por su tiempo, su paciencia su dedicación y su amor por enseñar, por fomentar en mí el don de investigar, motivar mi aprendizaje y hacerme ver la gran capacidad que tengo para discernir entre lo que me dicen y lo que debo de hacer, a los que me brindaron su amistad además de solo su conocimiento, les agradezco doblemente por eso ya que me*

*demonstraron mucho profesionalismo y ética en su manera de ser y actuar, a los que solo fueron formadores espero y que puedan ver que el enseñar a un alumno no es solo darle el conocimiento pues también depende de la actitud del profesor; a todos muchas gracias.*

*A los Cocineros por ser una parte fundamental en el aprendizaje y mi salud y la de mi familia, como dice el dicho >> Las letras no entran cuando se tiene hambre<<, muchas gracias por todo lo que recibí de su parte, por su apoyo y su solidaridad, por esos desayunos, esas comidas y esas cenas que tenían para nosotros siempre disponibles y que decir de esos ricos desayunos de fin de semana, serán inolvidables, muchas gracias a todo; Que su labor siempre sea con carácter de servicio y no de trabajo. Muchas gracias.*

*A los Choferes muchas gracias por su apoyo, por acompañarnos en esos viajes con historias, por llevarnos y traernos todos los días con bien y por regresarnos de los viajes sanos y salvos, que Dios los cuide siempre porque la responsabilidad que tienen, no es nada fácil de cumplir. Gracias por sus buenos tratos y por el servicio nos prestan.*

*A Enfermería por siempre atenderme, por los traslados, por los buenos tratos muchas gracias Dra. Ysu, Normita, Toño y Juan, en verdad muchas gracias, tuvieron mi salud y mi vida muchas veces en sus manos e hicieron lo que debían hacer muchas gracias.*

*A la güera del estanquillo que está al lado del comedor, por todo el cariño, los consejos y el apoyo que me brindo, en forma desinteresada, por apoyarme con mis hijas, muchas gracias.*

*A Erika Carrizales por haber sido mi tutora por estos 4 años, por escucharme, motivarme y ayudarme a encontrar soluciones sanas a los problemas que se llegaron a presentar, gracias por su apoyo.*

*Al Dr. Heliodoro de la Garza Toledo, por su apoyo y por ser mi asesor además de mi profesor, gracias por guiarme y prepararme, por caminar conmigo en el camino hacia el éxito y por ayudarme a culminar mi carrera como profesionista*

*A la Panadería Tres Espigas, al Ing. José Favian Hernández Ángel por su apoyo con la elaboración de la tesis, por haber estado con la mejor disposición de ayudarme y proporcionarme las materias primas para trabajar, de ante mano muchas gracias, al Ing. Guillermo López por permitirme que me involucrara en su negocio y ser parte de los proyectos*

*con los que cuentan, muchas gracias por el apoyo prestado, por la disposición y por proporcionarme las materias primas Muchas gracias.*

*Al Grupo Kasto por permitirme el uso de sus instalaciones y de su equipo para realizar la pruebas de la tesis, al Ing. Efraín Rincón Meza Gerente de Calidad y Servicio al Cliente por su disposición y autorización para el uso del equipo, además de sus muy buenas recomendaciones y sus buenos decesos. A José Alfredo Santander Tirado encargado del Aseguramiento de Calidad, por su apoyo en la elaboración de las pruebas y por recibirme, por abrir las puertas de su casa y por el material brindado, gracias por compartir tus experiencias y los consejos que me diste. A la Químico Técnico en Alimentos Alma Rosa Chávez Tozcano, Alma Yesenia Chagoy Avalos y Alejandra Serratos Técnico Laboratorista Químico por ayudarme en la elaboración de las pruebas, por el espacio que se dieron y por el tiempo extra que trabajaron solo para que yo obtuviera datos con que trabajar. Muchas gracias Grupo Kasto por todo su apoyo y gracias José Alfredo Santander.*

*Al Dr. Juan Carlos Contreras de la Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencia Químicas, del Departamento de Investigación de Alimentos, por el apoyo brindado, por permitirme el uso del equipo con el que cuenta su departamento y por su confianza brindada, muchas gracias.*

*Gracias UAAAN por ser mi nido, por darme una familia, por alimentarme, verme crecer y levantar el vuelo. GRACIAS. Ahora me toca a mí, salir, apoyar a los que van llegando y a los que siguen nuestros pasos.*

## RESUMEN

Hoy en día las empresas de procesamiento y envasado de alimentos se ve cada vez más afectada por el deseo de los consumidores de evitar el consumo de gluten, lácteos, soya entre otros ingredientes a los que algunas personas han desarrollado alergias que ahora son hereditarias y de por vida como la Celiaquía.

Esta situación obliga a las empresas a desarrollar nuevos productos que además de proporcionar algún valor nutricional también proporcione beneficios a la salud. Estos alimentos son conocidos como alimentos funcionales; pero el desarrollo de estos alimentos no ha sido tarea fácil ya que los consumidores requieren que cuenten con buenas características físicas y organolépticas además del beneficio buscado.

Para obtener un producto con características físicas, químicas y organolépticas aceptables, tanto para el consumidor como para los productores, se requiere tomar en cuenta una gran cantidad de factores que pueden permitirnos formular, mejorar y estandarizar los productos requeridos.

Una parte fundamental en la elaboración de panes funcionales es conocer el comportamiento reológico de las harinas, este nos permite conocer el papel que juegan cada uno de los componentes como las proteínas, los almidones, entre otros.

Dentro de las harinas para panes funcionales que se analizaron, los factores más relevantes que obtuvimos fueron, la humedad oscilando en 10.3% en la harina para quequi, 11.6% harina para pan de barra y 13.2% para harina de trigo, también las absorciones de agua, entre algunas otras propiedades que nos permitirán conocer el tipo de pan que tendríamos, su volumen, su deshidratación al ser horneado y su vida de anaquel entre algunos otros datos importantes.

**Palabras clave:** Celiaquía, Gluten, Alimento Funcional, Almidón, Reología.

# Tabla de Contenido

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>1.3 HIPÓTESIS</b>	<b>3</b>
<b>1.4 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1 REOLOGÍA</b>	<b>6</b>
2.1.1 FUNDAMENTO	7
2.1.2 IMPORTANCIA	7
2.1.3 APLICACIÓN EN EL ÁREA DE ALIMENTOS	7
<b>2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	<b>8</b>
2.2.1 DEFORMACIÓN	8
2.2.2 ESFUERZO	8
2.2.3 VISCOSIDAD	9
2.2.4 FUERZA	9
<b>2.3 APARATOS UTILIZADOS</b>	<b>10</b>
2.3.1 FARINÓGRAFO	10
2.3.2 EXTENSÓGRAFO	11
2.3.3 ALVEÓGRAFO	11
2.3.4 MIXÓGRAFO	12
2.3.5 VISCOAMILÓGRAFO	13
<b>2.4 CELIAQUÍA</b>	<b>13</b>
2.4.1 GLUTEN	14
<b>2.5 ALIMENTO FUNCIONAL</b>	<b>15</b>
<b>2.6 ALMIDÓN</b>	<b>16</b>
<b>2.7 PROTEÍNAS</b>	<b>17</b>
<b>2.8 GELATINIZACIÓN</b>	<b>18</b>
2.8.1 TRANSICIÓN VÍTREA	18
<b>2.9 PROCESADO</b>	<b>18</b>
<b>2.10 PANIFICACIÓN</b>	<b>19</b>
<b>2.11 INGREDIENTES EN PANADERÍA Y SU FUNCIÓN</b>	<b>21</b>
2.11.1 HARINA	21

2.11.2 LEVADURA	22
2.11.3 AGUA	23
2.11.4 SAL	23
2.11.5 INGREDIENTES ENRIQUECEDORES	24
2.11.6 INGREDIENTES ALTERNATIVOS	25
2.11.7 FORMADO DE MASA	26
<b>3 MÉTODOS Y MATERIALES</b>	<b>27</b>
<b>3.1 METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
<b>3.2 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA</b>	<b>28</b>
3.2.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	28
3.2.2 ELABORACIÓN DE 2 DIFERENTES FORMULACIONES	28
3.2.3 ANÁLISIS REOLÓGICO DE LAS DIFERENTES MASAS	28
3.2.4 PRUEBAS DE PANIFICACIÓN	35
3.2.5 OTRAS PRUEBAS	40
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>42</b>
<b>4.1 FARINÓGRAFO</b>	<b>42</b>
<b>4.2 ALVEÓGRAFO: ALVEÓGRAMA A HIDRATACIÓN CONSTANTE</b>	<b>44</b>
<b>4.3 VISCOAMILÓGRAFO</b>	<b>46</b>
<b>4.4 PRUEBAS DE PANIFICACIÓN</b>	<b>48</b>
4.4.1 VOLUMEN DEL PAN	49
4.4.2 VOLUMEN Y ALTURA DE ESPONJA	50
4.4.3 DETERMINACIÓN DE GLUTEN	51
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>6 RECOMENDACIONES</b>	<b>55</b>
<b>7 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>56</b>

# Índice de Figuras

Figura 1. Cereales con gluten y su determinada fracción proteica de gluten	14
Figura 2 Clasificación de alimentos funcionales	16
Figura 3 Etapas de típico deterioro Granular	17
Figura 4 Ejemplo de modificación de propiedades mecánicas	20
Figura 5 Diagrama de flujo del trabajo realizado	27
Figura 6 Procedimiento para evaluar la calidad de la harina que se lleva a cabo en el Alveógrafo de Chopin (Manual de laboratorio Grupo Kasto).	31
Figura 7 Farinógrafo Brabender	32
Figura 8 Viscoamilógrafo Brabender	34
Figura 9 Cámara de reposo	36
Figura 10 Se saca, (A) se estira y se amasa para sacar aire, (B) se extiende para observar características de la masa (C) se pesan 200g, se envuelve en forma de taco y (D) se coloca en un molde previamente engrasado.	36
Figura 11 Cámara de fermentación	37
Figura 12 Horno	37
Figura 13 (A) Identificación del pan, (B) pesado del pan	38
Figura 14 Panvolunómetro con semillas de nabo	38
Figura 15 Compartimento del panvolunómetro donde se coloca el pan para medir su volumen	39
Figura 16 Glutomatic	40
Figura 17 Masas para (A) Pan de barra, (B) Quequi y (C) Testigo (Trigo) después de salir de cámara de reposo y que después de ser pesadas (D), pasaron al horneado.	48
Figura 18 Peso del pan (A) Quequi, (B) Barra y (C) trigo	49
Figura 19 Pan después de haber sido puesto en el panvolunómetro: (A) pan de trigo, (B) Pan de barra, (C) Quequi	50
Figura 20 Medición de altura de esponjado de los panes	51
Figura 21 Muestras de harina sin gluten. Revelan la ausencia de gluten por no haber podido pasar por las mallas del Glutomatic o por haber pasado muy rápido.	52
Figura 22 Contenido de gluten en harina de trigo con su cantidad de gliadinas y gluteninas respectivamente.	52

# Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de trigo en base a W y P/L _____	12
Tabla 2 Composición de harinas utilizadas _____	28
Tabla 3 Propiedades de las masas en los parámetros de amasado/sobreamasado con Farinógrafo Brabender. _____	43
Tabla 4 Clasificación de la harina utilizando el Farinógrafo Brabender (Serna, 2003) _____	43
Tabla 5 Evaluación de las propiedades de las masas con Alveógrafo de Chopin	44
Tabla 6 Aptitud de la harina relacionando W con P/L_____	46
Tabla 7 Datos Promedio de la evaluación de la viscosidad con el viscoamilógrafo _____	47
Tabla 8 Pesos del pan y pérdida de peso _____	49
Tabla 9 Volumen del pan tomado con panvolunómetro _____	49
Tabla 10 Altura de esponjado del pan _____	50
Tabla 11 Volumen de esponja del pan _____	51
Tabla 12 Características Fisicoquímicas de la harina de trigo (Gluten) _____	53

# Anexos

Anexo 1 Hoja de resultados de análisis de laboratorio de harina 1 (Quequi) .....	I
Anexo 2 Farinograma de harina 1 (Quequi) .....	II
Anexo 3 Alveograma de harina 1 (Quequi) .....	III
Anexo 4 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 1(Quequi -R1) .....	IV
Anexo 5 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 1(Quequi -R2) .....	V
Anexo 6 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 1(Quequi R3) .....	VI
Anexo 7 Hoja de resultados de análisis de laboratorio de harina 2 (harina para pan de barra).....	VII
Anexo 8 Farinograma de harina para pan de barra.....	VIII
Anexo 9 Alveograma de harina para pan de barra.....	IX
Anexo 10 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R1) .....	X
Anexo 11 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R2) .....	XI
Anexo 12 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R3) .....	XII
Anexo 13 Hoja de resultados de análisis de laboratorio Harina de trigo (Testigo).....	XIII
Anexo 14 Farinograma de harina testigo (Trigo) .....	XIV
Anexo 15 Alveograma de harina testigo (Trigo) .....	XV
Anexo 16 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R1) .....	XVI
Anexo 17 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R2) .....	XVII
Anexo 18 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R3) ....	XVIII
Anexo 19 ANOVA unidireccional: Harina1, Harina2, Testigo .....	XIX

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

Según datos de Packaged Facts, las empresas de procesamiento y envasado de alimentos se ven cada vez más afectadas por el deseo de los consumidores de evitar el gluten, los productos lácteos, la soya, el huevo y otros ingredientes (Spinner, 2014).

Situación que ha permitido que en la última década del siglo XX haya comenzado un nuevo concepto en nutrición, donde las personas buscan un nuevo estilo de vida elevando así mismo la calidad esta y su salud.

La interrelación de disciplinas como Biología Molecular, Biotecnología, Informática, entre otras, con la Nutrición, permite a las industrias el desarrollo de nuevos productos con funciones (Diplock *et al.*, 1991).

Dentro de los alimentos con funciones o funcionales encontramos diferentes clasificaciones, entre ellas alimentos con cualquier sustancia que pudiera considerarse alimento, o parte de él, que proporcione beneficios médicos o para la salud, incluyendo la prevención y el tratamiento de enfermedades, mejor conocidos como nutraceuticos (Andlauer, 2002 y Mueller, 1999) o bien los alimentos de diseño que son alimentos procesados a los que les han añadido ingredientes naturales ricos en sustancias preventivas de enfermedades (Pence, 2002), por mencionar algunos.

Estos alimentos son una solución a la celiaquía que es una enfermedad (enteropatía) que afecta de por vida al intestino delgado en niños y adultos predispuestos genéticamente, desencadenada por la ingestión de alimentos que contienen gluten. (WGO, 2011), los pacientes con esta enfermedad no deberán

ingerir trigo, centeno, cebada ni avena ya que deberán seguir una dieta libre de gluten estricta de por vida.

La cantidad máxima de gluten admisible es de 20 mg/kg o que es lo mismo menos de 20 ppm (Codex Alimentarius, 1981).aunque la mayoría de los expertos coinciden en que las cantidades seguras oscilan entre 10 y 50 ppm y como medida extrema consideran valores entre 0 y 10 ppm (Catassi *et al*, 2007).

En el año 2012, Hernández Favian realizó una formulación de diferentes harinas en diferentes proporciones para elaborar un panque o quequi con el fin de incrementar la variedad de productos libres de gluten en el mercado para facilitar las opciones de consumo de alimentos en la dieta de los pacientes celíacos; la elaboración de panes a base de cereales libres de gluten provenientes de la mezcla de:

a).- **Harina de quínoa** (que es usada para la elaboración de pastas, cereales, harinas y pan, ya que no contiene gluten, contiene aminoácidos esenciales y alto contenido de calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc )(Carrasco *et al*, 2001).

b).-**Harina de arroz**, contiene vitaminas como tiamina, riboflavina (vitamina B2) y niacina, también minerales como el fosforo, hierro y calcio, aminoácidos como la leucina y lo más significativo es que no causa alergia (Niето *et al*, 2001).

c).- **Harina de amaranto** son plantas de hoja ancha, siendo de los pocos no pastos que producen cantidades significativas de grano de cereales comestibles. Por este motivo también se le conoce como seudo cereal para distinguirlo de los pastos que producen grano (SAGARPA, 2012) este se utiliza para elaborar productos de forma artesanal y recientemente en la elaboración de harinas).

d).- **Fécula de maíz**. Es obtenida del maíz de grano blanco, este no contiene gluten, leucina y minerales como magnesio, fosforo y potasio

e).- **Mandioca** .Es un tubérculo que es fuente de carbohidratos para la elaboración de harinas de alto porcentaje de proteínas (SIAP, 2012), estos cereales presentaron una excelente alternativa para poder resolver este grave problema que se encuentra en aumento en neutro país (Hernández, 2012).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento reológico de masas funcionales elaboradas sin gluten.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar características reológicas de masas para panadería, utilizando un Alveógrafo de Chopin y un Farinógrafo Brabender.
- Determinación de tiempos de gelatinización en masas con un Viscoamilógrafo Brabender.
- Determinación de gluten con Glutomatic.

## 1.3 Hipótesis

Es posible conocer con anterioridad el comportamiento reológico de las masas de los panes funcionales, para mejorar sus características.

## 1.4 Justificación

La mayoría de los productos de panadería se elaboran a partir de la harina de trigo, aunque también existe la posibilidad de utilizar otros cereales. Pero la composición química de éstas no contribuyen positivamente en la retención de gas

y formación de miga, particular característica del gluten de la harina de trigo; por lo que es necesario estudiar las proporciones de las sustituciones con la adición de aditivos que mejoren el comportamiento de las masas en panificación y elaboración de pastas. Es decir obtener mezclas de harinas que den masas con características reológicas adecuadas para elaborar pan con aceptables características organolépticas (Sandoval *et al.*, 2012).

Sin embargo, los panes elaborados utilizando tanto el arroz, el maíz, sorgo u otros sustitutos del trigo, raramente cuentan con buena aceptabilidad. La imposibilidad de las harinas de estos cereales de formar una fase continua y estructura de masa cuando son mezcladas con el agua es debido a la falta de propiedades viscoelásticas que sólo poseen las proteínas formadoras de gluten presentes en el trigo y que son imprescindibles para obtener panes de buena calidad.

Para lograr esta aceptabilidad es necesario que los panes libres de gluten, formulados con estos cereales, tengan características de calidad similares a los panes elaborados con harina de trigo (Sánchez *et al*, 2008).

Existen diferentes formulaciones para elaborar productos de panadería sin gluten, siendo por lo general de un solo cereal, sin embargo no hay estudios reológicos de estas, de manera que las mezclas de harina para quequi (harina de quínoa, Arroz, Amaranto, Tapioca y Fécula de Maíz) y de harina para pan de barra (Harina de Tapioca, Arroz y Fécula de maíz.) procedentes de panadería Tres Espigas ubicada en Saltillo Coahuila México, requieren conocer estas características reológicas que permitan mejorar las características físicas y organolépticas del producto terminado.

Dejando así también datos de referencia para estudios posteriores, siendo la Celiaquía un problema mundial y severo, sería óptimo y adecuado poder ofrecer panes que no solo se elaboren de forma artesanal, si no también mecanizado, teniendo así el acceso a estos productos una cantidad mayor de personas con

Celiaquía y poder disminuir así los costos, requiriendo para esto el conocimiento de las características reológicas de este tipo de mezclas.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Reología

La reología es el estudio de la deformación y el flujo de todos los materiales. Los métodos reológicos miden de manera exacta la fuerza, la deformación y el flujo (Nielsen, 2009).

De acuerdo a Rosenthal (2001), la reología estudia la relación entre fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante como una función del tiempo. Las propiedades reológicas de los alimentos varían ampliamente desde líquidos diluidos hasta sólidos duros.

En la conferencia sobre Reología y la producción de los alimentos (Fernández, 2014) define a la Reología como Ciencia que trata la deformación y flujo de los materiales bajo la acción de la fuerza o esfuerzo; se utiliza para relacionarla con la textura de forma objetiva.

La reología de cualquier alimento se define como la Ciencia que estudia la deformación y el flujo de materia. La naturaleza polimérica de los almidones y las proteínas en particular, sugiere que las características de los materiales deben determinarse en el contexto de los principios fundamentales de la física de los polímeros.

Esto se hace con pruebas no destructivas que producen poca deformación y pruebas destructivas que ocasionan deformaciones mayores que sirven para determinar extensibilidad y resistencias máximas del alimento (Sharma *et al*, 2003).

### **2.1.1 Fundamento**

La reología se ocupa de cómo responden los distintos materiales a la fuerza y a las deformaciones aplicadas. Los conceptos básicos de **fuerza** y **deformación** son claves para todas las evaluaciones reológicas (Nielsen, 2009).

### **2.1.2 Importancia**

Sirve para inferir (deducir una cosa o hacer una conclusión) la microestructura del material, ayudándonos como herramienta en la formulación tomando en cuenta la velocidad de liberación de algún principio activo, comportamiento en tejidos: velocidad difusión, textura, capacidad de suspensión y estabilización, lubricación, recubrimiento de superficies, etc. (Briseño, 2014.)

### **2.1.3 Aplicación en el área de alimentos**

- ✓ En ingeniería de procesos, para llevar a cabo las operaciones unitarias adecuadas para el producto.
- ✓ Control de calidad, que las características físicas y organolépticas que se están ofreciendo sean en realidad las que se están dando.
- ✓ Desarrollo y mejora de productos, dirigido a algún segmento de mercado.
- ✓ Aceptabilidad del consumidor, que cumpla con las características organolépticas que el consumidor requiere.
- ✓ Selección de infraestructura, cuando se requiere transportar el material por tuberías. (Fernández, 2014).

## 2.2 Propiedades mecánicas

### 2.2.1 Deformación

Es una cantidad adimensional que representa la deformación relativa de un material. La deformación del esfuerzo aplicada con respecto a la superficie del material, determinará el tipo de deformación. Si el esfuerzo es normal (perpendicular) a la superficie de la muestra, el material experimentará una **deformación normal** ( $\varepsilon$ ). Los alimentos muestran deformaciones normales cuando son comprimidos (esfuerzo de compresión) o cuando son jalados (esfuerzo tensil).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dónde:

$\varepsilon =$  Deformación

$\Delta L =$  Cambio de longitud

$L_0 =$  Longitud original

### 2.2.2 Esfuerzo

Se define como la intensidad de la fuerza (fuerza /área) y se expresa generalmente en Pascales (Pa). Ejemplo en el transcurso de la panificación, la masa es comprimida y estirada continuamente hasta que se consigue la consistencia adecuada (Nielsen, 2009).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dónde:

$\sigma =$  Esfuerzo (Pascales)

$F =$  Fuerza (Newtons)

$A =$  Area de la seccion transversal (metros<sup>2</sup>)

### 2.2.3 Viscosidad

Resistencia de un fluido (gas o líquido) a fluir. Se mide normalmente en respuesta a un esfuerzo cortante y relaciona el esfuerzo con la velocidad de deformación: es decir, la pendiente de la representación gráfica del esfuerzo frente a la velocidad de deformación (Rosenthal, 2001).

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

$\mu$  = viscosidad absoluta o dinamica

$$\tau = \text{Esfuerzo de cortante} = \frac{F}{A} [=] \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$

$du$  = gradiente de velocidad ( $\text{cm}/\text{s}$ )

$dy$  = gradiente de deformación angular ( $\text{cm}$ )

### 2.2.4 Fuerza

Es el esfuerzo al que el material se rompe y no se debe confundir con la rigidez. Como la rigidez, la fuerza se ve afectada por el tiempo, la temperatura y otros factores, y en la misma dirección. (Rosenthal, 2001), sus unidades de medida son los gramos (grf), libras(lbf) o Newtons.

$$F = M * C$$

Dónde:

$F$  = fuerza(N)

$M$  = masa(Kg)

$C$  = aceleración( $\text{m}/\text{s}^2$ )

## **2.3 Aparatos utilizados**

Existen varios aparatos diseñados con el propósito de evaluar las propiedades reológicas o físicas de masas. Todos estos aparatos miden de manera directa o indirecta la fuerza o tenacidad y la extensibilidad o elasticidad del gluten. A nivel industrial de molienda se emplean para tomar importantes decisiones de tipos de mezclas a formular y para estudiar efectos de dosificación apropiada de aditivos mejoradores. A nivel manufactura de pan, galletas y productos afines, los ensayos reológicos se consideran como las pruebas críticas para determinar importantes parámetros de procesamiento como lo son: absorción de agua, tiempo de amasado y estabilidad de la masa y para predecir la calidad del producto terminado.

### **2.3.1 Farinógrafo**

Es el más conocido e importante de los aparatos utilizados para medir las propiedades reológicas de masa. Se basa en el principio de medir la resistencia que opone una masa a la acción mecánica de mezclado, a través del tiempo y bajo una determinada absorción de agua.

El farinógrafo se utiliza con dos propósitos fundamentales: determinar la absorción óptima de agua y evaluar las propiedades reológicas de las masas. Las propiedades que se obtienen del farinógrafo son: Punto de llegada, punto de salida, tiempo de desarrollo, estabilidad e índice de tolerancia al amasado.

La interpretación de la curva farinográfica comprende importantes parámetros que nos serán útiles para analizar las propiedades de la harina como:

- ✓ Punto de llegada: tiempo que pasa hasta que la masa adquiere una consistencia (maneabilidad) de 500 UF (Unidades Farinográfica).
- ✓ Punto de salida: tiempo en que la masa persiste en una consistencia de cuando menos 500 UF y que siempre ocurre después del tiempo de desarrollo.
- ✓ Tiempo de desarrollo: tiempo en que tarda la masa en adquirir su máxima consistencia.
- ✓ Estabilidad: es el intervalo de diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de salida.
- ✓ Índice de tolerancia al amasado: se refiere a la caída en consistencia 5 minutos después del tiempo de desarrollo.

### **2.3.2 Extensógrafo**

Es un aparato que complementa al farinógrafo y se fundamenta en el principio de deformar (estirar) un pedazo de masa óptimamente amasado hasta su rotura final.

La curva resultante grafica la tenacidad o fuerza contra la extensibilidad o elasticidad de la masa.

### **2.3.3 Alveógrafo**

Se basa en el principio de la inyección de aire bajo una presión constante a una plasta de masa para así formar un globo que se romperá al final.

Mide las características reológicas de una masa de harina y solución salina, mezclada, laminada, cortada y reposada, luego extendida aplicándole presión hasta su ruptura (Manual de Alveógrafo Chopin).

Los parámetros que se obtiene son: la presión máxima, abscisa media a la rotura, índice de hinchamiento, trabajo de deformación, la relación entre la presión máxima y la abscisa media a la rotura.

La interpretación de la curva del alveógrama comprende importantes parámetros como:

- ✓ Presión máxima (P): representa el valor de la presión máxima que está en relación con la resistencia de la masa a la deformación.
- ✓ Abscisa media de la rotura (L): Esta en relación con la resistencia de la masa a la deformación.
- ✓ Índice de hinchamiento (G): Equivale a la raíz cuadrada del volumen de aire necesario para desarrollar la burbuja hasta la rotura.
- ✓ Relación P/L: Es la relación de configuración o equilibrio de la curva.
- ✓ Trabajo de deformación (W): Se refiere a un gramo de masa evaluado en  $10^{-4}$  Joules.

En base a estos parámetros se clasifican los tipos de trigo como:

**Tabla 1** Clasificación de trigo en base a W y P/L

<b>W&gt;230</b>	<b>Trigo fuerte</b>
<b>W&lt;230</b>	Trigo débil
<b>P/L&lt; 3.6</b>	Trigo débil
<b>P/L&gt; 3.6</b>	Trigo fuerte

### 2.3.4 Mixógrafo

Su principio es muy semejante al del farinógrafo. Presenta la ventaja de que utiliza una menor cantidad de muestra, requiere de menos tiempo para efectuar la prueba y solamente un ensayo por muestra. Es un aparato para discriminar las diferentes clases de trigo.

### **2.3.5 Viscoamilógrafo**

Es el aparato más utilizado para determinar las propiedades funcionales de almidones, harinas y otras materias primas ricas en almidón.

Este aparato es un viscosímetro que mide los cambios en la viscosidad de una solución de almidón sometida a un programa estandarizado de ciclos de calentamiento y enfriado. El instrumento consiste en un mezclador insertado en un recipiente que contiene la solución de almidón. Durante la prueba, el recipiente gira a una velocidad constante y el mezclador registra la viscosidad de la suspensión. Después de concluir las cuatro etapas del análisis se puede determinar el inicio de la gelatinización, la máxima viscosidad en el ciclo de calentamiento y las propiedades de gelificación del almidón una vez que se enfría.

El Viscoamilógrafo se utiliza de manera tradicional para medir indirectamente la cantidad de almidón dañado y la actividad diastásica de los cereales (la actividad diastásica se determina preparando una masa y observando el recorrido en un amilógrafo), en especial harina de trigo. Harinas con alta cantidad de almidón dañado, actividad diastásica o ambas, producen un menor pico de viscosidad que las contrapartes sanas (Serna, 2003).

Con el viscosímetro se obtienen parámetros como: la viscosidad máxima, inicio de gelatinización y vida de anaquel aproximada del producto terminado.

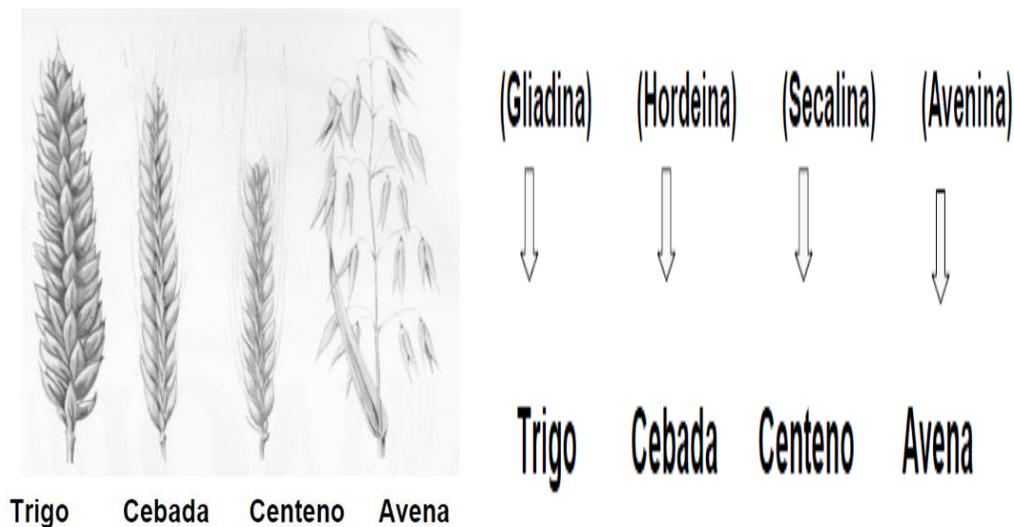
## **2.4 Celiaquía**

La enfermedad celíaca consiste en una intolerancia irreversible a determinadas fracciones proteicas del gluten, caracterizado por anomalías en la estructura del intestino delgado y una intolerancia permanente al gluten. Esto condiciona, en ciertos individuos, a desarrollar lesiones severas de la mucosa del intestino delgado.

La consecuencia de estas lesiones es la atrofia de las vellosidades del intestino delgado, debido a lo cual se establecen defectos en la absorción y utilización de nutrientes (proteínas, grasas, hidratos de carbono, sales minerales (hierro), vitaminas) (Califano, CIDCA).

### 2.4.1 Gluten

Es una proteína que se encuentra en la semilla de muchos cereales (trigo, cebada, centeno, avena, triticale, entre otros) combinada con almidón. Representa un 80% de las proteínas del trigo y está compuesta de gliadinas y gluteninas. El gluten es el responsable de la elasticidad de las masas de harina, confiere la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masas horneadas. Por este motivo es apreciado en alimentación por su poder espesante (elika).



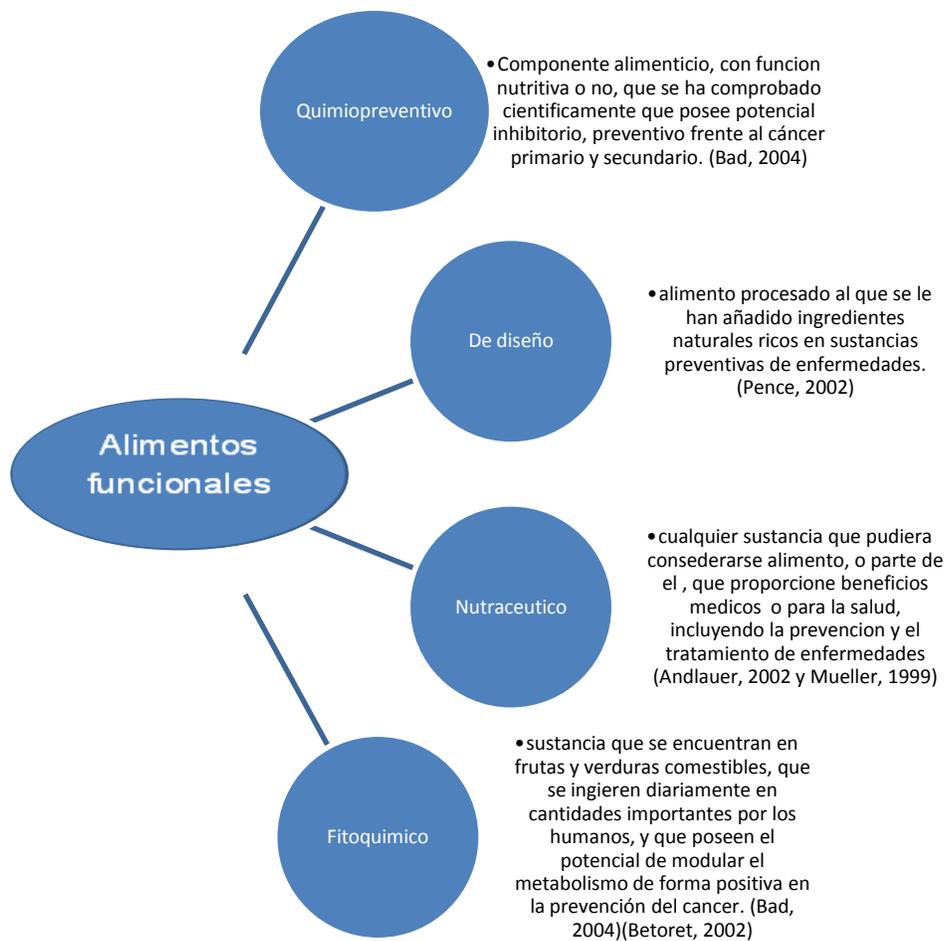
**Figura 1.** Cereales con gluten y su determinada fracción proteica de gluten

El gluten posibilita la formación de la masa, unión, elasticidad y capacidad para ser trabajada, retención de gas y mantenimiento de la forma de las piezas.

El gluten es una proteína compleja que otorga al pan su elasticidad y consistencia.

## **2.5 Alimento funcional**

La evolución de los hábitos nutricionales ha sido muy variable a través del tiempo, pero siempre soportada con el criterio básico de mantener la salud. Cada día las exigencias de los consumidores se dirigen más a la búsqueda de nuevos productos con propiedades funcionales que puedan proporcionar además del valor nutritivo, otros componentes con actividad fisiológica que permitan un mejor estado tanto físico como mental, reduciendo así el riesgo de enfermedades y alargando la vida al mismo tiempo que manteniendo su calidad (Misael Cortés R., 2005).



**Figura 2** Clasificación de alimentos funcionales

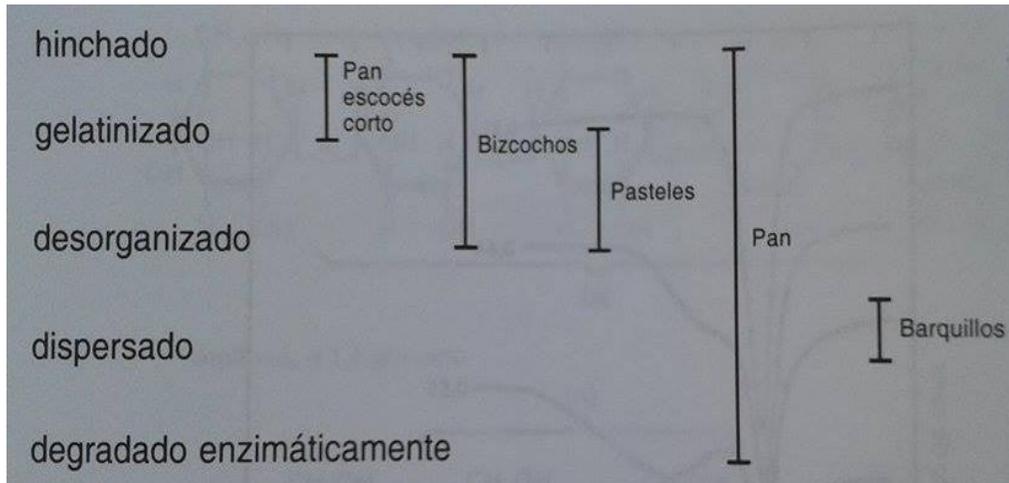
## 2.6 Almidón

La morfología de los gránulos individuales de almidón varía con la fuente, ya sea cereal, legumbre, raíz o tubérculo. Con tamaños de 2 a 100  $\mu\text{m}$  (Greenwood, 1976).

El exceso de agua (típicamente > 60 % en peso en base húmeda), el almidón experimenta una gelatinización a una temperatura en el intervalo de 50 a 90°C, dependiendo del origen botánico, pérdida del orden cristalino, hinchamiento del gránulo y solubilización de la amilosa (Morris, 1990).

La reducción del nivel de agua por debajo del exceso eleva la temperatura de gelatinización. La adición de azúcar al almidón en lugar de agua eleva la temperatura de gelatinización (Spies y Hosney, 1982).

El calentamiento en un exceso de agua puede suponer la gelatinización del almidón solo, y puede tener lugar el hinchamiento y ruptura del gránulo. En el extremo de alta cizalla con temperatura alta y agua reducida, la estructura granular del almidón se perderá y tendrá lugar cierta degradación molecular. Las etapas del típico deterioro granular de productos de varios cereales fueron ejemplificados por Greenwood (1976) (Figura 3).



**Figura 3** Etapas de típico deterioro Granular

## 2.7 Proteínas

Las proteínas son de fundamental importancia en la determinación de la absorción de agua, en la reología o en la retención de gas (Blanshard, 1988), como con el almidón, el calor altera fuertemente la reología de las proteínas.

## **2.8 Gelatinización**

Un término peculiar al almidón. Es una combinación compleja de las transiciones de fusión y vítrea. Lavine y Slade (1990) han mantenido que el enfoque de la interpretación de la ciencia de los polímeros del almidón es fundamental en la comprensión de las propiedades estructurales, mecánicas y de textura durante el procesado y almacenamiento.

### **2.8.1 Transición Vítrea**

Los puntos de fusión del hielo y las regiones cristalinas de los polímeros son aspectos importantes en los sistemas poliméricos alimenticios que afectan a la reología y particularmente a las propiedades mecánicas. Los polímeros amorfos tienen una temperatura de transición vítrea que corresponde a un aumento de volumen y movilidad molecular. Esta aparición de la movilidad con el aumento de la temperatura corresponde al cambio de estado de vítreo a gomoso (Slade y Levine, 1993)

## **2.9 Procesado**

Según Rosenthal (2001) dice que una de las razones del procesado es la de añadir un valor mediante cambios de estructura. Para muchos procesos la mezcla da como resultado una pasta de alta viscosidad o una dispersión y afecta a la estructura de las proteínas, particularmente el desarrollo del gluten; algunas variables de un proceso de mezclado son combinaciones de la temperatura, cizalla/esfuerzo, tiempo y composición de los ingredientes.

Los ingredientes puros que contienen almidón, se hidratan y los componentes incorporados como necesarios para la creación de la estructura también. El cambio estructural implica la fusión de biopolímeros o específicamente la

gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas y formación de complejos de estos componentes funcionales principales con azúcar y grasa. Los cambios reológicos, también acompañan a estos cambios estructurales. Se libera gas de la inclusión de aire, rotura de polvos de horneado, o de la fermentación, como en el caso de enzimas en la rotura por levaduras del almidón en azúcares y de ahí a dióxido de carbono y etanol. Además se produce la vaporización de agua y la expansión térmica del gas atrapado.

La estabilización de la estructura o la finalización del proceso de formación de estructuras, principalmente a través del aglomeramiento de los ingredientes activos, la consecución de alguna composición de pseudoequilibrio y el enfriamiento y secado, asociado con la inducción del estado vítreo. La eliminación de agua y el cambio de temperatura afectan al volumen que puede inducir distorsión y gradientes de humedad.

## **2.10 Panificación**

El horneado de pan es un proceso tradicional en el que el calor, agua, actividad enzimática, almidón y propiedades de las proteínas son los principales factores que finalmente determinan la calidad del pan (Yin y Walker, 1995). Uno de los cambios físicos principales durante el horneado es el aumento de volumen. Este ocurre a través del calor que aumenta la presión del gas en las células, que incluye dióxido de carbono, vapor de agua y etanol vaporizado. Globalmente, en los procesos de horneado hay 2 vías de formación de la estructura, que incluyen el arrastre de aire y liberación del gas de la acción enzimática de la fermentación o la reacción química con los agentes leudantes (Blanshard, 1988).

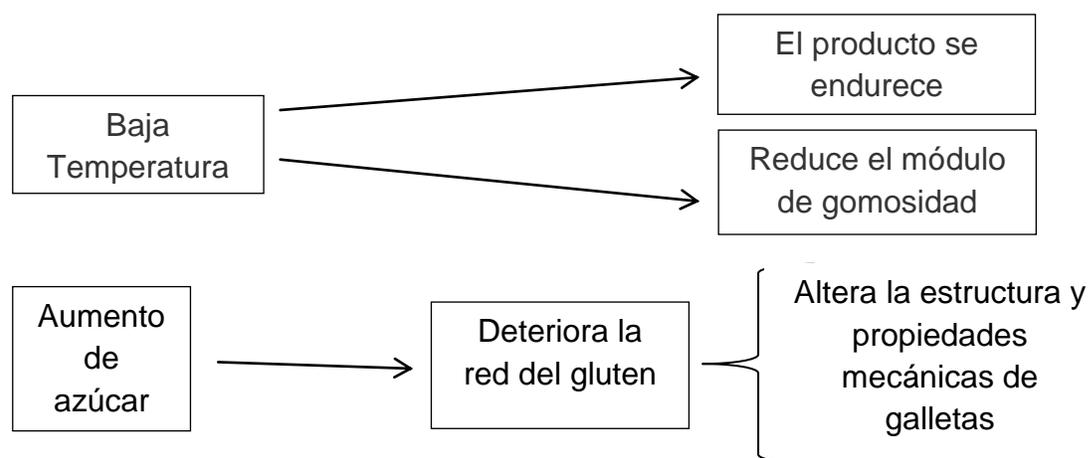
En el horneado el almidón compite por el agua con otros componentes, particularmente con el gluten, las enzimas amilolíticas son activadas para producir maltosa por la acción de la levadura, mientras que las enzimas proteolíticas actúan sobre las cadenas de proteicas. Por lo tanto, los productos de panificación

difieren en el grado de gelatinización del almidón dependiendo del calor y las pérdidas de agua asociadas. En el pan, la mayoría de los gránulos de almidón han perdido su birrefringencia, mientras que las formulaciones de baja humedad como el caso de las galletas pueden contener cantidades considerables de almidón no gelatinizado (Blanshard, 1988).

El gránulo de almidón puede contribuir a la arquitectura del producto de formas diferentes, el gránulo puede permanecer prácticamente intacto, se puede hinchar y adquirir propiedades elásticas, o puede gelatinizar para formar una matriz basada en amilosa y de amilopectina con la contribución de otros componentes tales como gluten, azúcares y grasa.

En los productos de panadería basados en trigo, el gluten tienen un papel dominante, y el efecto de añadir azúcares y grasas, generalmente inhibe o afecta la red del gluten, produciendo productos más blandos (Lyndley, 1988).

Los azúcares presentes en forma líquida o sólida afectan a la estructura de los panes en su matriz o modificando la nucleación de las burbujas de gas. Los azúcares interactúan con las proteínas y el almidón, modificando las propiedades mecánicas (Kalichevsky *et al*, 1993)



**Figura 4** Ejemplo de modificación de propiedades mecánicas

Los azúcares pueden solidificar como cristales o vidrios dependiendo de las condiciones locales y confieren propiedades mecánicas particulares del compuesto. El tamaño de partícula del azúcar sólida como ingrediente es importante tanto en el procesado como en las propiedades finales del producto (Lindley, 1988).

Las grasas están presentes en los productos de panadería. Las grasas son hidrofóbicas y por consiguiente interaccionan con el almidón y las proteínas mediante la limitación de agua o humedeciendo e inhibiendo la formación de la red de gluten. Las grasas vegetales son más cuadradas y uniformes y son más capaces de rodear las células de aire para estabilizarlos (Rosenthal, 2001).

## **2.11 Ingredientes en panadería y su función**

Los principales ingredientes empleados en la fabricación de pan precocido son: harina, agua, sal, levadura, mejorantes y grasas vegetales.

El principal componente de la formulación de la masa panaria, es la harina, que procede del proceso de molienda de los cereales.

### **2.11.1 Harina**

La harina es un polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. La harina y el agua producen una masa consistente, tenaz, con ligazón a la que se le puede dar la forma deseada y que resiste la presión de los gases producidos por la fermentación para obtener el levantamiento de la masa y un adecuado desarrollo de volumen.

### **2.11.1.1 Características de la calidad de las harinas**

- ✓ FUERZA: se refiere a la cantidad y calidad de las proteínas que posee. Dependiendo de estas, representaran mayor o menor capacidad para resistir el manejo mecánico durante el amasado, corte, ovillado, sobado, retención del gas de la fermentación y dar pan de buen volumen y presentación.
- ✓ TOLERANCIA: capacidad para soportar fermentaciones largas.
- ✓ ABSORCIÓN: capacidad para absorber y retener agua.

### **2.11.2 Levadura**

Son organismos, unicelulares y microscópicos, que pertenecen a la familia de los hongos. Se usan para panificación, industria cervecera entre otras.

Su función es transformar los azúcares presentes en la harina, en gas carbónico, alcohol y una serie de sustancias aromáticas. Este proceso se denomina fermentación y es el que permite el aumento de volumen de la masa, acondiciona la masa, aumenta el valor nutritivo al proporcionarle al pan proteínas de muy buena calidad y convierte la harina cruda en un producto ligero que al hornearse es 100% digerible.

Las levaduras necesitan azúcar para alimentarse, principalmente sacarosa, maltosa y glucosa, requiere de humedad para absorber los nutrientes, por lo que requiere que estén previamente disueltos, por esta razón el agua es esencial para la nutrición del microorganismo; requiere también minerales que requiere de la misma harina, el agua, la sal o de algunos aditivos, aunque el exceso de sal retarda su actividad, todo a una temperatura óptima.

### 2.11.3 Agua

Es un elemento esencial para la formación de la masa. Hay diferentes tipos de agua.

- ✓ Aguas blandas: tienen pocos minerales en disolución (hasta 50 ppm), produciendo un debilitamiento del gluten, tornando las masas suaves en pegajosas.

Ejemplo: agua destilada

- ✓ Aguas duras: Tienen en disolución bicarbonatos o sulfatos y magnesio (200-400 ppm). Endurecen el gluten e inhiben la actividad de la levadura.
- ✓ Potable: es la más recomendable para la panificación ya que tiene dureza de 150 a 200 ppm, pudiendo llevar a cabo de manera adecuada las siguientes funciones:
  - Hacer posible la formación de gluten y el acondicionamiento de los almidones.
  - Determinar la consistencia de la masa.
  - Controlar la temperatura de la masa.
  - Permitir el desarrollo de la levadura.
  - En forma de vapor evita el desecamiento de la masa durante la fermentación.
  - Permitir un mejor desarrollo de la pieza durante la cocción, mejorando también el brillo y el rendimiento.

### 2.11.4 Sal

Su función es mejorar el sabor, fortalecer el gluten de las harinas débiles, resaltar los sabores de otros ingredientes, controlar la actividad de la levadura y tiene una acción bactericida sobre microorganismos indeseables al proceso.

### **2.11.5 Ingredientes enriquecedores**

Son aquellos que se agregan a la masa para mejorar características de sabor, color, aroma, volumen, conservación, valor nutritivo, etc.

#### **2.11.5.1 Azúcar**

Sirve de alimento a la levadura, mejora el sabor del pan, el color de la cáscara, ayuda a la conservación y aumenta el valor nutritivo.

#### **2.11.5.2 Leche**

La leche aumenta el valor alimenticio, proporciona una miga más suave, mejora el color de la cáscara, aumenta la absorción de agua de la masa, mejora el sabor y mejora la conservación.

#### **2.11.5.3 Grasa**

En la panificación se usan generalmente la manteca hidrogenada y margarinas para masas duces y pastelería y su función es:

- ✓ Aumentar el valor alimenticio
- ✓ Mejorar sabor y aroma
- ✓ Mejora el volumen
- ✓ Mejora la conservación
- ✓ Proporciona una textura más fina y suave a la miga

#### **2.11.5.4 Huevo**

Se emplean principalmente en la elaboración de masas dulces y pastelería debido a la capacidad para formar emulsiones de las yemas de huevo (en masas ricas en grasas y azúcar), su capacidad de formar espuma con la clara de huevo y yema (batidos, leudado de masas), ayuda a ligar el agua y estabilizar la corteza al coagularse sus proteínas durante el horneado y aplicado sobre la masa antes del horneado mejora el color y brillo de la cascara.

#### **2.11.6 Ingredientes alternativos**

Podemos mencionar desde fruta confitada, pasas, nuez, cebolla, cremas de relleno, etc. Se emplean para mejorar las características de las harinas (aditivos), o para impartir características especiales de presentación, sabor, aroma, etc.

**Aditivos:** se emplean para mejorar características de absorción de agua, reforzar el gluten, conservación, mejorar el color, etc.

**Ácido ascórbico:** sirve para obtener una mayor absorción de agua, mejorar la tolerancia al amasado y a los tiempos largos de fermentación, mejora la retención de gases de la fermentación, mejora el volumen y la presentación del pan.

Se recomienda su uso en masas francesas, blanda especial y masas dulces.

Dosis: 1 a 3 g/50 Kg de Harina

**Harina de malta:** intensifica y vigoriza la producción de gas durante la fermentación, se obtiene un mejor color de la cascara al producirse una mayor cantidad de azúcar residual que se carameliza durante el horneado.

Dosis: 100 a 150 g/50Kg de Harina

En exceso puede producir masas pegajosas y difíciles de manipular y al hornearla la cáscara se pondrá muy oscura.

#### **2.11.7 Formado de masa**

Durante el mezclado de los componentes de la masa, el agua moja las partículas de almidón y de gluten, las moléculas de gluten se asocian en fibras y aprisionan al almidón en sus mallas.

El amasado sirve para airear la masa y estirar el gluten a fin de suavizarlo, las burbujas de aire se localizan generalmente en la materia grasa de la harina. La fermentación comienza durante el amasado (Duoc, UC).

# 3 MÉTODOS Y MATERIALES

## 3.1 Metodología

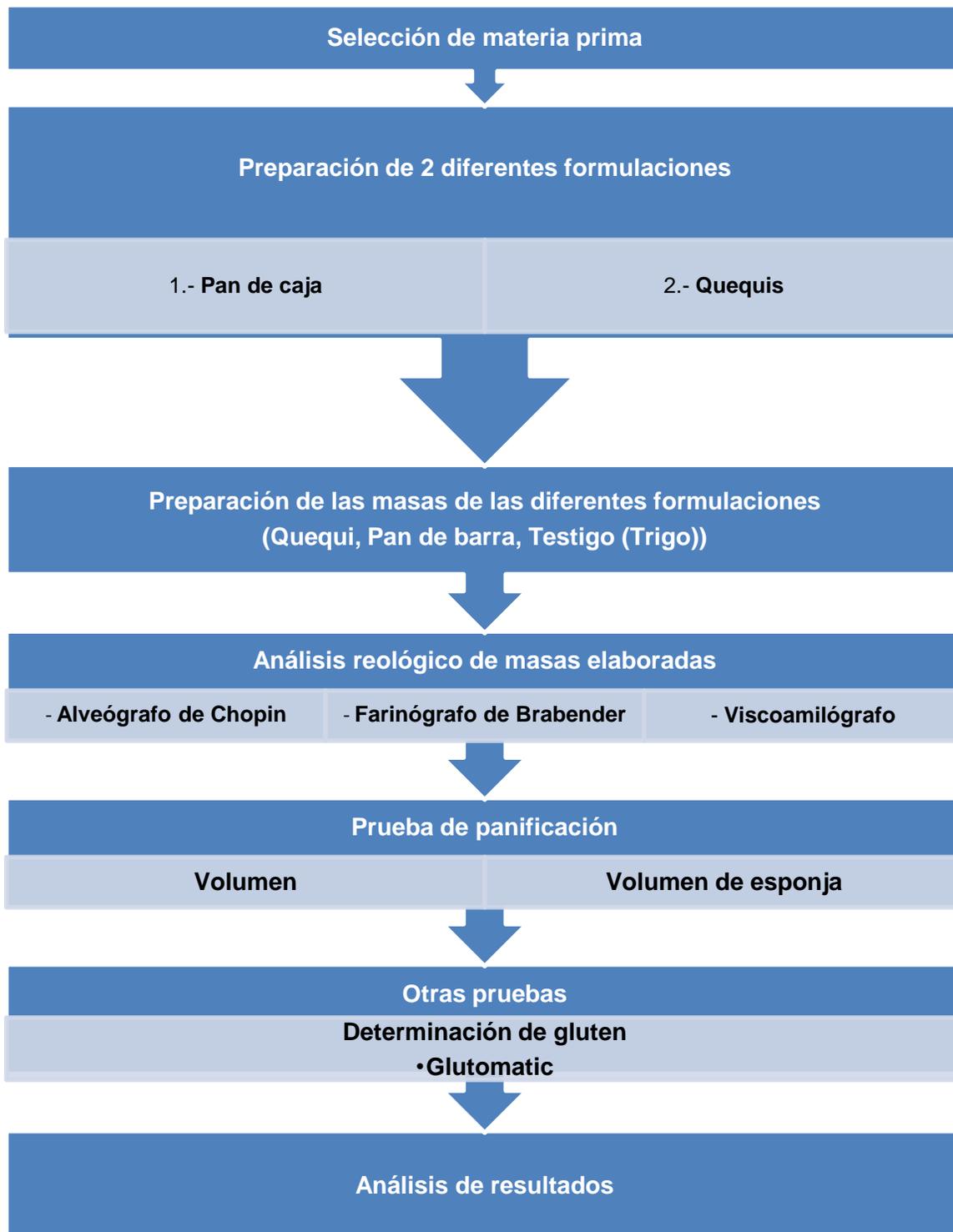


Figura 5 Diagrama de flujo del trabajo realizado

## 3.2 Descripción metodológica

### 3.2.1 Selección de la materia prima

Tras varios ensayos basados en la experiencia de los panaderos que laboran en la panadería 3 Espigas, se definió la mezcla de las harinas libres de gluten que se utilizaron. Se usan mezclas de harinas libres de gluten (tapioca, quínoa, amaranto, arroz y fécula de maíz) (Hernández, 2012).

### 3.2.2 Elaboración de 2 diferentes formulaciones

Las formulaciones se realizaron en la panadería 3 Espigas

**Tabla 2** Composición de harinas utilizadas

1	2	
Harina para quequi	Harina para pan de barra	Harina de trigo (Testigo)
Mezcla de: Harina de quínoa, arroz, amaranto, tapioca y fécula de maíz.	Mezcla de: Harina de tapioca, arroz y fécula de maíz.	Harina de trigo

### 3.2.3 Análisis reológico de las diferentes masas

#### 3.2.3.1 Alveógrafo de Chopin

Determinación que mide las características reológicas de una más de harina y una solución salina, mezclada, laminada, cortada y reposada, luego extendida aplicándole presión hasta su ruptura.

## Material y equipo:

- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1 gramo
- ☞ Alveógrafo Chopin
- ☞ Probeta de vidrio de 1 Lt
- ☞ Agitador de vidrio
- ☞ Aceite mineral con gotero.
- ☞ Vaso de precipitado de 500 ml
- ☞ Cucharón metálico
- ☞ Atomizador capacidad 500 ml
- ☞ Franela húmeda
- ☞ Solución salina al 2.5 %

## Procedimiento

1. Determinar el % de humedad de la harina
2. El Alveógrafo deberá estar en un área a temperatura de 18 a 22 °C y a 65 % +/- 15 % de humedad relativa.
3. Encender el enfriador y los equipos, abriendo la llave alimentadora del agua.
4. Pesar 250 +/- 0.5 gramos de harina e introducirla en la amasadora mediante un embudo.
5. Llenar la bureta con el volumen de solución alcalina correspondiente al % de humedad.
6. Comenzar con el amasado y agregar la solución salina
7. Al cabo de un minuto incorporar la masa y volver a amasar repetirlo al minuto con cuarenta y cinco segundos y amasar de nuevo hasta completar 8 minutos.
8. Invertir el sentido de rotación. La masa se extrae entonces en forma de cinta. Cortarla cuando la masa alcance el nivel de la muesca de la placa de extracción, retirar la placa de extracción y deslizar la masa en la placa de laminado. Laminar la masa con el rodillo deslizando 6 de ida y 6 de regreso.
9. Recortar con el sacabocados, retirar la masa que sobra, colocar la masa en forma de galleta sobre la placa de reposo (no tocar con los dedos).
10. Colocar inmediatamente en la cámara de reposo. Repetir este procedimiento hasta obtener las 5 masas en forma de galleta.

11. Introducir en el alveolink los datos correspondientes a la muestra de harina,
12. Se deja reposar hasta completar 28 minutos.
13. Colocar la masa en forma de galleta en el centro de la platina y colocar el tampón, atornillar la anilla para inmovilizarla, aplastar la masa apretando la platina superior hasta el tope sin forzar. Retirar la anilla y el tampón.
14. Provocar un hinchamiento de la masa, en cuanto se observe una rotura detener el equipo y repetirlo con las 5 galletas (Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012).



### 3.2.3.2 Farinógrafo Brabender

Mide y registra la resistencia de una masa al mezclar de agua y harina. (Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012)

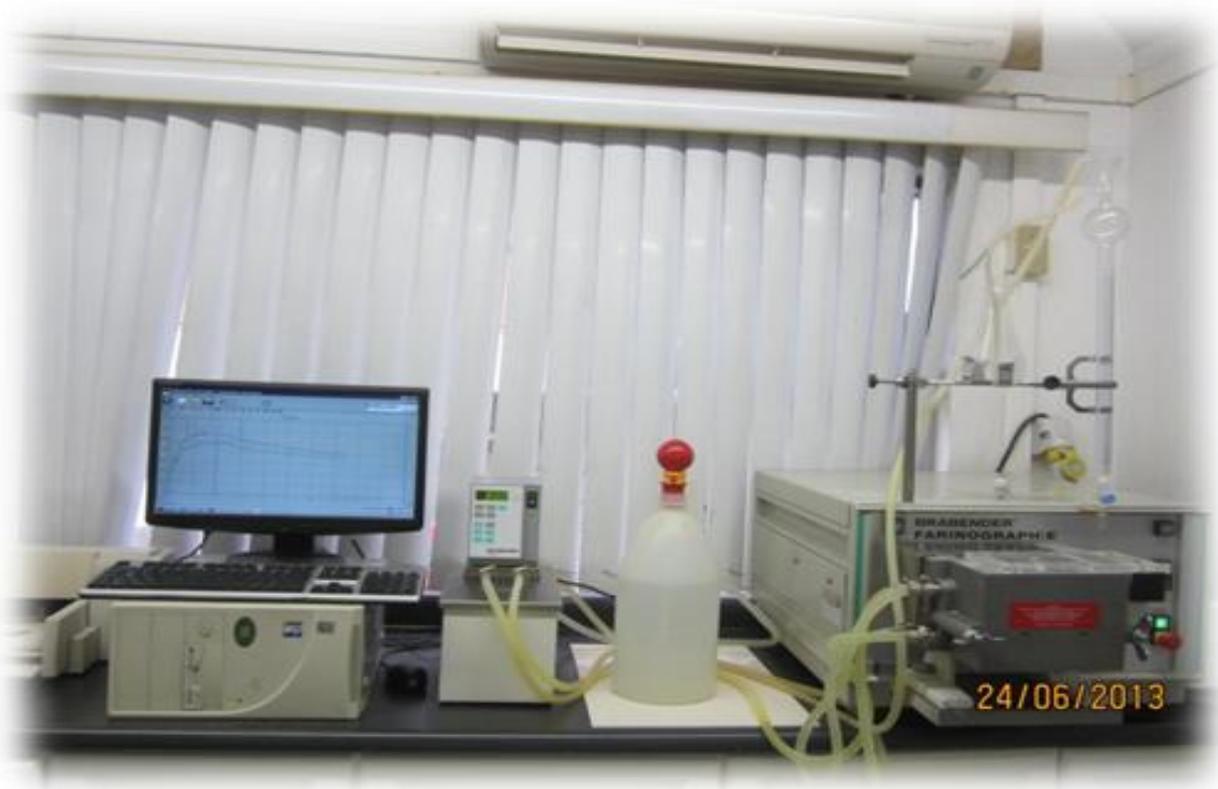


Figura 7 Farinógrafo Brabender

#### Material y equipo:

- ∞ Balanza con sensibilidad de 0.1 gramo
- ∞ Farinógrafo Brabender con tazón de 300 gramos y baño maría a temperatura constante.
- ∞ Espátula de plástico
- ∞ Vaso de precipitado de vidrio de 250 ml
- ∞ Cucharón metálico para 300 gramos de muestra.
- ∞ Agua destilada
- ∞ Grasa grado alimenticio.

**Procedimiento:**

1. Determinar el % de humedad de la harina.
2. Encender los reguladores, el farinógrafo, el baño maría, la computadora e impresora, esperar a que la temperatura del baño maría llegue a 30°C y permanezca constante.
3. Pesar en el cucharón metálico los gramos de muestra en base a 14 % de humedad, registrados en el recuadro de los parámetros como (sample weight).
4. Agregar muestra, abriendo la tapa de la mezcladora.
5. Bombear agua con la perilla a la bureta, transcurrido un minuto de mezclado, agregar los mililitros de agua necesarios para una consistencia adecuada de 500 FU (Unidades Farinográficas) por la rendija de la tapa de la mezcladora.

La prueba dura 15 minutos (Manual de laboratorio Grupo Kasto).

**3.2.3.3 Viscoamilógrafo Brabender**

Permite registrar continuamente en forma gráfica las variaciones de la velocidad de una suspensión de harina en agua sujeta a ciclos de calentamiento y enfriado. El viscoamilógrafo Brabender mide los cambios de viscosidad de una disolución harina-agua desde los 25°C hasta los 90°C y detecta la subida de temperatura cada 1.5°C/min (American Assoc of Cereal Chemists, 1983).



**Figura 8** Viscoamiloógrafo Brabender

### **Materiales y equipo**

- ☞ Micro-Visco-Amylo-Graph Brabender
- ☞ 2 vasos de precipitado
- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1g
- ☞ Espátula

### **Procedimiento**

1. Se pesan de 7 a 8g de muestra a peso constante. se pasa a un vaso de precipitado adicionando 100 ml de agua desionizada, agitar con movimientos circulares hasta formar una suspensión homogénea.
2. Se normaliza el equipo.
3. Se coloca la suspensión en el recipiente del viscoamiloógrafo, Se coloca en el calentador, se baja el brazo del agitador con el intercambiador de calor,

se genera el archivo y se corre la prueba (Manual de Viscoamilógrafo Brabender, 2012).

### 3.2.4 Pruebas de panificación

Es una prueba de elaboración de pan para confirmar la calidad de la harina panadera por el método directo en el cual todos los ingredientes son incorporados en la etapa inicial del mezclado.

#### Material y equipo:

- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1g
- ☞ Batidora Kitchen AID con gancho
- ☞ Cámara de fermentación a 30 °C a 85-92 % *HR*
- ☞ Horno eléctrico Glaser HIT-ECH a 220 °C
- ☞ Panvolunómetro
- ☞ Tazones de plástico para fermentación
- ☞ Moldes para pan de 12.75 cm \* 6.5 y 14 \* 8 cm
- ☞ Vasos de precipitado de 250 ml
- ☞ Probeta de vidrio de 100 ml
- ☞ Agitador de vidrio
- ☞ Cronómetro
- ☞ Raspador

#### Procedimiento

Mezclar: 200 g de harina, 120 ml de agua, 3 g de levadura liofilizada, hidratada en 120 ml de agua (se deja hidratar por 5 min.), 5 g de azúcar, 2.5 g de sal y 50 ml de aceite.

Nota: se agregaron 50 ml de aceite en formulación 1 y 2 por las características de la harina. Se bate de 5 a 7 minutos.

Las masas 1 y 2 se colocan en cámara de reposo por 30 min. a 30°C y la de trigo 1hr de reposo a 30°C.



**Figura 9** Cámara de reposo

Se saca la masa y se proceden a hacer pruebas visuales, pesarla y colocarla en moldes



**Figura 10** Se saca, (A) se estira y se amasa para sacar aire, (B) se extiende para observar características de la masa (C) se pesan 200g, se envuelve en forma de taco y (D) se coloca en un molde previamente engrasado.

Se colocan en cámara de fermentación por 30 minutos (solo el del pan de trigo), la masa 1 y 2 pasan directamente al horno a 220°C por 15 o 20 min.



**Figura 11** Cámara de fermentación



**Figura 12** Horno

Cuando el pan sale se desmoldan y se dejan enfriar. Se pesan y se identifican



**Figura 13** (A) Identificación del pan, (B) pesado del pan

Se mide el volumen con un panvolunómetro



**Figura 14** Panvolunómetro con semillas de nabo

Por último se corta el pan, para observar el color de miga (Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012).

### **3.2.4.1 Pruebas de volumen del pan (Quequi)**

Se coloca el pan (Quequi) ya elaborado en la panadería Tres Espigas con su capacillo, en el panvolunómetro y se gira (Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012).



**Figura 15** Compartimento del panvolunómetro donde se coloca el pan para medir su volumen

El panvolunómetro que contiene semillas de nabo, al momento que se gira, caen por gravedad y se mide la lectura, donde se expresa el espacio que ocupa el pan en el equipo.

Nota: esta prueba se le hizo solo al quequi terminado (tal como se encuentra en las panaderías).

### **3.2.4.2 Volumen de esponja del pan**

#### **Materiales y método**

- ☞ Cuchillo
- ☞ Bolsa de plástico transparente de  $\frac{1}{4}$  de kilo
- ☞ Cinta
- ☞ Cuadrícula

## Procedimiento

Se corta una rebanada de pan de un grosor de aproximadamente 5 cm, se coloca dentro de una bolsa de plástico transparente, se pone sobre una cuadrícula ya establecida donde se mide; cuanto esponja el pan, este dato se considera a partir de la costilla que se forma por el molde cuando está en el horno hasta la parte más alta del pan.

### 3.2.5 Otras pruebas

#### 3.2.5.1 *Determinación de gluten*

Se basa en la capacidad de formar una red llamada gluten, con la gliadina y la glutenina al contacto con el agua.

Eliminando el almidón de la harina mediante un lavado mecánico con solución salina, formándose así el gluten que se centrifuga y se pesa para realizar los cálculos correspondientes.



Figura 16 Glutomatic

### **Material y equipo:**

- ☞ Glutomatic con accesorios (Cámaras, mallas poliéster, vasos plásticos de 600 ml).
- ☞ Centrifuga con accesorios (Contrapeso de goma, tamiz malla).
- ☞ Plancha caliente 150°C marca glutork con pinza metálica.
- ☞ Dosificador graduado para solución salina.
- ☞ Solución salina 2 %

### **Procedimiento:**

1. Encender el regulador, el Glutomatic, la centrifuga y la plancha caliente.
2. Pesar 10 gramos de harina, colocarlos en la cámara junto con la malla de poliéster, agregar 4.8 ml de solución salina al 2 % sobre la pared, esparcir sobre la cámara y embonarlo con el Glutomatic, oprimir el botón start para iniciar lavado de 5 minutos con solución salina al 2 %.
3. Transcurridos los 5 minutos retirar la cámara. El gluten húmedo se pasa a un tamiz malla mediante una pinza. Colocar el tamiz con el gluten en la centrifuga y esperar a que suene la alarma, indicando que el gluten está listo para pesarse.
4. Pesar el gluten que traspaso el tamiz y el retenido encima del tamiz. (Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012)

### **Cálculos:**

% Gluten húmedo:  $\text{Gluten retenido en tamiz} + \text{Gluten que traspaso tamiz} \times 10$

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Farinógrafo

Se pudieron conocer las propiedades de absorción de agua, amasado y sobreamasado de las diferentes formulaciones con la ayuda de un Farinógrafo Brabender. El amasado se realizó mediante movimientos envolventes y esfuerzo de cizalla, aportando la energía que se requiere para el estiramiento y alineamiento de las moléculas de proteína, la hidratación uniforme de las harinas y su buena distribución (Sanz-Penella *et al.*, 2009). La absorción de agua de la harina de trigo fue de 64%, la harina para quequi (Harina 1) de 73.6% y la harina para pan de barra (Harina 2) de 76.6 % (Tabla 3). Este dato se relaciona con la cantidad de pan a obtener por kg de harina y el agua que se requiere para obtener una masa con una consistencia ideal. Este efecto se debe principalmente a la presencia del gluten en la harina de trigo y en la harina para pan de barra el porcentaje es mayor debido al gran contenido de fécula de maíz, pudiéndose deber también a las porciones que pudieran tener de almidón dañado debido a la molienda de los granos ya que granos más duros requieren mayor energía en la molienda y el mayor trabajo de molienda daña los gránulos del almidón, aumentando la capacidad de absorción de agua.

El tiempo de desarrollo de las masas fue de 2.4 minutos para la harina de trigo, 1.6 para la harina del pan de barra y 1.1 para la harina de quequi lo que nos indica el tiempo en que la masa alcanza su máxima consistencia, relacionándose esta con el tiempo de amasado necesario para obtener una correctamente desarrollada.

El tiempo de estabilidad nos dice si tolera o se adapta a los tiempo de fermentación largas, obteniendo para estas harinas valores de 13.8 min para la harina de trigo, 0.2 min para la harina de quequi y 0 min para la de pan de barra.

**Tabla 3** Propiedades de las masas en los parámetros de amasado/sobreamasado con Farinógrafo Brabender.

Propiedades	Unidades	Testigo	Harina para quequi	Harina para pan de barra
Absorción de agua	%	63.6	73.6	77.6
Tiempo de llegada	Min	1.4	No llegó a 500 UF	No llegó a 500 UF
Tiempo de desarrollo de la masa	Min	2.4	1.1	1.6
Estabilidad	Min	13.8	0.2	0.0
Tiempo de salida	Min	4.75	----	----
Índice de tolerancia al amasado (ITM)	FU	29	162	166
Tiempo de caída	Min	5.7	1.6	2

NOTA: El equipo se encarga de realizar tres repeticiones de las harinas dándonos como resultado un promedio de los datos

En los anexos 2, 8 y 14 se muestran las gráficas obtenidas en el Farinógrafo

La aptitud de una harina para panificación se puede evaluar mediante el tiempo de la siguiente clasificación (Tabla 4).

**Tabla 4** Clasificación de la harina utilizando el Farinógrafo Brabender (Serna, 2003)

Tipo de Harina	Absorción	Estabilidad	ITM
Harina Fuerte	> 63%	> 10 min	< 30 UF
Harina Intermedia	de 61% a 63%	de 7 min a 10	30-50 UF
Harina Mediocre	de 60% a 61%	de 3 min a 7 min	70-130 UF
Harina pobre para panificación	< 59%	< 3 min	> 120 UF

La harina testigo es una harina fuerte ideal para panificación o para suplementar harinas de más baja calidad.

De acuerdo a los resultados de la tabla 3, la harina para quequi y para pan de barra tiene la absorción característica de una harina fuerte pero no son estables y no toleran bien el amasado al tener más de 120UF

Los tiempos de desarrollo están por debajo del testigo, lo que quiere decir que tardan menos en llegar a su máximo desarrollo.

## 4.2 Alveógrafo: Alveógrama a hidratación constante

Se pudo simular el comportamiento de una masa, al formarse en su interior una infinidad de alveolos como consecuencia de la producción de CO<sub>2</sub> durante la fermentación, por desdoblamiento de los azúcares fermentables de la harina y dependiendo de la presencia, ausencia o cantidad de gliadinas y gluteninas, si el CO<sub>2</sub> quedaba atrapado, o no, en la malla proteica

Los alveógramas presentaron los siguientes resultados (Tabla 5), donde se pueden ver las diferencias de la harina de trigo, a las que son libres de gluten.

Tabla 5 Evaluación de las propiedades de las masas con Alveógrafo de Chopin

Propiedades	Unidades	Testigo	Harina para quequi	Harina para pan de barra
<b>P: Tenacidad (Expresión máxima necesaria para la deformación).</b>	mm H <sub>2</sub> O	159	31	33
<b>L: Extensibilidad.</b>	Mm	57	5	5
<b>G: Expansión o hinchamiento (Longitud de curva).</b>	Mm	16.8	5	5
<b>W: Fuerza general de panificación o deformación (Superficie de la curva).</b>	10 <sup>-4</sup> J	366	8	9
<b>Índice P/L: Relación de la configuración de la curva</b>		2.79	6.2	6.6
<b>le: Índice de elasticidad (presión a 4 cm del comienzo de la ruptura).</b>	%	60.9	0	0
<b>P/G: Elasticidad Calcular dividiendo valor P entre valor G</b>		9.4	6.2	6.6

NOTA: El equipo se encarga de realizar tres repeticiones de las harinas dándonos como resultado un promedio de los datos

En los anexos 3,9, y 15 se muestran las gráficas obtenidas en el Alveógrafo

La extensibilidad para la harina de pan de trigo fue de 57 mm, para harina de quequi fue de 5 mm al igual que la harina para pan de barra, indicándonos así que las harinas de prueba presentaron menor extensibilidad por lo que formar menor volumen (ya que tiene relación con la capacidad de retener gas producido en la fermentación).

La tenacidad está relacionada con la absorción de agua y nos dice que tanto resisten ser estiradas, pudimos observar que la harina de trigo sí nos permitió que estirla hasta formar una masa muy maleable, al contrario la harina para pan de barra que es menos maleable y la de quequi es todavía menos maleable, pero estadísticamente no se observó diferencia significativa entre las harinas para pan de barra y quequi.

Con respecto al índice de elasticidad ( $I_e$ ) se observan valores muy bajos en las harinas para pan de barra y quequi, presentando un comportamiento fermentativo anómalo y tendencia a ablandarse, a comparación con el de harina de trigo que permanecerá más firme.

La fuerza ( $W$ ) que se requiere para deformar la masa de harina de trigo es de  $366 \times 10^{-4}$  Jouls y de  $8 \times 10^{-4}$  Jouls y  $9 \times 10^{-4}$  Jouls para las harinas de quequi y pan de barra respectivamente, esto indica la capacidad de que la masa se hinche sin romperse, en este caso la harina de trigo inflara más sin romperse, mientras que las otras 2 harinas se inflaran en menor medida.

La aptitud de una harina para panificación se puede evaluar con el índice P/L, el cual para harinas para panificación debe de ser menor de 0.4 a 0.6. La harina de trigo presento un valor de 2.7, mientras que en el caso de harina para quequi y pan fueron de barra son de 6.2 y 6.6 respectivamente.

Relacionado (P/L) con la fuerza ( $W$ ) de las harinas podemos ver de acuerdo a la tabla 6 se tiene como masa panificable solo a la de trigo mientras que la destinada para pan de barra y quequi son consideradas adecuadas para otros usos diversos de panificación, como biscochos, barquillos etc.

**Tabla 6** Aptitud de la harina relacionando W con P/L

<b>W &gt; 250 y P/L &gt; 0.7</b>	<b>Granos de mucha fuerza que deben ser usados solo para mezclas</b>
<b>W de 120-170 y P/L &gt; 0.7</b>	Granos desequilibrados por exceso de tenacidad, pueden ser utilizados en proporciones adecuadas a mezclas donde se necesite corregir la excesiva extensibilidad.
<b>W=170 y P/L &lt; 0.3</b>	Granos desequilibrados por exceso de extensibilidad, pueden ser utilizados para corregir la tenacidad
<b>W&gt;170 y P/L de 0.3-0.7</b>	Granos desequilibrados con buenas aptitudes para panificación, mejoradores en función de los valores W y P/L
<b>W de 130-170 y P/L de 0.3-0.7</b>	Granos equilibrados con suficientes aptitudes para la panificación.
<b>W de 110-130 y P/L de 0.3-0.7</b>	Granos con mediocre aptitud para la panificación
<b>W&lt;110</b>	Debe destinarse a uso diverso en la panificación, como barquillos o biscochos secos.

### 4.3 Viscoamilógrafo

Los cambios significativos en las harinas medidas con el viscoamilógrafo se efectuaron en temperaturas entre 76°C y los 82°C (Tabla 7) que es cuando los almidones por efecto de la temperatura comienzan a hidratarse y van aumentando su volumen al igual que las proteínas.

Tabla 7 Datos Promedio de la evaluación de la viscosidad con el viscoamilógrafo

Propiedades	Parámetros	Harina para quequi	testigo	Harina para pan de barra
Inicio de Gelatinización	Torque(mPa)	19.6	15.7	22
	Temperatura(°C)	76.3	77	80.2
Máxima viscosidad	Torque(mPa)	269.7	267.3	359.7
	Temperatura(°C)	93.8	91.7	92.3
Tiempo de Sostenimiento	Torque(mPa)	267	252.7	334.7
	Temperatura(°C)	94.3	94	94.3
Inicia periodo de Enfriamiento	Torque(mPa)	242	180.3	307.7
	Temperatura(°C)	95	94.9	95.1
Termino del periodo de enfriamiento	Torque(mPa)	440.3	292.3	557.3
	Temperatura(°C)	51.8	53.2	50.5
Termino del periodo de sostenimiento	Torque(mPa)	456.7	309.7	581
	Temperatura(°C)	48.4	49.9	47.1

En los anexos 4, 10 y 16 se muestran las gráficas del viscoamilógrafo

La curva comienza a ascender hasta llegar al punto de máxima viscosidad que es a temperaturas cercanas a 90°C, aquí es cuando las proteínas solidifican al igual que sucede con el almidón que ha absorbido agua en función de la rotura del gránulo y se ha gelificado ocupando el volumen máximo. Cada harina presentó un máximo de viscosidad diferente siendo para el testigo un torque de 267.7 mPa, para el quequi de 269.7 mPa, el pan de barra fue el más viscoso con un torque de 359.7 mPa, esta máxima viscosidad nos hace referencia al almidón cuando ha llegado a la gelatinización total y a una temperatura de gelificación propia para cada una de las harinas (Tabla 7).

La etapa de 90°C a 50°C nos muestra un aumento en la viscosidad debido a las cadenas de amilosa que han salido del gránulo de almidón y se unen entre sí, cristalizando en geles y provocando un aumento de viscosidad, lo que significa que se retrogradan los almidones, esta etapa se relaciona con la etapa de enfriamiento después de la cocción.

Cuando la miga va perdiendo temperatura después humedad y por ultimo envejece y se pone dura, la curva en esta etapa tiene un descenso rápido o lento (Anexos 3, 8 y 13) lo que nos indica cuanto va a tardar el pan en ponerse duro (Hoseney, 1991).

La actividad  $\alpha$ -amilasa en la harina es un factor importante en la elaboración de pan. Una concentración alta de enzimas interactúa con el almidón y originan una miga pegajosa y poca actividad enzimática origina panes secos, compactos y de corta vida de anaquel, en cantidades equilibradas favorece la formación de gas a

través de la levadura en la masa y reduce la viscosidad de esta, haciendo que la masa suba y mejore el tostado de la cáscara.

La harina para pan de caja es la harina más viscosa de las 3 muestras utilizadas presentando un torque de 359.7 mPa para la máxima viscosidad pero con baja estabilidad durante la cocción.

La viscosidad de la harina de trigo y la harina para quequi se encuentran entre 267 y 269 respectivamente pero la estabilidad de la harina de quequi es mucho menor que la del pan de trigo.

Por el comportamiento de las curvas (Anexo 4,10 y 16) se puede observar que el pan de barra será un pan muy compacto, el quequi será un pan muy blando mientras que el pan que se elabora con harina de trigo será más estable que los anteriores además de presentar mayor volumen y un tostado de la cascara más aceptable.

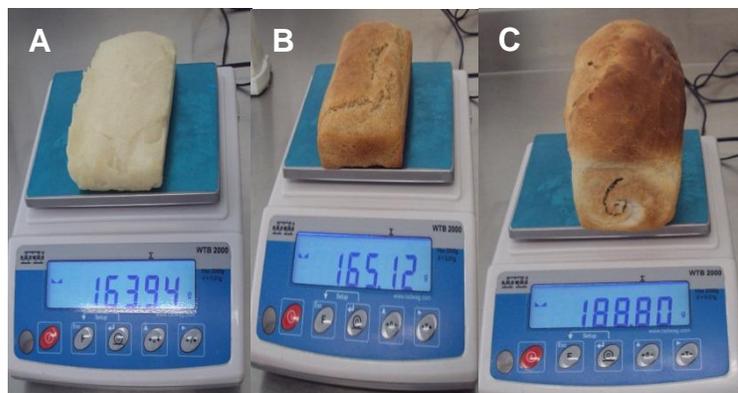
#### 4.4 Pruebas de panificación

Las masa 1 y 2 no se estiraron ni se les saco el aire ya que las masas no son manipulables porque se formaron batidos por lo que estas se pesaron directamente en los moldes después de salir de la cámara de reposo y posteriormente al horno.



**Figura 17** Masas para (A) Pan de barra, (B) Quequi y (C) Testigo (Trigo) después de salir de cámara de reposo y que después de ser pesadas (D), pasaron al horneado.

El peso de los panes lo podemos observar en la Figura 18, donde nos muestra la capacidad del pan para inflarse y el rendimiento, cuánta agua pierde en el horneado (Tabla 8) y la consistencia final.



**Figura 18** Peso del pan (A) Quequi, (B) Barra y (C) trigo

En la tabla 8 se puede observar el efecto de deshidratación que sufre el pan al momento de ser horneado, estos parámetros nos permiten conocer el rendimiento que tiene nuestra harina siendo para el pan de barra de 81%, para el quequi de 83% y para el de trigo de 94.4%

Tabla 8 Pesos del pan y pérdida de peso

Muestra	Peso (g)	Peso perdido (g)
Quequi	167.12 g	32.88
Pan de barra	163.94 g	36.06
Pan de trigo	188.8 g	11.02

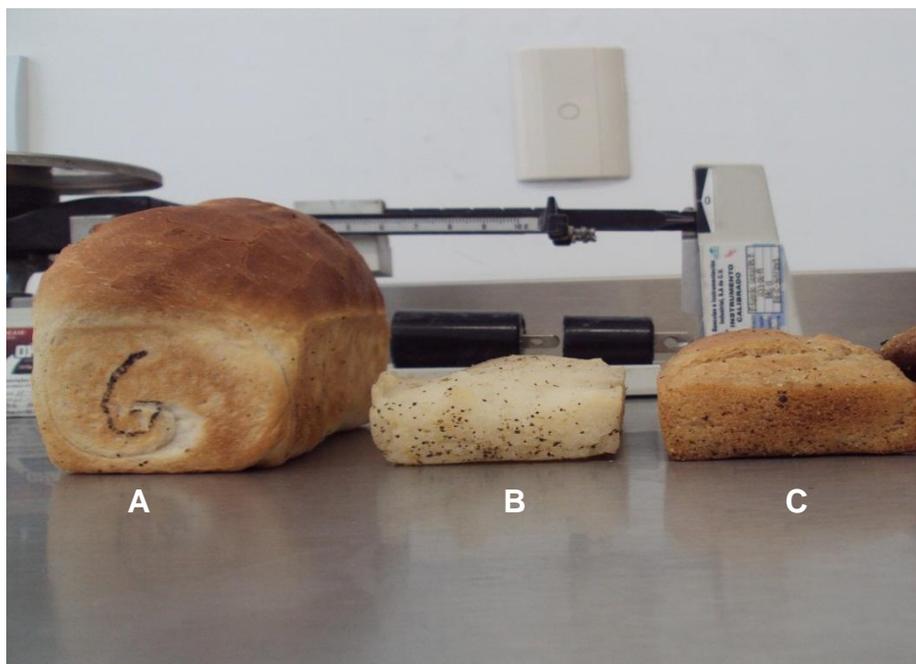
#### 4.4.1 Volumen del pan

A los panes después de haber salido del horno y haberse dejado enfriar, fueron colocados en el panvolumómetro, obteniendo los siguientes resultados. (Tabla 9)

Tabla 9 Volumen del pan tomado con panvolumómetro

Pan	Volumen (ml a 20 °C)
Quequi	280
Pan de barra	170
Pan de trigo	790

Aunque en la tabla 8 los porcentajes de rendimiento son altos en cuanto a peso, su volumen no es nada similar ya que el único que presentó buen esponjamiento y por consiguiente buen volumen fue el pan de trigo, para el pan de quequi fue de 280 ml, mientras que el pan de barra fue de 170 ml, los datos de estos últimos función producción y rendimiento no son los más favorables (tabla 9), además de que no se aprecia buena consistencia



**Figura 19** Pan después de haber sido puesto en el panvolumómetro: (A) pan de trigo, (B) Pan de barra, (C) Quequi

#### 4.4.2 Volumen y Altura de esponja

Para conocer la fermentación que se generó en el pan, se mide la altura de esponja (Tabla 10) y el volumen (tabla 11)

Tabla 10 Altura de esponjado del pan

Producto	Altura de esponjado (cm)
Quequi	2
Pan de barra	1.5
Pan de trigo	4.5

Tabla 11 Volumen de esponja del pan

Producto	Volumen cc/g
Quequi	1.6
Pan de barra	1
Pan de Trigo	4.1

En los anexos 1,7 y 13 podemos ver el volumen del pan



**Figura 20** Medición de altura de esponjado de los panes

La altura de la esponja que se presentan en la tabla 10 y figura 20, nos hablan de la incapacidad de las harinas para quequi y pan de barra para fermentar. En la tabla 11 se observa la diferencia entre el volumen obtenido en los tres panes observándose que los panes sin gluten llegan a fermentar, pero al ser inestables y compactas no permiten que se genere el CO<sub>2</sub> en cantidades suficientes.

#### 4.4.3 Determinación de gluten

Las harinas libres de gluten al colocarlas en el Glutomatic, tuvieron un comportamiento totalmente diferente al trigo, la harina para quequi se quedó retenida en la malla, mientras que la harina para pan de barra paso toda de manera muy rápida quedando en la malla solo trazas de la presencia de la harina y en la harina de trigo si presentó gluten. Estos efectos se muestran en la Figura 21.

Con la harina para quequi al presentar partículas mayores a las que presentan los cereales con gluten y para los que está diseñado el equipo, no lograron atravesar la maya es por eso que se quedó todo el producto retenido, aun cuando la harina

fue sometida al tamizado reglamentario para el uso del Glutomatic, al contrario de la harina para pan de barra, que al ser las partículas muy pequeñas pasaron demasiado rápido, sin quedar nada que se pudiera pasar a la centrifuga para ser separado entre gliadinas y gluteninas.



**Figura 21** Muestras de harina sin gluten. Revelan la ausencia de gluten por no haber podido pasar por las mallas del Glutomatic o por haber pasado muy rápido.



**Figura 22** Contenido de gluten en harina de trigo con su cantidad de gliadinas y gluteninas respectivamente.

Obteniéndose así los siguientes datos para la harina de trigo (tabla 12)

Las harinas para pan de barra y quequi, al no dejar material retenido en las mayas del Glutomatic, para después haber sido pasado a la centrifuga, y así poder separar y pesar el gluten, se asume que no hay gluten en ellas o por lo menos no hay una cantidad significativa ni cuantificable.

Tabla 12 Características Fisicoquímicas de la harina de trigo (Gluten)

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>harina de trigo</b>	<b>Harina para quequi</b>	<b>Harina para pan de barra</b>
<b>Gluten Húmedo</b>	%	32.6-7	0	0
<b>Gluten seco</b>	%	10.8	0	0
<b>Índice de gluten</b>	%	99.81	0	0
<b>Sedimentación de gliadina</b>	MI	36	0	0

## 5 CONCLUSIONES

Se determinó el comportamiento reológico de masas funcionales elaboradas sin gluten, encontrando que las masas para quequi y pan de barra son masas muy débiles, no toleran fermentaciones largas a comparación del testigo que es una masa muy fuerte.

Al usarse para panificación deberán someterse a fermentaciones cortas y amasados cortos, si se quiere que tengan características similares a las de la harina de trigo deberán usarse mejorantes panarios ya que por la naturaleza de estas dos harinas sin gluten, no son elásticas ni estables, las cantidades de proteína y su calidad son buenas y similares a las de la harina de trigo.

El pan de barra tendera a ponerse muy duro en un periodo de tiempo muy corto debido a su alta cantidad de almidón haciendo que las amilasas ataquen a los almidones y provoquen una viscosidad excesiva además de que el producto terminado presentara una cascara quemada, mientras que el quequi presentara una vida de anaquel corta, sin llegar a ponerse duro pero podría tender a presentar microorganismos debido a que los batidos tienden a retener mayor humedad.

Estas dos harinas sin gluten, indiscutiblemente requieren de mejorantes como lo son las gomas, ya que por sí solas no presentan características panificables adecuadas aceptables, siendo harinas menos manejables.

Se determinó el contenido de gluten en las harinas, comprobando así que en las harinas para pan de quequi y la de pan de barra se encuentra ausente.

## **6 RECOMENDACIONES**

Realizar pruebas con otras formulaciones para pan de barra donde contenga menos almidón y más proteínas.

Realizar nuevas formulaciones para quequi, para disminuir el uso de grasa ya que ocasiona que el pan pierda su volumen en un periodo muy corto de tiempo, acortando así la vida de anaquel y la presentación.

Se recomienda que se realicen pruebas con diferentes gomas y aditivos para mejorar la fermentación de los productos.

Se recomienda hacer una nueva formulación utilizando harina de malta.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

Andlauer, W.; fürst, P. (2002). Nutraceuticals: a piece of history, present status and outlook. Food Research International 35:171-176

Andlauer, W.; Fürst, P. (2002). Nutraceuticals: a piece of history, present status and outlook. Food Research International 35:171-176.

Bad, Y.; Fenwick, R. (2004). Phitochemicals in health and disease. Marcel Dekker, New York.

Bautista Mayela J., Alejandra D. Castro A., Ernesto Camarena A., Katarzyna W., Guadalupe A. G., Zeferino G. S. y Víctor Da Mota Z Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. Universidad de Guanajuato: Instituto de Ciencias Agrícolas, Instituto de investigaciones Científicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. México Vol. 57 N° 1, 2007

Bernardette Baños Espinola, 2007, Características Reológicas de masas de trigo adicionadas con fibra soluble, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tesis. Pp. 17

Betoret, N. (2002). Aplicaciones de algunas técnicas de ingeniería de alimentos en el desarrollo de alimentos naturales enriquecidos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Briseño, m. I. (s.f.). Recuperado el 30 de mayo de 2014, de [http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/aero/Asignaturas/MecFluid/material/2\\_reologia.pdf](http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/aero/Asignaturas/MecFluid/material/2_reologia.pdf)

Calidad de los trigos. En línea [[http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1989\\_02.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_02.pdf)] Fecha de consulta (04 de junio del 2014)

Catassi C., Rossini M, Rätsh IM, Bearzi I, Sentinelli A, Castagnani R, et al. Dose Dependent effects of protacted ingestion of small amounts of gliadin in coeliac disease children; a clinical and jejunal morphometric study. Gut 1993; 34:1515-9.

Doplock A.T, A. P. (1998). Scientif Concepts of functional foods in Europe consensus documents. Br J Nutr 1991;81:S1. New York

Eduardo Rodríguez Sandoval, Alejandro Fernández Quintero, Alfredo Ayala Aponte, 2005, Modelos reológicas aplicados a masas de trigo y maíz, Revista ingeniería e investigación vol. 25. No 2, Pp. 87.

Elika. Fundación vasca para la seguridad agroalimentaria. Alergias e intolerancias alimentarias.

Gómez-Ortiz, Salomón, Cifuentes-Díaz de León, Armando, Orea-Lara, Gildardo, Cambios reológicos en una masa panaria durante el tiempo de reposo. CIIDIR-IPN, Unidad Durango

Hoseney C.R. (1991) Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. El almidón en los cereales PP. 31-65. Ed. Acribia S A Zaragoza España.

Kalle Kurppa, P. C. (2011). La enfermedad celíaca y la calidad relacionada con la . Expert Reviews, Vol. 5 No.1 pp.83-90

Lelievre, J., Mirza, I.A., y Tang, J. (1992). Failure testing of gellan gels. Journal of Food Engineering, 16, 25-37.

Lelievre, J., Mirza, I.A., y Tang, J. (1992). Measurement of the tensile failure of gels. Journal of Texture Studies, 23, 349-358.

Manual de Alveógrafo Chopin, 2012.

Manual de Farinógrafo Brabender, 2012.

Manual de laboratorio Grupo Kasto, 2012.

Manual de panadería. En línea [[http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos\\_Digitales/600/640/38435.pdf](http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos_Digitales/600/640/38435.pdf)]. Fecha de consulta (03 de Enero de 2014)

Manual de Viscoamilógrafo Brabender, 2012.

Mejorar el valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chía. Iglesias P.E. en línea [<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28117/TESINA%20DE%20M%C3%81STER.pdf?sequence=1>] fecha de consulta (1 de mayo del 2014)

Misael Cortés R., A. C. (2005). Alimentos Funcionales: Una historia con mucho presente y futuro. Vitae, 5-14

Morris, E.R. (1990). Industrial hydrocolloids. In D.M. Bloor y E. WynJones (Eds.), The structure, dynamics and equilibrium properties of colloidal systems (pp. 449-470). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.

Mueller, C. (1999). The Regulatory Status of Medical Foods and Dietary Supplements in the United States. Nutrition, vol.15- 3: 249-251.

Mueller, C. (1999). The Regulatory Status of Medical Food and Dietary Supplements in the United States. *Nutrition*, Vol.15-3:249-251.

Nielsen Suzanne S. (2009). *Food Analysis*. New York U.S.A. editorial Arabia. Pp. 587-600

Nieto C, Vimos C, Monteros C, Caicedo C, Rivera C, Noriega A, Suquilanda M, manual de producción de quinua del Ecuador. Editores Escuela Radiofonica populares del Ecuador (ERPE), Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito, Ecuador. 2001.

Pence, G.E. (2002). *Designer Food. Mutant Harvest or Breadbasket of words* Gregory E. Pence. Rowman and Publishers, Inc., New York, Oxford.

Pence, G.E. (2002). *Designer Food. Mutant Harvest or Breadbasket of words* Gregory E. Pence. Rowman and Publishers, Inc., New York, oxford.

Reología. En línea [<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5207/Capitulo7.pdf>]. Fecha de consulta (12 de Abril del 2014)

Rosenthal Andrew J. (2001): *Food Texture. Measurement and Perception*. Aspen Publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland U.S.A.

Sandoval Galo, Mario Álvarez, Mayra Paredes, Alexandra Lascano. Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. Unidad Operativa de Investigación en Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 2012

Sanz Penella, J.M., Tamayo-Ramos, J.A., Sanz, Y., Haros, M. 2009. Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57:10239-10244.

Serna S. Sergio R.O. (2003) *Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales*. AGT Editor, S.A. Mexico D.F.

Sharma S.K., S. J. Mulvaney, S.S.H. Rizvi, 2003, *Ingeniería de alimentos "Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio"*, Editorial Limusa, pp. 20.

SIAP. La Yuca o Mandioca. Consultado el 31/10/2012. En línea. Disponible en <http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/Forrajes/Yuca.html>

Spinner, J. (2014). Los consumidores demandan mas alimentos "libres".  
FoodProductiondaily.com

Wood, F.W. (1979). Psychophysical studies on liquid foods and gels. In P. Sherman (Ed.), Food texture and rheology (pp. 21- 31). London: Academic Press.

# ANEXOS

## Anexo 1 Hoja de resultados de análisis de laboratorio de harina 1 (Quequi)

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	
HUMEDAD TRIGOS, %	
HUMEDAD SALVADO %	
HUMEDAD HARINA, %	10.3
PROTEÍNAS, %	
CENIZAS, %	0.749(M) 0.761(M)
GLUTEN HUMEDO, %	
GLUTEN SECO, %	
INDICE DE GLUTEN, %	
F. N., seg	
SEDIMENTACION, ml	
ALMIDON DAÑADO, UCD	
pH	

DETECCION ADITIVOS			
Hierro			
Ac. Asc.			

SUBPRODUCTOS / HARINAS INTEGRALES			
	%HUMEDAD	%PROTEÍNAS	%CENIZAS
SALVADO LIMPIO			
SALVADO FORRAJERO			
MOYUELO T5			
MOYUELO			
GRANILLO			
HARINA INTEGRAL			

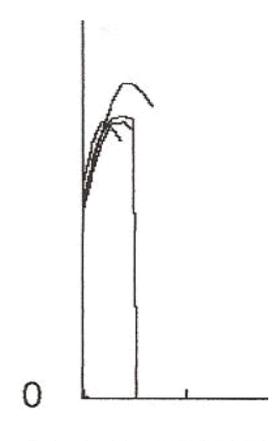
ALVEOGRAMA HC	
TENACIDAD, mm H <sub>2</sub> O (P)	31
EXTENSIBILIDAD, mm (L)	5
EXPANSION (G)	5
FUERZA GENERAL, 10E-4J (W)	8
INDICE P/L	6.2
INDICE DE ELASTICIDAD, % (le)	0
ELASTICIDAD (P/G)	6.2

ALVEOGRAMA HA	
T	
A	
EX	
Fb	
T/A	
lec	
T/Ex	
Hydra %	

FARINOGRAMA	
% ABSORCION DE AGUA (500 FU)	73.6
% ABSORCIÓN DE AGUA (14 %)	69.5
TIEMPO DE DESARROLLO, min	1.1
ESTABILIDAD, min	0.2
I T M, FU	162
TIEMPO DE CAIDA, min	1.6
No. CALIDAD FARINOGRAFICO	16
I A mm	

PANIFICACIÓN	
VOLUMEN, cc	270
MASA, g	163.9
VOLUMEN ESP, cc/g	1.6
GRANO	
COLOR DE MIGA	
OBSERVACIONES:	

ANALIZO:	Alejandra S./Alma R.
ANALIZO:	Alma Ch./ Rubi G.
REVISO:	Efrain Rincon
LOTE LIBERADO POR:	
LOTE EN ESPERA DE LIBERACIÓN:	
LOTE NO LIBERADO:	
DESTINO:	




Anexo 2 Farinograma de harina 1 (Quequi)

### Brabender® Farinograph

Sample: Harina 1 \*FENIX 19/03/14

Date: 02/04/14 01:06:08 a.m.

Method: AACC

Operator: Alma

Mixer: 300 g

Moisture content: 10.3 %

Consistency 382 FU with waterabsorption 76,6 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):

73,6 %

Waterabsorption (corrected to 14.0 %):

69,5 %

Development time:

1.1 min

Stability:

0.2 min

Toleranceindex (MTI):

162 FU

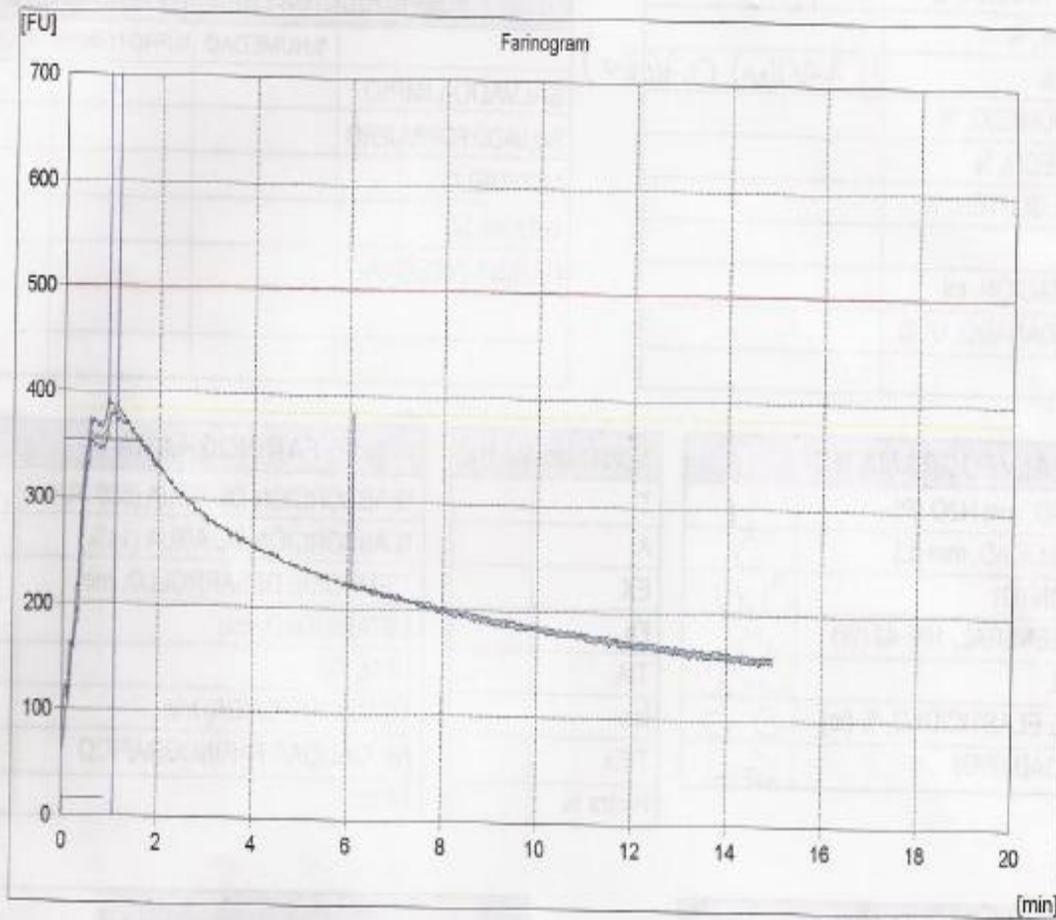
Time to breakdown:

1.6 min

Farinograph quality number:

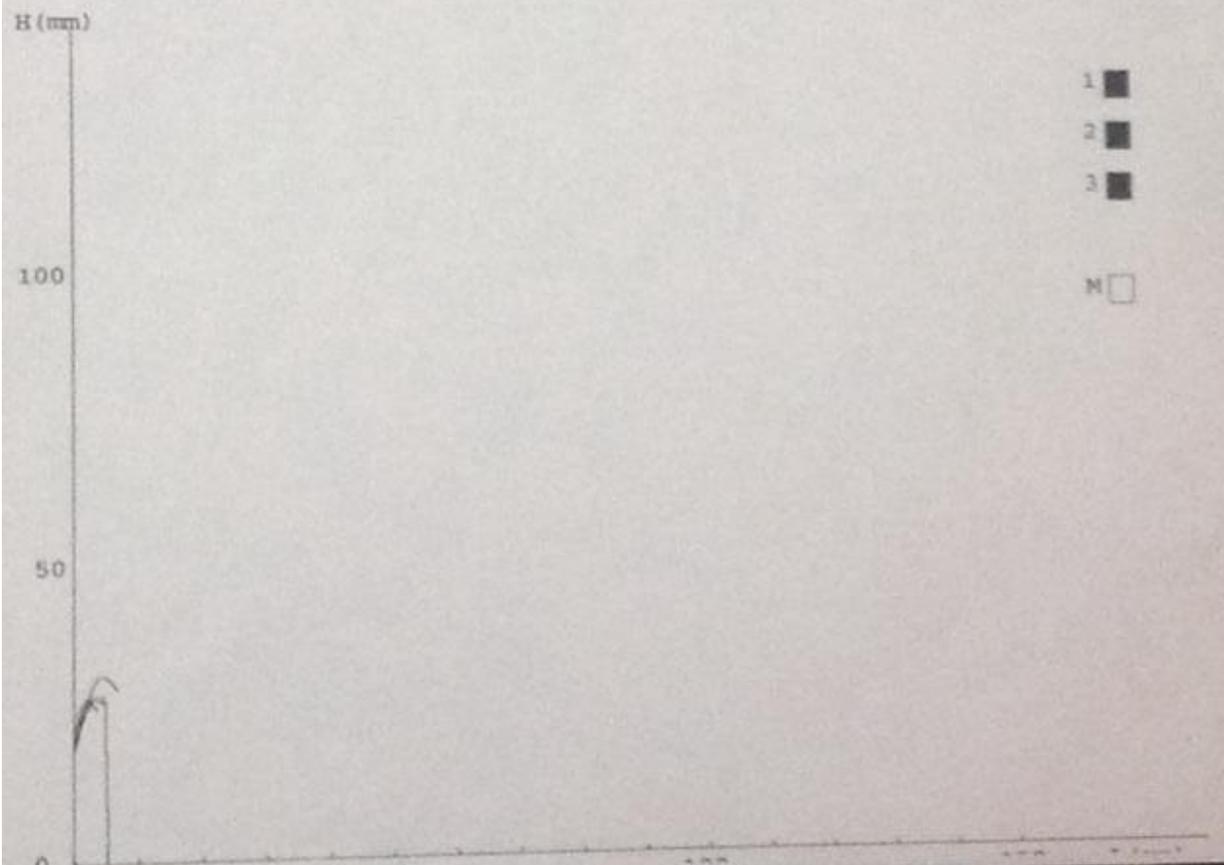
16

Remarks:



**Anexo 3** Alveógrama de harina 1 (Quequi)

ALVEOLINK NG	ALVEO HC	CHOPIN
GRUPO KASTO MOLINOS DE TRIGO		
FECHA: 29/03/2014 HORA: 12:45		REFERENCIA MUESTRA : 290314 NOMBRE DE FICHERO : 03290007A114
PARAMETROS		RESULTADOS
TEMP. LABO: 22.0 °C	HIGRO. LABO. :	P = 31 mmH <sub>2</sub> O
HARINA : HARINA NO. 1	MOLINO :	L = 5 mm
HUMEDAD : 10.30 %		G = 5.0
PROTEINAS :	I. CAIDA :	W = 8 10E-4J
A.D. :	ABSORCION:	P/L = 6.20
ZELENY :		Ie = 0.0 %
CENIZAS :	EXTRAC. :	W( 0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMENTARIOS		V: d2.8C +5.9



### Anexo 4 Análisis con viscoamiloógrafo Brabender para harina 1(Quequi -R1)

Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099
Sample	Quequi 0 mg 8 g s/glut	Moisture	8.5 [%]
Evaluation:	Standard		
Method		Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]

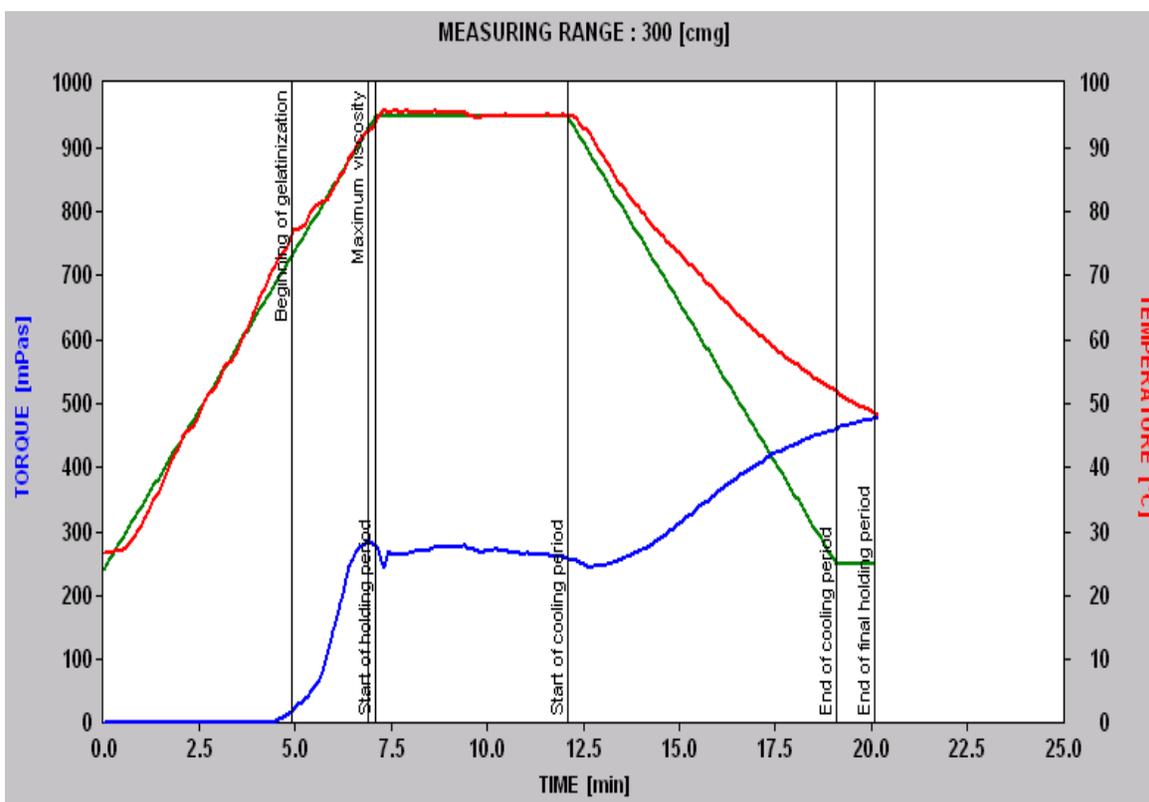
### PARAMETROS

### EVALUACIÓN

Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

Temperature profile					Total Time : 00:20:10				
Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold time HH:MM:SS					
0			24						
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00					
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00					
3									
4									
5									
6									

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:04:55	20	76.1
B	Maximum viscosity	00:06:55	286	92.6
C	Start of holding period	00:07:06	278	94.1
D	Start of cooling period	00:12:06	258	95.0
E	End of cooling period	00:19:06	460	51.9
F	End of final holding period	00:20:06	477	48.5
B-D	Breakdown		26	
E-D	Setback		199	



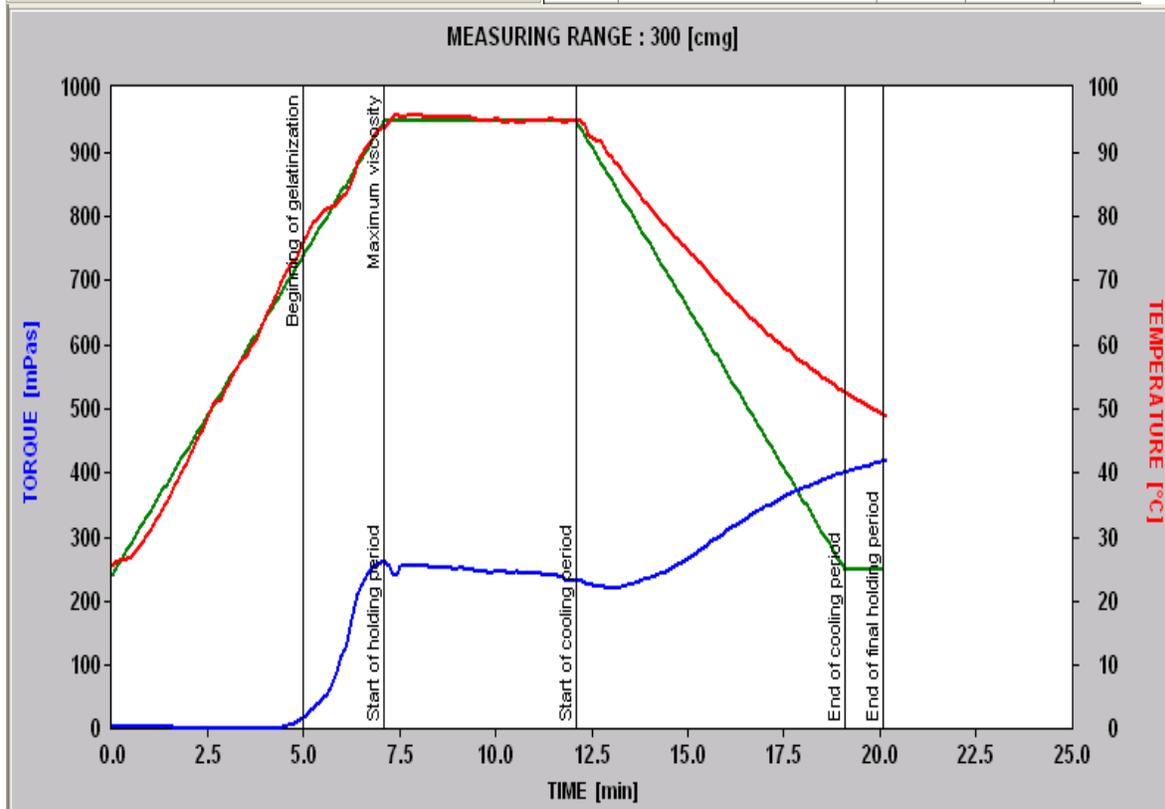
## Anexo 5 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 1(Quequi -R2)

Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099	
Sample	Quequi 0 mg 8 g s/glut	Moisture	8.5 [%]	
Evaluation: Standard				
Method		Correction	0 [%]	
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]	
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]	
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]	
Muestra B16 Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada				
Temperature profile Total Time : 00:20:10				
Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

## PARAMETROS

## EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:00	20	75.9
B	Maximum viscosity	00:07:05	263	93.7
C	Start of holding period	00:07:06	263	93.7
D	Start of cooling period	00:12:06	232	94.8
E	End of cooling period	00:19:06	402	52.6
F	End of final holding period	00:20:06	419	49.2
B-D	Breakdown		31	
E-D	Setback		168	



## Anexo 6 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 1(Quequi R3)

Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099
Sample	Quequi 0 mg 8 g s/glut	Moisture	8.5 [%]

Evaluation:	Standard
-------------	----------

Method		Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]

Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]
-------	-------------	-------------	-----------

Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

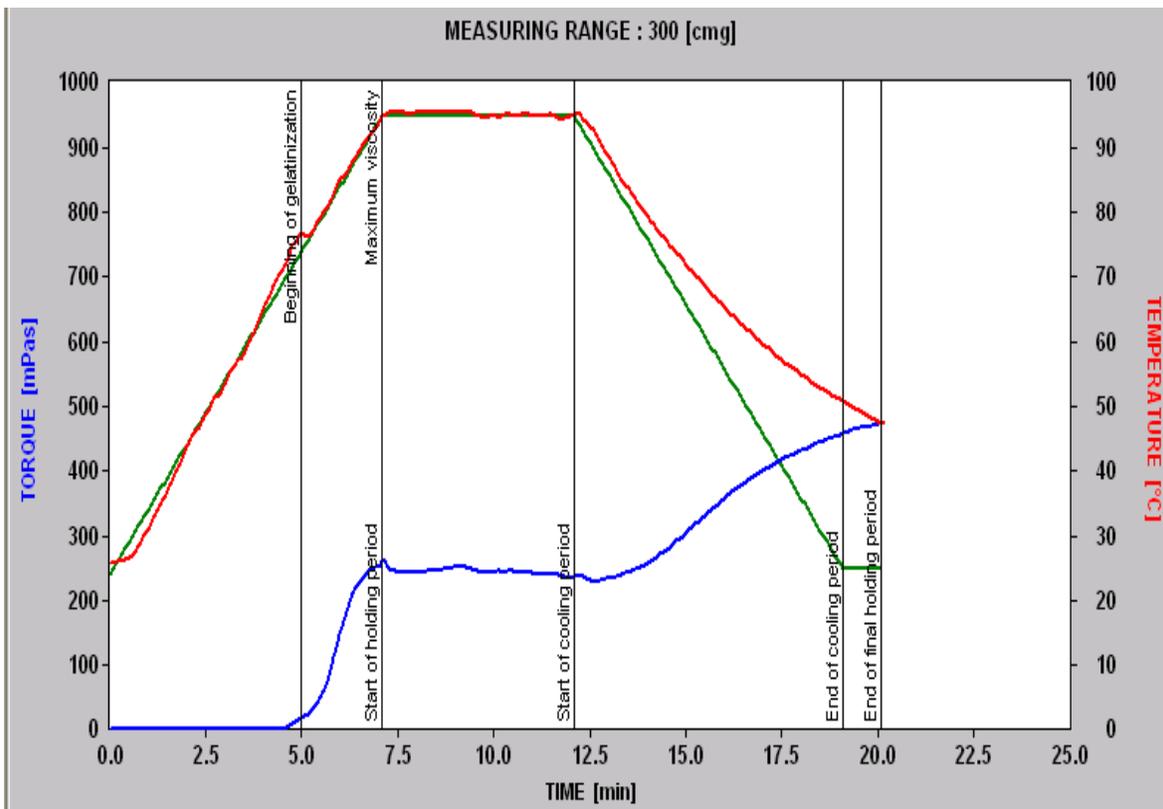
Temperature profile Total Time : 00:20:10

Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### PARAMETROS

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:00	19	76.9
B	Maximum viscosity	00:07:05	260	95.0
C	Start of holding period	00:07:06	260	95.0
D	Start of cooling period	00:12:06	236	95.2
E	End of cooling period	00:19:06	459	50.8
F	End of final holding period	00:20:06	474	47.5
B-D	Breakdown		25	
E-D	Setback		221	



**Anexo 7** Hoja de resultados de análisis de laboratorio de harina 2 (harina para pan de barra)

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	
HUMEDAD TRIGOS, %	
HUMEDAD SALVADO %	
HUMEDAD HARINA, %	11.6
PROTEÍNAS, %	
CENIZAS, %	0.200(M)
GLUTEN HUMEDO, %	
GLUTEN SECO, %	
INDICE DE GLUTEN, %	
F. N., seg	
SEDIMENTACION, ml	
ALMIDON DAÑADO, UCD	
pH	

DETECCION ADITIVOS			
Hierro			
Ac. Asc.			

SUBPRODUCTOS / HARINAS INTEGRALES			
	%HUMEDAD	%PROTEÍNAS	%CENIZAS
SALVADO LIMPIO			
SALVADO FORRAJERO			
MOYUELO T5			
MOYUELO			
GRANILLO			
HARINA INTEGRAL			

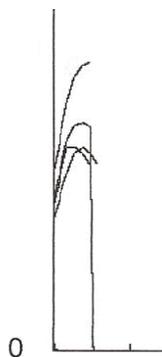
ALVEOGRAMA HC	
TENACIDAD, mm H <sub>2</sub> O (P)	33
EXTENSIBILIDAD, mm (L)	5
EXPANSION (G)	5
FUERZA GENERAL, 10E-4J (W)	9
INDICE P/L	6.6
INDICE DE ELASTICIDAD, % (Ie)	0
ELASTICIDAD (P/G)	6.6

ALVEOGRAMA HA	
T	
A	
EX	
Fb	
T/A	
Iec	
T/Ex	
Hydra %	

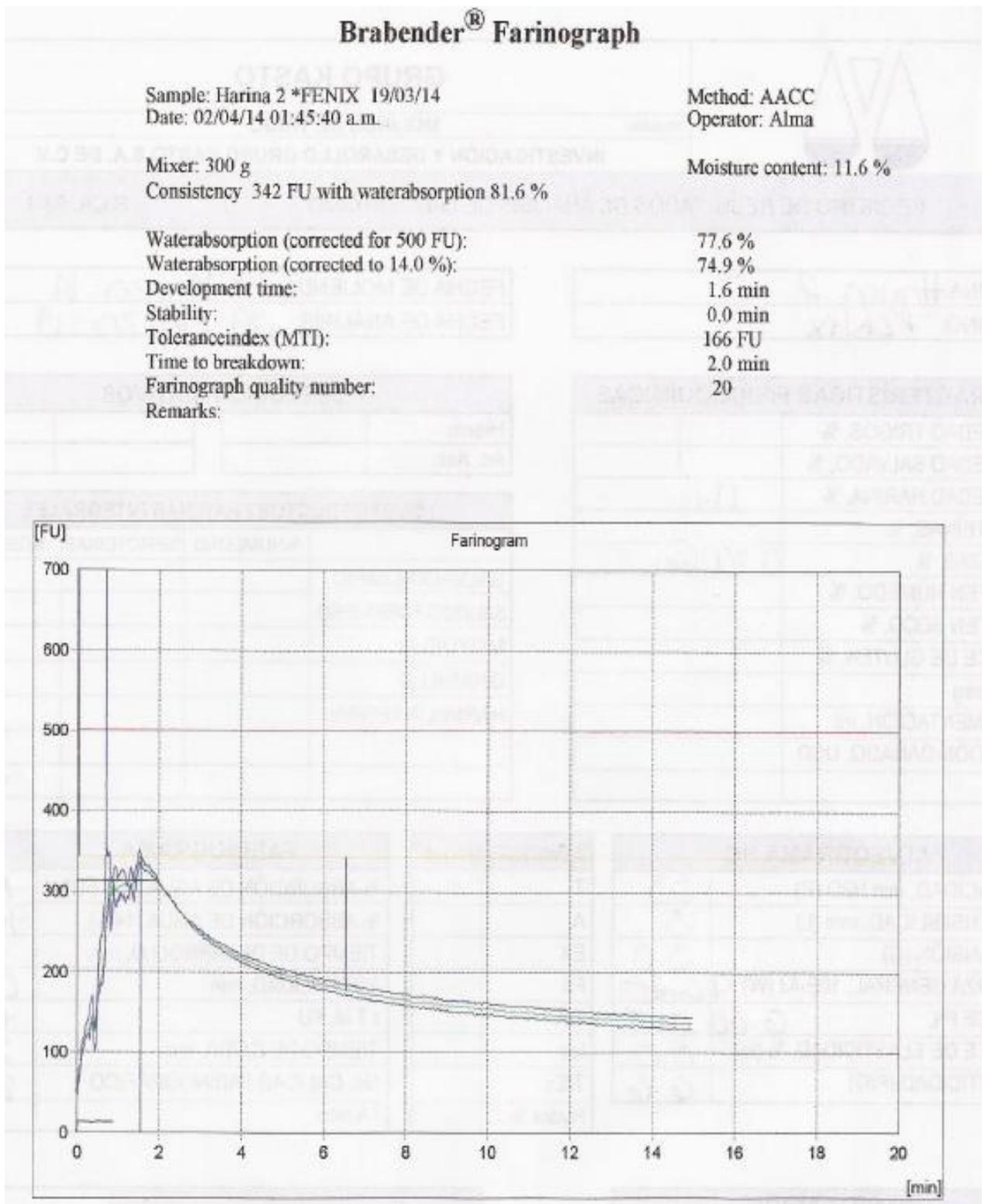
FARINOGRAMA	
% ABSORCION DE AGUA (500 FU)	77.6
% ABSORCIÓN DE AGUA (14 %)	74.9
TIEMPO DE DESARROLLO, min	1.6
ESTABILIDAD, min	0
I T M, FU	166
TIEMPO DE CAIDA, min	2
No. CALIDAD FARINOGRAFICO	20
I A mm	

PANIFICACIÓN	
VOLUMEN, cc	180
MASA, g	165.1
VOLUMEN ESP, cc/g	1
GRANO	
COLOR DE MIGA	
OBSERVACIONES:	

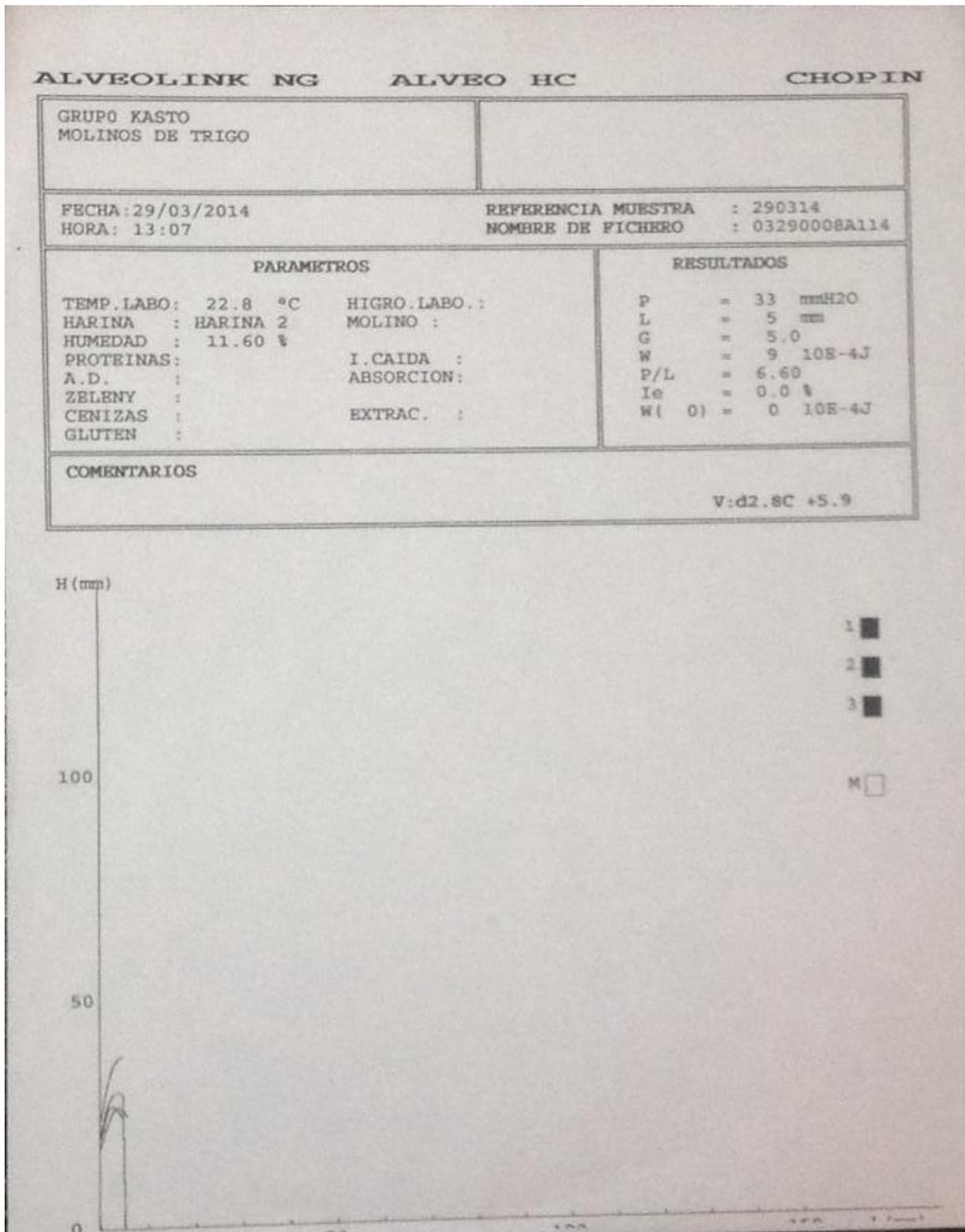
ANALIZO:	Alejandra S./Alma R.
ANALIZO:	Alma Ch./ Rubi G.
REVISO:	Efrain Rincon
LOTE LIBERADO POR:	
LOTE EN ESPERA DE LIBERACION:	
LOTE NO LIBERADO:	
DESTINO:	



**Anexo 8** Farinograma de harina para pan de barra



**Anexo 9** Alveógrama de harina para pan de barra



## Anexo 10 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R1)

### PARAMETROS

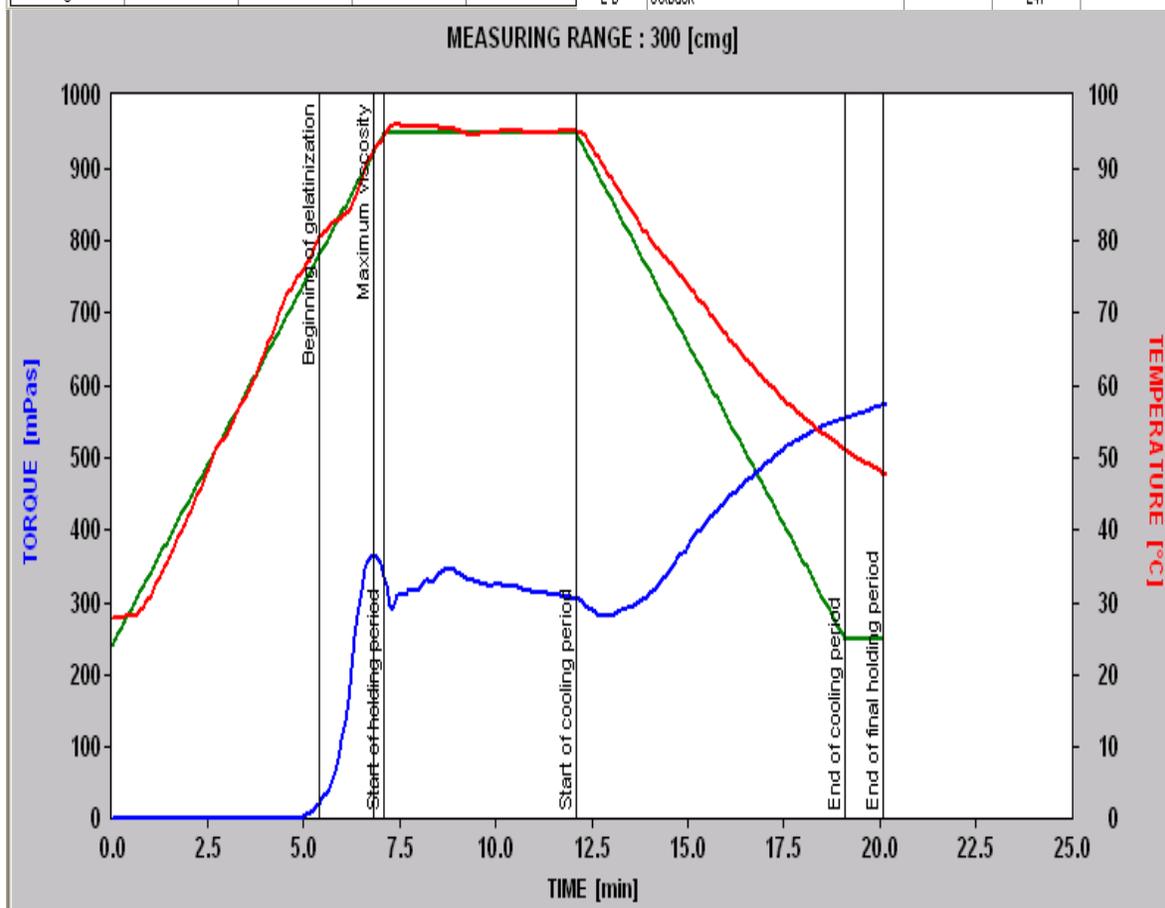
Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099
Sample	Barra 0 mg 8 g s/glut	Moisture	8.5 [%]
Evaluation: Standard			
Method		Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]

Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:25	23	80.6
B	Maximum viscosity	00:06:50	365	92.6
C	Start of holding period	00:07:06	337	94.6
D	Start of cooling period	00:12:06	306	95.1
E	End of cooling period	00:19:06	556	51.2
F	End of final holding period	00:20:06	573	47.8
B-D	Breakdown		59	
E-D	Setback		247	



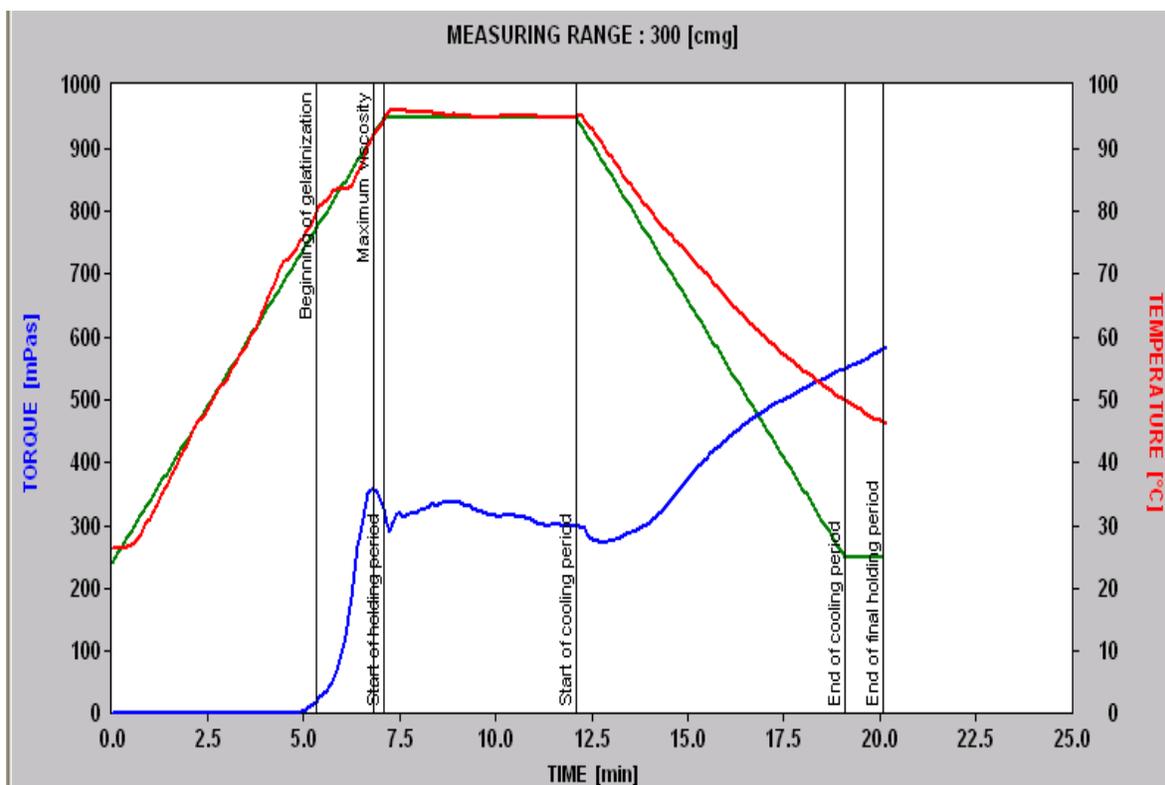
## Anexo 11 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R2)

### PARAMETROS

Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099	
Sample	Barra 0 mg 8 g s/glut R2	Moisture	8.5 [%]	
Evaluation: Standard				
Method		Correction	0 [%]	
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]	
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]	
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]	
Muestra B16 Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada				
Temperature profile Total Time : 00:20:10				
Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:20	20	79.8
B	Maximum viscosity	00:06:50	359	92.2
C	Start of holding period	00:07:06	329	94.7
D	Start of cooling period	00:12:06	300	95.1
E	End of cooling period	00:19:06	550	50.0
F	End of final holding period	00:20:06	581	46.4
B-D	Breakdown		59	
E-D	Setback		247	



## Anexo 12 Análisis con viscoamilógrafo Brabender para harina 2 (pan de barra R3)

### PARAMETROS

Operator	Yajaira Ch.	Date	03/03/2099
Sample	Barra 0 mg 8 g s/glut R3	Moisture	8.5 [%]

Evaluation:	Standard
-------------	----------

Method	Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%
Water	100 [ml]	Corr. to 0%

Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]
-------	-------------	-------------	-----------

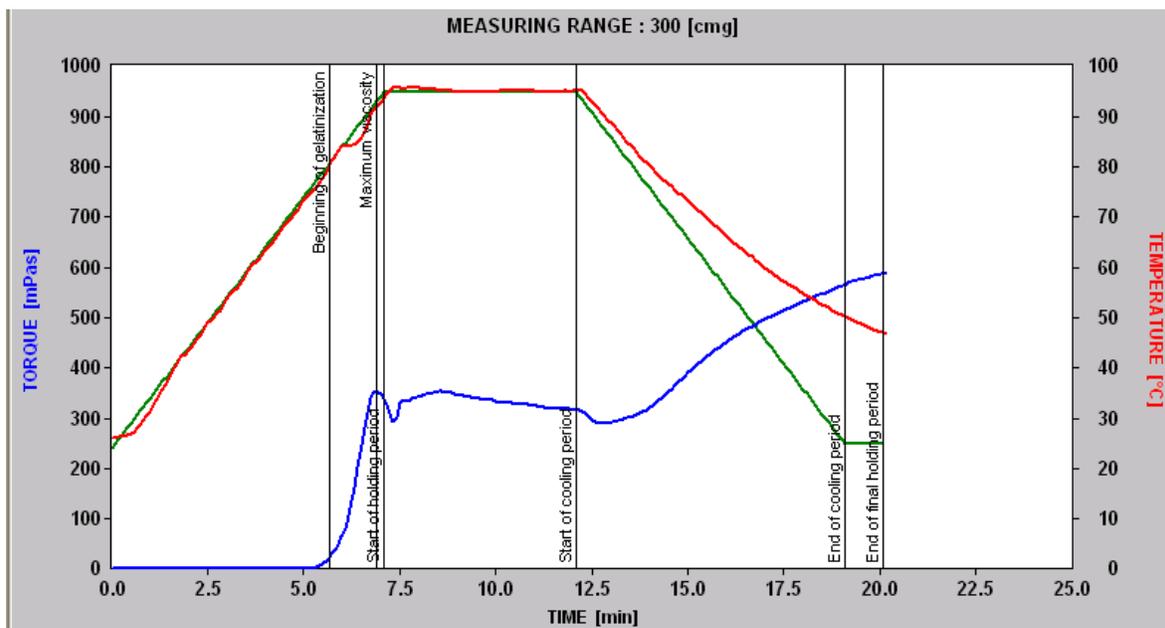
Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

Temperature profile Total Time : 00:20:10

Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:40	23	80.2
B	Maximum viscosity	00:06:55	355	92.1
C	Start of holding period	00:07:06	338	93.6
D	Start of cooling period	00:12:06	317	95.1
E	End of cooling period	00:19:06	566	50.4
F	End of final holding period	00:20:06	589	47.0
B-D	Breakdown		39	
E-D	Setback		247	



Anexo 13 Hoja de resultados de análisis de laboratorio Harina de trigo (Testigo)

CARACTERÍSTICAS FISIQUÍMICAS	
HUMEDAD TRIGOS, %	
HUMEDAD SALVADO %	
HUMEDAD HARINA, %	13.2
PROTEÍNAS, %	13.22
CENIZAS, %	0.706
GLUTEN HUMEDO, %	32.6-7
GLUTEN SECO, %	10.8
INDICE DE GLUTEN, %	99.81
F. N., seg	393
SEDIMENTACION, ml	36
ALMIDON DAÑADO, UCD	22.3-49S
pH	

DETECCION ADITIVOS			
Hierro			
Ac. Asc.	(+)(+)(+)(+)		

SUBPRODUCTOS / HARINAS INTEGRALES			
	%HUMEDAD	%PROTEÍNAS	%CENIZAS
SALVADO LIMPIO			
SALVADO FORRAJERO			
MOYUELO T5			
MOYUELO			
GRANILLO			
HARINA INTEGRAL			

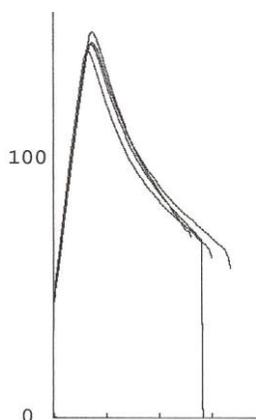
ALVEOGRAMA HC	
TENACIDAD, mm H <sub>2</sub> O (P)	159
EXTENSIBILIDAD, mm (L)	57
EXPANSION (G)	16.8
FUERZA GENERAL, 10E-4J (W)	366
INDICE P/L	2.79
INDICE DE ELASTICIDAD, % (Ie)	60.9
ELASTICIDAD (P/G)	9.4

ALVEOGRAMA HA	
T	
A	
EX	
Fb	
T/A	
Iec	
T/Ex	
Hydra %	

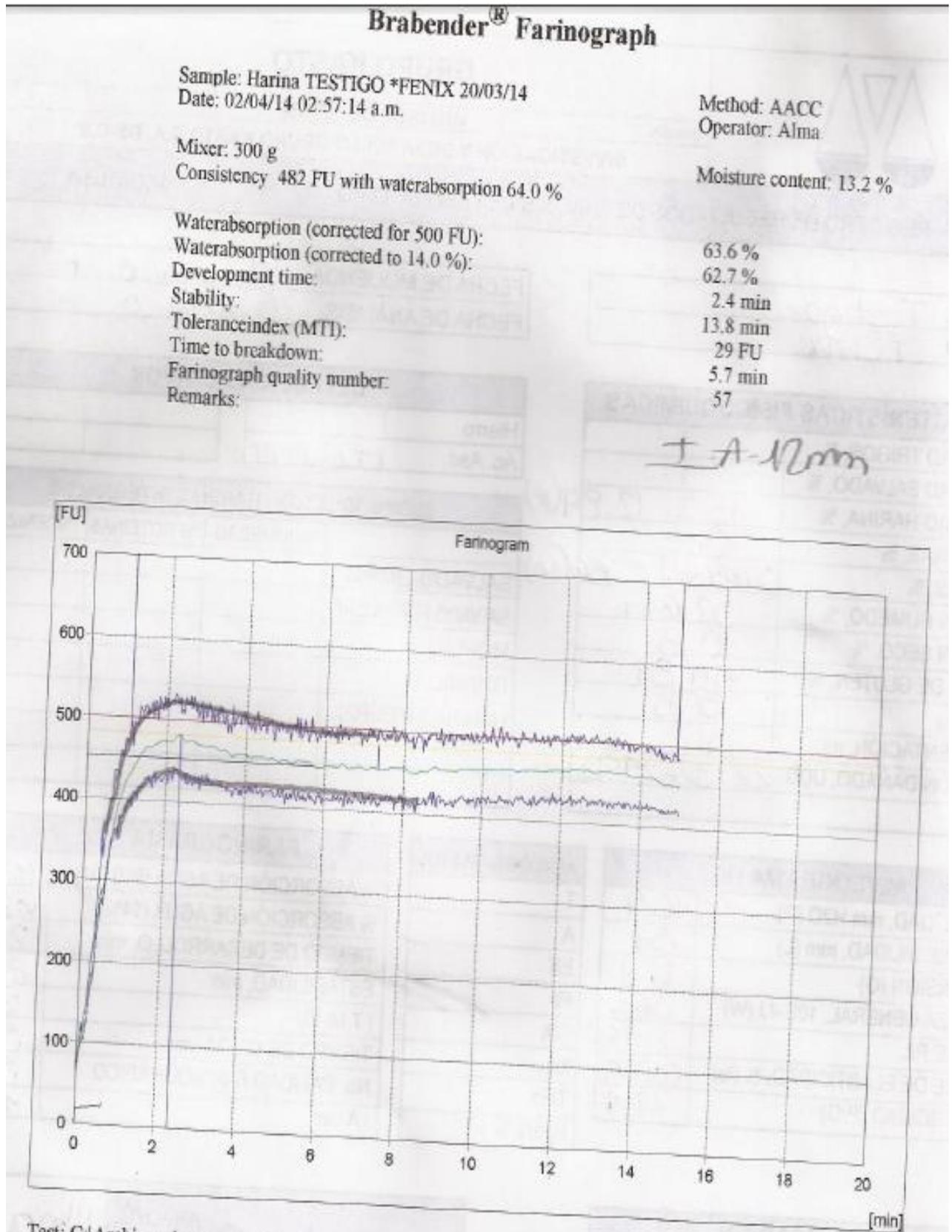
FARINOGRAMA	
% ABSORCION DE AGUA (500 FU)	63.6
% ABSORCIÓN DE AGUA (14 %)	62.7
TIEMPO DE DESARROLLO, min	2.4
ESTABILIDAD, min	13.8
I T M, FU	29
TIEMPO DE CAIDA, min	5.7
No. CALIDAD FARINOGRAFICO	57
I A mm	12

PANIFICACIÓN	
VOLUMEN, cc	790
MASA, g	188.8
VOLUMEN ESP, cc/g	4.1
GRANO	Abierto
COLOR DE MIGA	Crema
OBSERVACIONES: Harina con olor, color y sabor característico.(1.44) Buena incorporación (120ml-8min) Masa fuerte,elástica,y pecosa. Muy buen volumen corteza dorada,algo arrugada,	

ANALIZO:	Alejandra S./Alma R.
ANALIZO:	Alma Ch./ Rubi G.
REVISO:	Efrain Rincon
LOTE LIBERADO POR:	
LOTE EN ESPERA DE LIBERACIÓN:	
LOTE NO LIBERADO:	
DESTINO:	

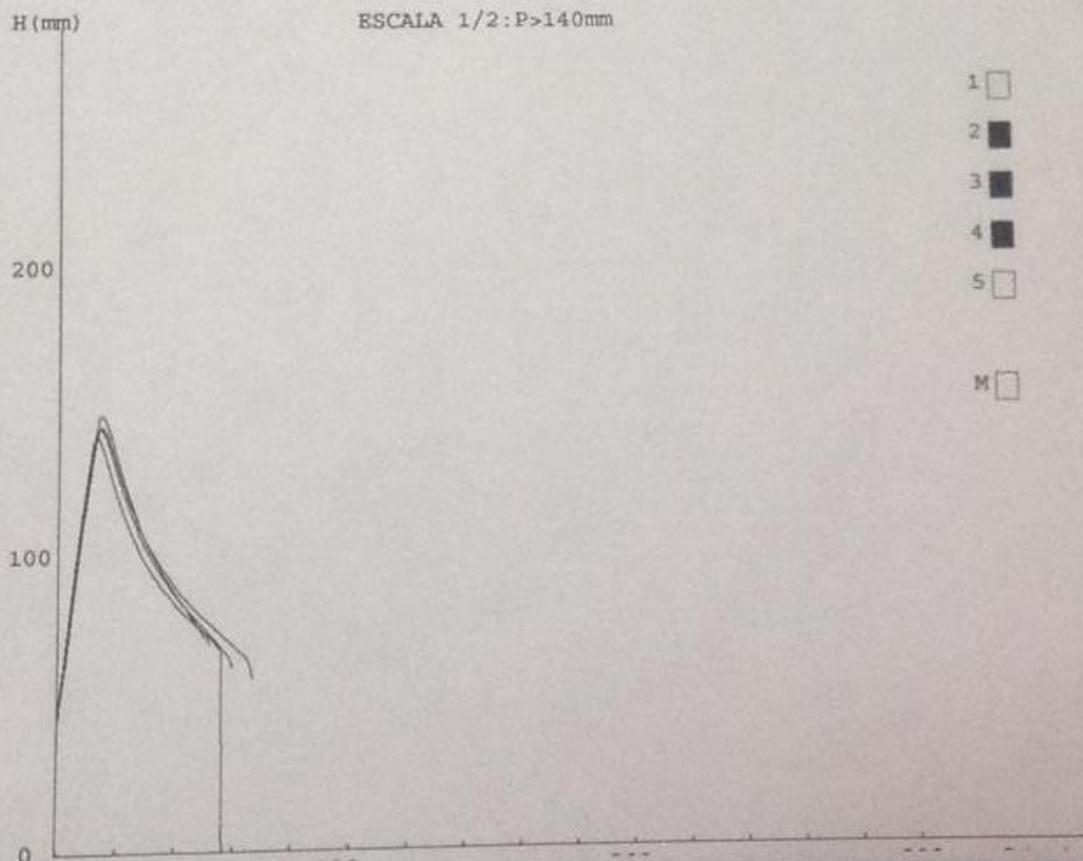


Anexo 14 Farinograma de harina testigo (Trigo)



**Anexo 15** Alveógrama de harina testigo (Trigo)

ALVEOLINK NG		ALVEO HC	CHOPIN
GRUPO KASTO MOLINOS DE TRIGO			
FECHA: 30/03/2014 HORA: 12:00		REFERENCIA MUESTRA : 190314 NOMBRE DE FICHERO : 03300007A114	
PARAMETROS		RESULTADOS	
TEMP. LABO:	HIGRO. LABO.:	P	= 159 mmH <sub>2</sub> O
HARINA : TESTIGO	MOLINO :	L	= 57 mm
HUMEDAD : 13.20 %		G	= 16.8
PROTEINAS:	I. CAIDA :	W	= 366 10E-4J
A. D. :	ABSORCION:	P/L	= 2.79
ZELENY :		Ie	= 60.9 %
CENIZAS :	EXTRAC. :	W( 0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMENTARIOS		V:d2.8C +5.9	



## Anexo 16 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R1)

### PARAMETROS

Operator	Yajaira Ch.	Date	01/04/2000
Sample	Testigo 0 mg 8 g R1	Moisture	8.5 [%]
Evaluation:	Standard		
Method		Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]

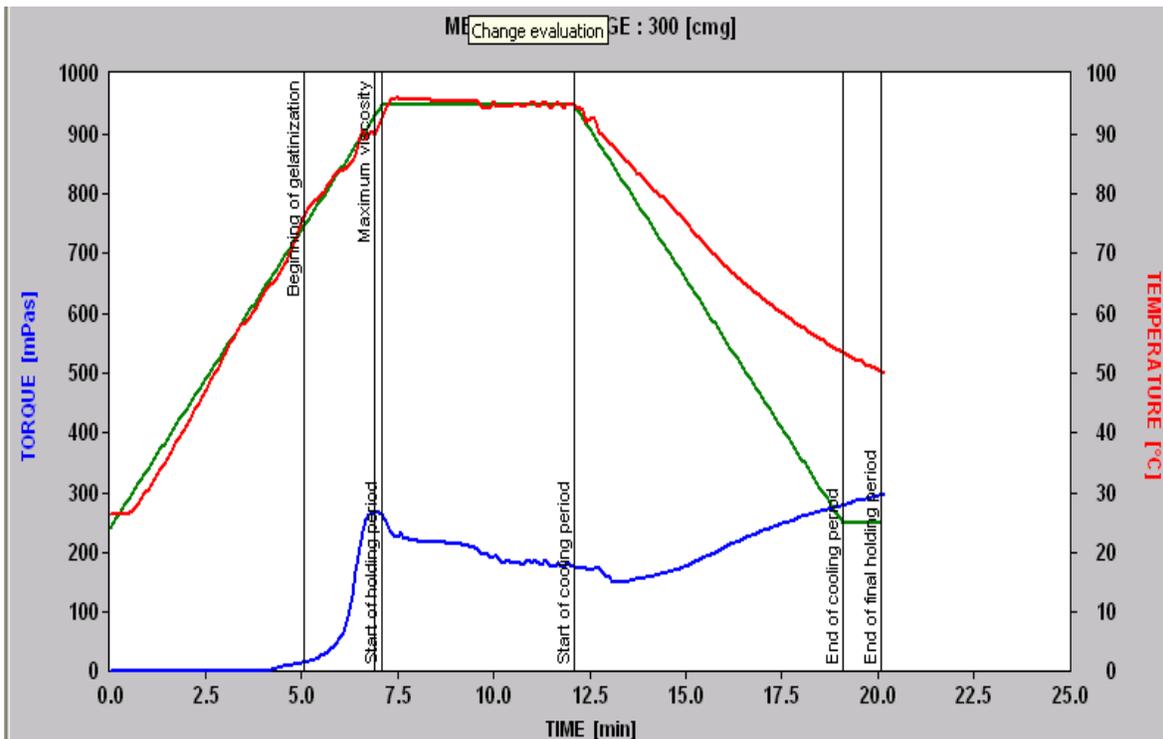
Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

Temperature profile Total Time : 00:20:10

Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:05	17	76.3
B	Maximum viscosity	00:06:55	266	89.8
C	Start of holding period	00:07:06	264	92.6
D	Start of cooling period	00:12:06	178	94.9
E	End of cooling period	00:19:06	280	53.6
F	End of final holding period	00:20:06	297	50.3
B-D	Breakdown		87	
E-D	Setback		99	



## Anexo 17 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R2)

### PARAMETROS

Operator	Yajaira Ch.	Date	01/04/2000
Sample	Testigo 0 mg 8 g R2	Moisture	8.5 [%]
Evaluation: Standard			
Method		Correction	0 [%]
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]

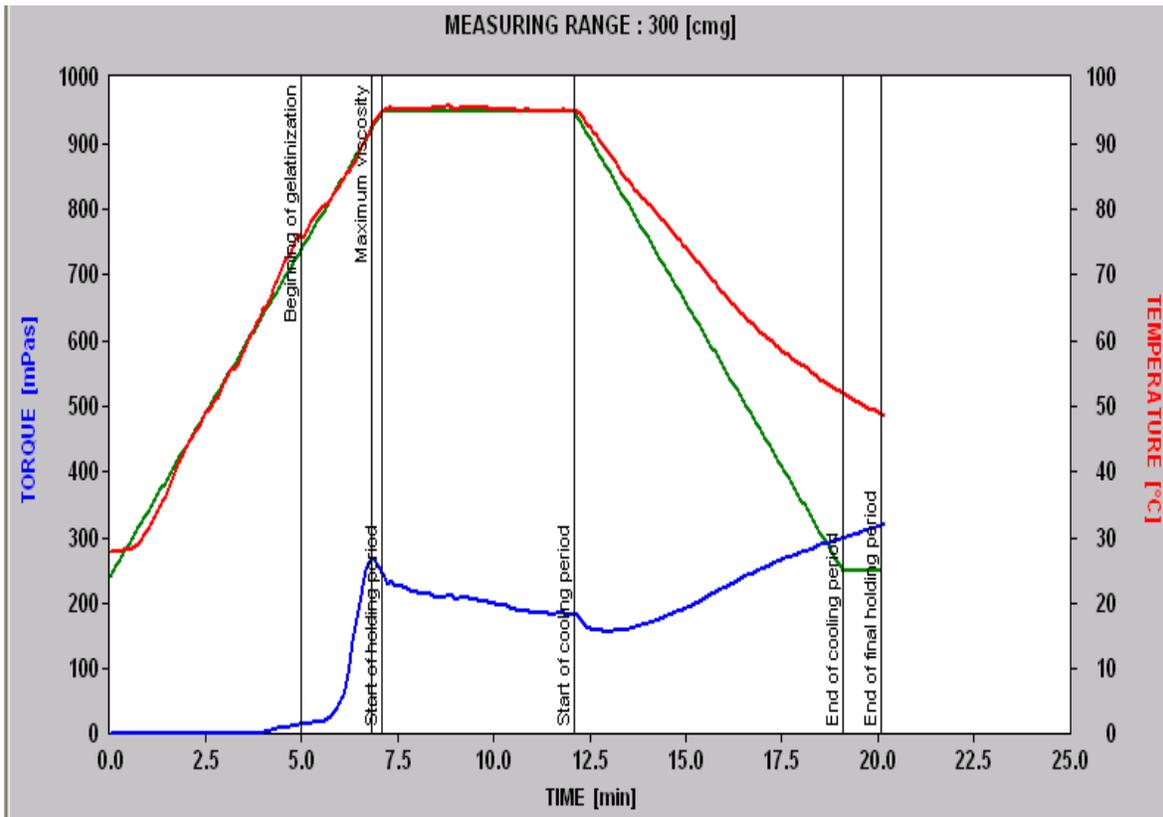
Muestra B16  
Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada

Temperature profile Total Time : 00:20:10

Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:00	15	75.7
B	Maximum viscosity	00:06:50	270	92.7
C	Start of holding period	00:07:06	247	94.8
D	Start of cooling period	00:12:06	181	94.9
E	End of cooling period	00:19:06	300	52.1
F	End of final holding period	00:20:06	318	48.8
B-D	Breakdown		90	
E-D	Setback		117	



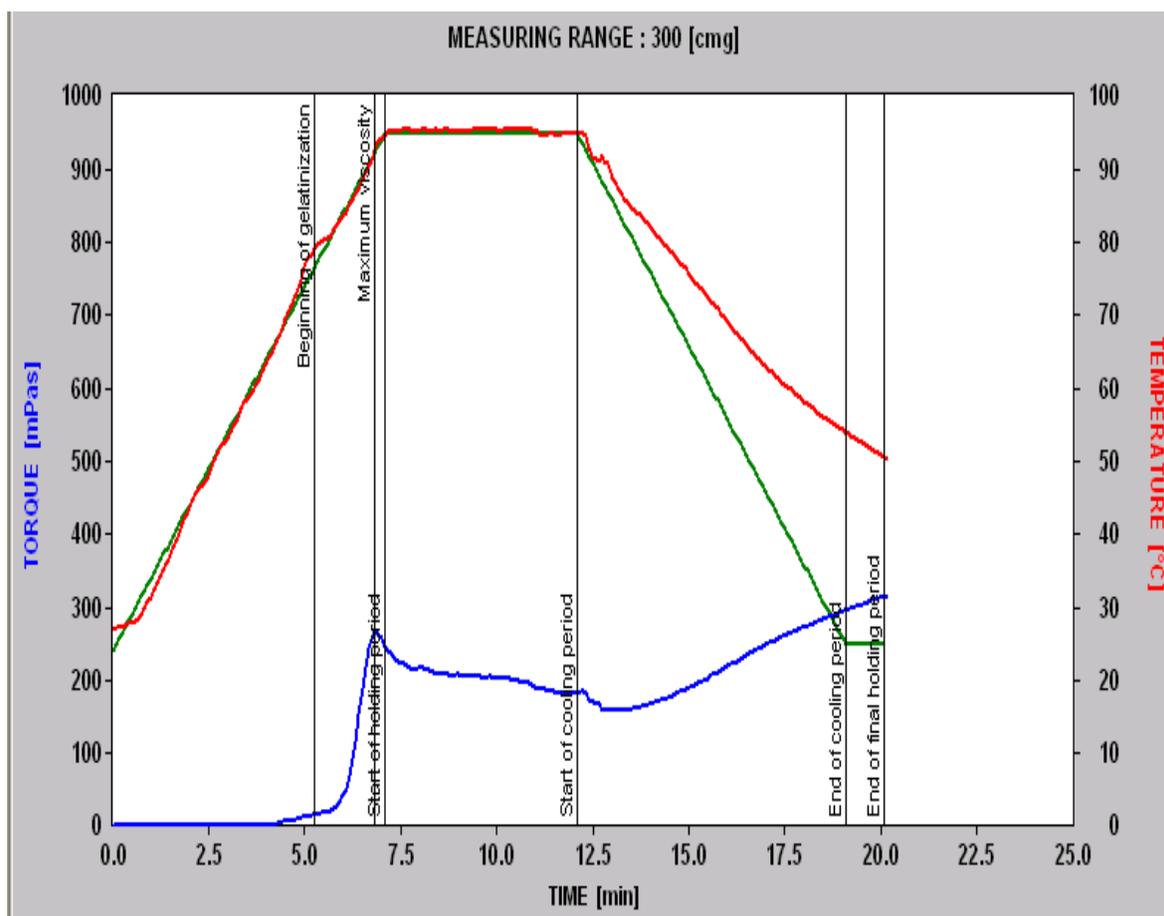
## Anexo 18 Análisis con viscoamilógrafo Brabender harina testigo (Trigo R3)

### PARAMETROS

Operator	Yajaira Ch.	Date	02/04/2000	
Sample	Testigo 0 mg 8 g R3	Moisture	8.5 [%]	
Evaluation: Standard				
Method		Correction	0 [%]	
Sample weight	8 [g]	Corr. to 0%	8.7 [g]	
Water	100 [ml]	Corr. to 0%	99.3 [ml]	
Speed	200 [1/min]	Meas. range	300 [cmg]	
Muestra B16 Se pesaron 10 g del material y se le adicionaron 100 mL de agua destilada				
Temperature profile		Total Time : 00:20:10		
Segment	Slope [°C/min]	Ramp time HH:MM:SS	Temperature [°C]	Hold. time HH:MM:SS
0			24	
1	10.0	00:07:06	95	00:05:00
2	-10.0	00:07:00	25	00:01:00
3				
4				
5				
6				

### EVALUACIÓN

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [mPas]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:05:15	15	79.1
B	Maximum viscosity	00:06:50	266	92.7
C	Start of holding period	00:07:06	247	94.7
D	Start of cooling period	00:12:06	182	95.0
E	End of cooling period	00:19:06	297	53.9
F	End of final holding period	00:20:06	314	50.6
B-D	Breakdown		83	
E-D	Setback		113	



**Anexo 19 ANOVA: Harina1, Harina2, Testigo**

Inicio de gelatinización.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	61.56	30.78	19.79	0.002
Error	6	9.33	1.56		
Total	8	70.89			

S = 1.247 R-cuad. = 86.83% R-cuad. (ajustado) = 82.45%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
Harina1	3	19.667	0.577
Harina2	3	22.000	1.732
Testigo	3	15.667	1.155

Desv.Est. agrupada = 1.247

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

**Viscosidad máxima**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	16630.9	8315.4	107.07	0.000
Error	6	466.0	77.7		
Total	8	17096.9			

S = 8.813 R-cuad. = 97.27% R-cuad. (ajustado) = 96.37%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
Harina1	3	269.67	14.22
Harina2	3	359.67	5.03
Testigo	3	267.33	2.31

Desv.Est. agrupada = 8.81

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

## Tiempo de sostenimiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	11508.2	5754.1	80.79	0.000
Error	6	427.3	71.2		
Total	8	11935.6			

S = 8.439 R-cuad. = 96.42% R-cuad.(ajustado) = 95.23%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
Harina1	3	267.00	9.64	(---*---)
Harina2	3	334.67	4.93	(---*---)
Testigo	3	252.67	9.81	(---*---)

240 270 300 330

Desv.Est. agrupada = 8.44

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

## Inicio del periodo de enfriamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	24328.7	12164.3	132.86	0.000
Error	6	549.3	91.6		
Total	8	24878.0			

S = 9.568 R-cuad. = 97.79% R-cuad.(ajustado) = 97.06%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
Harina1	3	242.00	14.00	(---*---)
Harina2	3	307.67	8.62	(---*---)
Testigo	3	180.33	2.08	(--*--)

200 240 280 320

Desv.Est. agrupada = 9.57

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

## Termino del periodo de enfriamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	105818	52909	123.62	0.000
Error	6	2568	428		
Total	8	108386			

S = 20.69 R-cuad. = 97.63% R-cuad. (ajustado) = 96.84%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Harina1	3	440.33	33.20	(---*---)	
Harina2	3	557.33	8.08	(---*---)	
Testigo	3	292.33	10.79	(---*---)	

Desv.Est. agrupada = 20.69

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

## Termino del periodo de sostenimiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	110690	55345	132.33	0.000
Error	6	2509	418		
Total	8	113199			

S = 20.45 R-cuad. = 97.78% R-cuad. (ajustado) = 97.04%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Harina1	3	456.67	32.65	(---*---)	
Harina2	3	581.00	8.00	(---*---)	
Testigo	3	309.67	11.15	(---*---)	

Desv.Est. agrupada = 20.45

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%