



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
REOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE TRIGO
GALLETERA EN UNA HARINERA COMERCIAL**

TRABAJO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ARTURO HERNÁNDEZ BARRIENTOS

ASESOR: M. EN C. CAROLINA MORENO RAMOS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: EVALUACION DEL INFORME
 DEL DESEMPEÑO PROFESIONAL

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes y el art. 66 del Reglamento de Exámenes Profesionales de FESC, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **EL TRABAJO PROFESIONAL:**

Evaluación de las Propiedades Fisicoquímicas y Reológicas en la Producción de Harina de Trigo Galletera en una Harinera Comercial

que presenta el pasante: Arturo Hernández Barrientos

con número de cuenta: 9759090-3 para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios, otorgamos nuestra **ACEPTACION**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Octubre de 2006

PRESIDENTE	<u>Dra. Laura Patricia Martínez Padilla</u>	
VOCAL	<u>I.A Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Carolina Moreno Ramos</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. María del Carmen Valderrama Bravo</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M. en C. Enrique Martínez Manrique</u>	

AGRADECIMIENTOS

A Díos por llenarme de bendiciones a lo largo de toda mi vida, por saber valorar y sentirme orgulloso de mi familia, por darme la fuerza y tenacidad para lograr una meta más y poder vivir este momento.

A mis Padres por todas sus noches de desvelo, por ser esas personas que dejaron todo por verme feliz, a las cuales les debo todo lo que soy, por ser los pilares de todos mis éxitos, por todo su cariño y apoyo incondicional en cualquier situación, por darme la herencia más valiosa que pudiera recibir. Deseo felicitarlos de todo corazón por este triunfo, que es suyo.

Gracias papá por ser el mejor padre, el mejor amigo y mi más grande inspiración, te quiero.

Gracias mamá por darme la vida, por tus consejos y fortaleza, por todo el amor que solo una madre puede dar, te quiero.

A mí Esposa por ser la persona a la cual puedo confiarle todo, por tantos lindos momentos que hemos pasado juntos, por ser el complemento de mi vida y la fuerza que me impulsa a cumplir mis metas, por todo el amor y comprensión, **te amo Cinthya.**

A mis Hermanos por ser esas personas a las cuales puedo contar mis tristezas y alegrías, por ser quienes siempre estarán presentes en los momentos difíciles de mi vida, por haber tenido la dicha de compartir momentos inolvidables con cada uno.

Hugo por la infancia tan maravillosa que vivimos, por todas las travesuras y horas de juego que pasamos juntos, por cuidarme, por todo tu apoyo y consejos, por ser un ejemplo de tenacidad y voluntad.

José por brindarme tu ayuda en todo momento, por dejarme compartir contigo tu juventud, por escucharme y confiar en mí, por todas esas horas de alegría compartida.

A mis Sobrinos (Arturo y Héctor) por todas las alegrías que han brindado a mi vida, por su sonrisa e inocencia, por dejarme compartir momentos increíbles con ustedes, los quiero mucho.

A todos mis Familiares gracias, por todos sus consejos y por el apoyo que representa para mí tener una familia como la nuestra, en especial a ti "Pele", por todos los consejos e impulsarme a conseguir mi ilusión, los quiero mucho.

A mis amigos (Damian, Gabriel, Héctor, José, Mario, Raúl), por brindarme su amistad verdadera y desinteresada, por el apoyo que siempre me ofrecieron en cualquier situación, por todas las noches de desvelo que pasamos juntos y por todo lo compartido en las mejores etapas de mi vida, gracias.

A mi Asesor y Síndales por el tiempo dedicado a la elaboración de este trabajo, por su importante aportación de conocimientos e ideas, con el simple objetivo de mejorar el nivel académico de la universidad.

A todas las personas que directa o indirectamente participaron en la elaboración de este trabajo, con especial gratitud a los Ingenieros Olivia González y Oscar Moreno.

ÍNDICE

Pág.

OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	2
1. ANTECEDENTES	4
1.1 ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO	4
1.1.1 Salvado	6
1.1.2 Germen o embrión	6
1.1.3 Endospermo	7
1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO	8
1.2.1 Almidón	9
1.2.2 Proteínas	10
1.2.3 Enzimas	10
1.2.4 Minerales	11
1.2.5 Vitaminas	11
1.2.6 Lípidos	11
1.3 HARINA DE TRIGO	12
1.3.1 Composición química de la harina de trigo	12
1.3.1.1 Humedad	13
1.3.1.2 Almidón	13
1.3.1.3 Proteínas	14
1.3.1.4 Minerales	15
1.3.1.5 Enzimas	15
1.3.1.6 Granulometría	16
1.3.2 Valor nutritivo de la harina de trigo y sus subproductos	16
1.3.2.1 Harina	16
1.3.2.2 Subproductos	18
1.3.2.2.1 Salvado	18
1.3.2.2.2 Salvadillo, cema o acemite	18

1.3.2.2.3 Germen de trigo	18
1.3.3 Descripción del proceso industrial	19
1.3.3.1 Recepción y almacenamiento del trigo	19
1.3.3.2 Limpieza del trigo	20
1.3.3.3 Acondicionamiento	22
1.3.3.4 Molienda	23
1.3.3.4.1 Trituración	23
1.3.3.4.2 Cernido	26
1.3.3.4.3 Purificación	27
1.3.3.4.4 Sistema de reducción o compresión	29
1.3.3.4.5 Cernido o purificación de la harina	30
1.3.4 Productos y rendimientos	31
1.3.5 Almacenamiento	32
2. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	34
2.1 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS POR EL CLIENTE Y LAS ESTABLECIDAS POR LA NORMA MEXICANA PARA LA HARINA DE TRIGO TIPO GALLETERA	35
2.1.1 Físicoquímicas.	35
2.2 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA HARINA DE TRIGO	36
2.2.1 Determinaciones físicoquímicas	36
2.2.1.1 Determinación de humedad	36
2.2.1.2 Determinación de cenizas	37
2.2.1.3 Determinación de granulometría	38
2.2.1.4 Obtención de gluten de trigo	39
2.2.2 Determinación de las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo	40
2.2.2.1 Farinógrafo	41
2.2.2.2 Alveógrafo	43
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA HARINA DE TRIGO	47
4. CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS	64

FIGURA	ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
1	Corte longitudinal de un grano de trigo	5
2	Banco de molienda	25
3	Tamices de un cernido, mostrando el flujo del producto	27
4	Purificador	29
5	Proceso para la obtención de harina de trigo	33
6	Curva característica obtenida con un farinógrafo	42
7	Alveograma	46
8	Promedios de humedad por lote	51
9	Promedios de ceniza por lote	53
10	Relación humedad-cenizas	54
11	Promedios de proteína por lote	55
12	Promedios de granulometría por lote	57
13	Absorción de agua de la harina	58
14	Fuerza de la harina	60
15	Relación entre la absorción de agua y la tenacidad	60

CUADRO	ÍNDICE DE CUADROS	Pág.
1	Composición química de las diferentes partes del grano de trigo	9
2	Composición química de la harina de trigo	12
3	Vitaminas adicionadas para la fortificación de la harina de trigo y su función dentro del organismo	17
4	Especificaciones fisicoquímicas para la harina de trigo tipo galletera	35
5	Especificaciones fisicoquímicas requeridas por el cliente para la harina de trigo tipo galletera	35
6	Resultados	47
7	Letra asignada por lote	50
8	Tabla de ANOVA para humedad por lote	52
9	Tabla de ANOVA para ceniza por lote	53
10	Tabla de ANOVA para proteína por lote	56
11	Tabla de ANOVA para granulometría por lote	57

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades de la harina de trigo tipo galletera a lo largo de un mes de producción en una harinera comercial, llevando acabo la determinación de parámetros fisicoquímicos y reológicos de la harina, para garantizar las características propias de este tipo de harina y el cumplimiento de las especificaciones solicitadas por el cliente.

Objetivo particular 1

Recopilar información disponible sobre el equipo, su funcionamiento y el proceso de elaboración de la harina de trigo, y realizar una revisión de los aspectos generales que sirvan para comprender la producción de la harina a nivel industrial.

Objetivo particular 2

Describir la metodología para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y reológicos de la harina de trigo tipo galletera, y los equipos utilizados en un laboratorio a nivel industrial.

Objetivo particular 3

Determinar las propiedades reológicas con las cuales debe cumplir la harina de trigo tipo galletera para establecer su funcionalidad y los factores que pueden afectar estas propiedades.

Objetivo particular 4

Determinar la variación que existe en los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo tipo galletera a lo largo de un mes de producción en una harinera comercial, y determinar si la calidad del producto final se ve afectada por dicha variación que pueda existir entre los diferentes lotes producidos.

INTRODUCCIÓN

Los cereales, cuyo nombre deriva de Ceres, diosa griega de la alimentación, constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que constituye el aporte energético, así como numerosos nutrientes para el organismo; por esto los cereales han sido, son y seguirán siendo el principal sustento del hombre. Desde hace más de 24 siglos, numerosas culturas han estado estrechamente vinculadas con el cultivo y el uso de cereales.

Son una especie vegetal perteneciente a la familia de las gramíneas; los más cultivados son el trigo, el maíz, el arroz, la cebada, la avena y el sorgo. El trigo (*Triticum*) es, desde la prehistoria uno de los cereales más importante del mundo.

Actualmente se vienen cultivando cerca de 10 especies del género *Triticum*, pero sólo dos de éstas presentan interés desde el punto de vista comercial: el *Triticum aestivom* y el *Triticum durum* (Primo, 1997; Quaglia, 1991).

La producción mundial de trigo en términos de peso representa el 28.5% (584 millones de toneladas), de la producción total de cereales, representando la de maíz y arroz el 28.1% (577 millones de toneladas) y el 27.4% (562 millones de toneladas), respectivamente. La producción de trigo varía ampliamente según la localización geográfica, Europa registra el 31% de la producción total de trigo, Asia el 23% y Norte América el 16%. México ocupa el tercer lugar en producción de trigo en Norte América y cuarto a nivel continental, la mayor parte de trigo de la producción nacional proviene de Sonora, Baja California Norte y Guanajuato (El sector alimentario en México, 2004).

Como se mencionó anteriormente, existen dos clases de trigos: los panificables que corresponden a la especie *Triticum aestivom*, y que comprenden los grupos 1, 2, 3 y 4 y los trigos no panificables que corresponden a la especie *Triticum durum*, que comprenden el grupo 5. De cada uno de estos grupos de trigos se obtendrá un producto con diferentes características que definirá su uso final. Debido a esto, en la industria harinera es de suma importancia entregar a cada cliente un producto que cumpla con sus necesidades y garantice su satisfacción.

Aproximadamente el 80% de la producción de trigo es destinado a la obtención de alimentos, principalmente como pan y otros productos horneados tales como bollería y galletas. La

fabricación de galletas constituye un sector sustancial de la industria de la alimentación. Está muy bien arraigada en todos los países industrializados y en rápida expansión en las zonas del mundo en desarrollo. La principal atracción de la galletería es su gran variedad. Son alimentos convenientemente nutritivos con gran margen de conservación. La gran desventaja para algunos países es que la confección de la galleta, se basa en el tipo de harina de trigo.

Además dentro de la base económica es un producto que mueve mucho dinero, llegando incluso a ser la principal fuente de ingreso de algunos países. Es aquí en donde se abre un campo de trabajo importante para los ingenieros en alimentos dentro de la industria llevando acabo la transformación de trigo a harina ocupando diferentes funciones dentro de la planta como analistas de calidad, supervisores de producción, logística, etc. (Bogdan y Dendy, 2003; Calaveras, 2004).

En el presente trabajo se evalúan las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la harina de trigo tipo galletera a lo largo de un mes de producción en una harinera comercial. Las pruebas realizadas nos ayudarán a determinar las características propias de este tipo de harina y el cumplimiento de las especificaciones solicitadas por el cliente.

1. ANTECEDENTES

1.1 ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO

En la Figura 1 se muestra la estructura de un grano de trigo. La longitud del grano es en promedio, de 8 mm y el peso de 35 mg. El tamaño de los granos varía ampliamente según la variedad. Los granos de trigo son redondeados en la parte dorsal (el mismo lado del germen) y poseen un surco a lo largo de la parte ventral (lado opuesto del germen). El surco, que abarca aproximadamente toda la longitud del grano, penetra casi hasta el centro. Los dos carrillos pueden llegar a tocarse ocultando así la verdadera profundidad del surco. Este surco no solo representa una dificultad para que el harinero separe el salvado del endospermo con buen rendimiento, sino que también constituye un buen escondite para los microorganismos y el polvo (Hareland, 2003).

El grano de trigo puede ser dividido en tres partes morfológicamente diferentes: el endospermo, que representa la mayor parte del grano; la capa de salvado, que envuelve el grano; y el germen, que incluye el embrión y el escutelo. La composición química de las tres partes varía ampliamente como se puede observar en el cuadro 1 (Bogdan y Dendy, 2003).

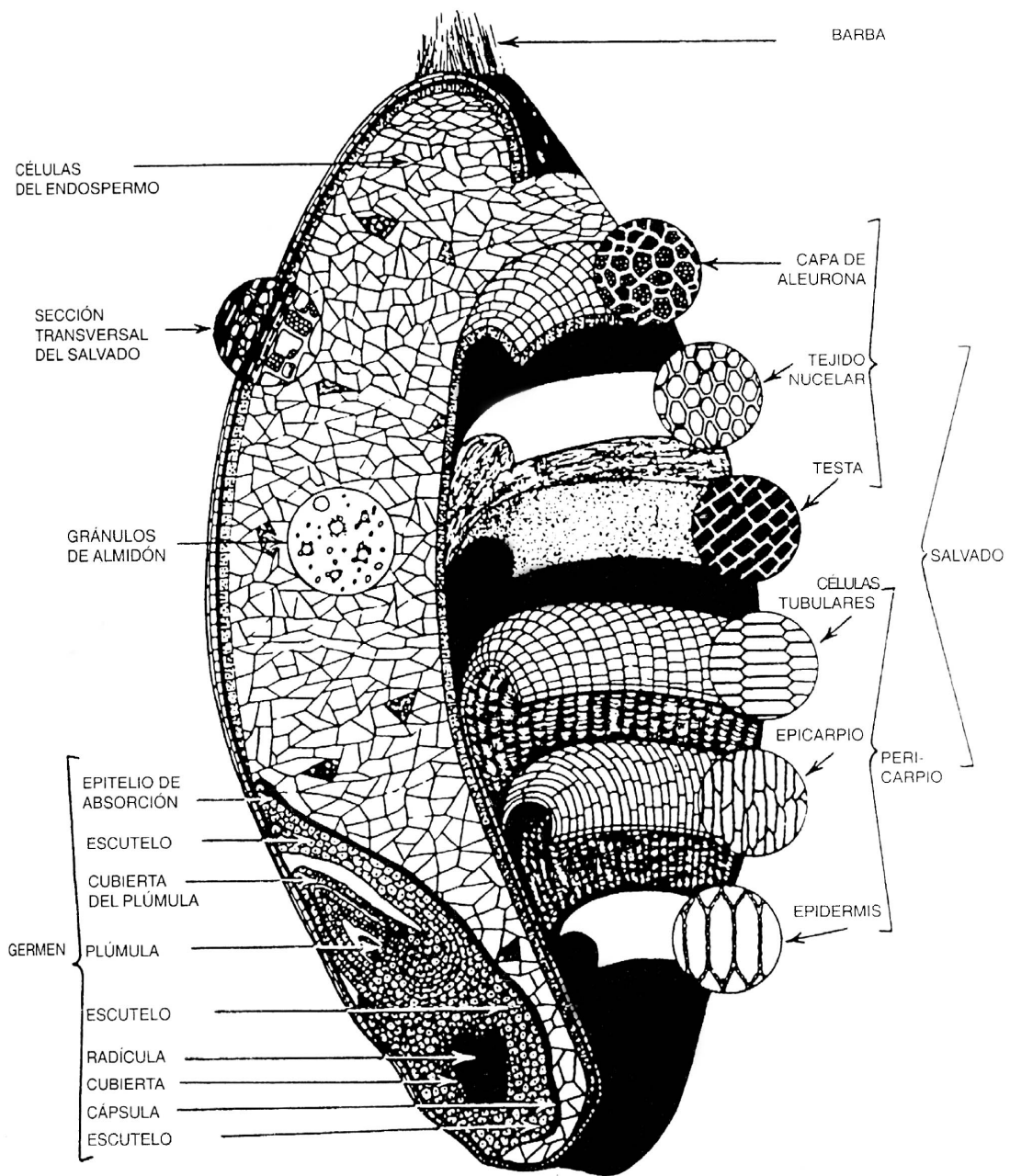


Figura 1. Corte longitudinal de un grano de trigo (Calaveras, 2004).

1.1.1 Salvado

El salvado está constituido de dos capas, la capa externa llamada pericarpio está formada de varias capas celulares las cuales son de la parte externa a la interna la epidermis, células intermedias, células tubulares y células cruzadas. La parte interna de la epidermis está formada por restos de células de pared delgada. A causa de la carencia de una estructura celular continua, constituye un plano natural para la división. Con la separación de estas capas, se facilita el traslado de agua al pericarpio, además de que las células intermedias y tubulares, no cubren por completo el grano, a diferencia de células cruzadas que están densamente dispuestas, con poco o nada de espacio intracelular, aproximadamente comprenden del 4 al 6 % del peso del trigo.

La capa interna llamada cutícula está compuesta por la testa o cubierta de la semilla, la capa nuclear o hialina y la aleurona. La testa rodea al grano por completo y está compuesta por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada y una cutícula interior fina. La capa nuclear, está unida estrechamente, tanto a la cubierta de la semilla como a la capa de aleurona. La capa de aleurona rodea el grano por completo, incluyendo el endospermo y el germen. Las células de la aleurona tienen paredes gruesas, su forma es esencialmente cúbica, carecen de almidón y presenta un alto contenido de proteína, sin embargo no contiene proteínas formadoras de gluten. Estas capas celulares son ricas en vitaminas del complejo B y en enzimas proteolíticas, representa de un 6 a 7 % del peso del grano de trigo (Contreras, 1997; Quaglia, 1991).

Desde el punto de vista botánico, es la capa exterior del endospermo. Sin embargo, se elimina durante la molienda, junto con la capa nuclear, la testa y el pericarpio, constituyendo lo que el molinero llama salvado. Es importante su remoción para evitar problemas de funcionalidad de la harina.

1.1.2 Germen o Embrión

El germen está colocado en la base de la semilla, en la parte opuesta a la barbilla, y consta principalmente de plúmula (que al germinar se desarrolla formando el tallo de la planta), radícula (que se desarrolla dando la raíz) y el escutelo.

El germen, comprende aproximadamente el 2.5 % del total del grano, se puede decir que es la parte viva del grano ya que es la que dará origen a una nueva planta. Presenta cantidades importantes de grasa, minerales, y proteínas. El germen no contiene almidón pero si grandes

cantidades de tiamina y vitaminas del complejo B, además de presentar un alto contenido de vitamina E. También posee enzimas que atacan al almidón y a las proteínas causando descomposición de las harinas durante su almacenamiento, y que van a provocar un descontrol durante la fermentación, por lo que es importante la eliminación del germen durante la molienda (Hareland, 2003; Matz, 1992).

1.1.3 Endospermo

Bajo el salvado y por éste protegido, se encuentra el endospermo, que a los efectos de la alimentación, es la parte más importante del grano. El endospermo está constituido por células poliédricas alargadas cuyas dimensiones son diferentes en relación a la posición que ocupan en el interior del grano, es decir son muy pequeñas en la periferia y muy grandes a medida que se van acercando al corazón del grano.

Las paredes celulares del endospermo, están formadas por pentosanas, otras hemicelulosas y β -glucanas. El espesor de las paredes celulares varía con la posición en el grano; son más gruesas cerca de la aleurona. El espesor de las paredes celulares resulta variable también en las diferentes variedades, y también según los tipos de trigo.

El contenido y paredes celulares de las células del endospermo constituyen la harina. Las células están repletas de granos de almidón incluidos en una matriz proteica de forma y dimensiones diversas. Los granos de almidón son muy pequeños en las células más externas y más grandes en aquellas más interiores, por lo cual entre célula y gránulo, se establece una relación constante y característica. La mayor parte de la proteína de los cuerpos proteicos, es gluten (Hareland, 2003; Quaglia, 1991).

Los trigos panificables se pueden clasificar como duros o blandos, por regla general los trigos duros se emplean en la elaboración de pan y los blandos para la elaboración de galletas y pasteles. La diferencia entre trigo duro y blando, puede ser el resultado de la selección, los trigos duros se han seleccionado por su alta capacidad de absorción de agua. La hemicelulosa que contiene absorbe gran cantidad de agua; seleccionamos así paredes celulares gruesas. En contraposición, no queremos que la harina de trigo blando absorba grandes cantidades de agua y por ello, seleccionamos baja absorción de agua y paredes celulares delgadas (Stanley y Linda, 2002).

Otra diferencia entre el trigo duro y el blando está en el punto de fractura al romper el grano. En el caso del trigo duro, la fractura se produce por la pared celular, en lugar de hacerlo a través del contenido de la célula. En los trigos blandos, la factura se produce a través del contenido celular. Esto pone en evidencia que el contenido celular está más fuertemente ligado entre sí en los trigos duros, con lo que el punto débil resulta estar en las paredes celulares. Por supuesto, al reducir el grano al tamaño de harina, el contenido celular del trigo duro también se fracciona.

El trigo duro muestra fuerte adherencia entre la proteína y el almidón. La proteína se adhiere o cubre muy bien la superficie del almidón. Esto es muy característico de los trigos duros. No solamente cubre muy bien la proteína al almidón, sino que el enlace entre ellos es muy fuerte. Se evidencia la fortaleza del enlace, por la tendencia de los trigos duros a romperse por la pared celular en lugar de hacerlo por el contenido celular y partiendo algunos granos de almidón, en lugar de separar la interfase almidón-proteína. En el trigo blando el almidón y la proteína tienen apariencia semejante, pero la proteína no cubre la superficie del almidón. No aparecen granos rotos de almidón pues la unión entre la proteína y el almidón se rompe con facilidad demostrando que no es fuerte. Si se aplica suficiente fuerza transversalmente a la célula, se rompen los granos de almidón y no los enlaces almidón-proteína. La fuerza del enlace proteína-almidón parece explicar la dureza del grano. En los trigos blandos, estos enlaces se rompen con facilidad y el grano se desmenuza con fuerza muy pequeña. En los trigos más duros, el enlace proteína almidón es también más fuerte.

No se conoce la naturaleza del enlace proteína-almidón. Sin embargo el hecho de que la proteína y el almidón se pueden separar fácilmente después de un tratamiento acuoso de la harina, parece indicar que el enlace se rompe o debilita con el agua. Se ha demostrado que el trigo duro contiene una proteína específica hidrosoluble en la interfase proteína-almidón, de la que carece el trigo blando (Contreras, 1997; Rivera y Romero, 1996).

1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO

En el siguiente cuadro se describe la composición general del grano de trigo (expresada en % sobre peso seco), desde luego estos porcentajes pueden variar, ya que influyen la variedad y las condiciones geográficas.

Cuadro 1. Composición química de las diferentes partes del grano de trigo (Bogdan y Dendy, 2003).

	Peso %	Almidón %	Proteína %	Lípidos %	Minerales %
Trigo Completo	100	60-70	10-14	1.5-2.5	1.6-2.0
Endospermo	82-85	70-85	8-13	1-1.6	0.3-0.8
Salvado	15	0	7-8	1-5	3-10
Germen	3	20	35-40	15	5-6

1.2.1 Almidón

El 72 % del peso del grano de trigo está constituido por carbohidratos, a su vez formados por el 60 al 70 % de almidón, el 6.5 % de pentosas, del 2 al 2.5% de celulosa y el 1.5% de azúcares reductores.

Como se puede observar el componente más importante desde el punto de vista tecnológico y en el cual el grano es mayoritariamente rico, es el almidón; su importancia tecnológica se debe a la capacidad de absorber agua. Los gránulos de almidón están formados por dos tipos de moléculas, la amilosa y la amilopectina. La amilosa está compuesta por cadenas que contienen de 200 a 300 moléculas de glucosa, en forma lineal. La amilopectina compuesta por más de mil moléculas de glucosa en forma de cadena que se ramifican y se vuelven a ramificar formando una estructura arborescente. El almidón contiene del 19 al 26 % de amilasa y del 74 al 81% de amilopectina.

La amilosa está constituida por compuestos de cadena lineal fácilmente atacables por la beta amilasa, dando lugar a azúcares de bajo peso molecular (reductores o dextrinas). La amilopectina está constituida por compuestos de estructura ramificada que no son degradados por la beta amilasa pero si por la alfa amilasa (Lutz, 2003; Primo, 1997).

El trigo contiene otros azúcares como glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y otros más complejos como la hemicelulosa y celulosa.

Además del almidón, los azúcares reductores tienen una notable importancia tecnológica, ya que son las sustancias que permiten la fermentación de la masa (harina-agua) con producción de gas.

1.2.2 Proteínas

El contenido proteico del grano se ha puesto de manifiesto mediante un simple fraccionamiento basado en la solubilidad en agua, la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas; de éstas, dos son solubles en una solución salina diluida: una albúmina, con un contenido porcentual respecto al total proteico del 12% y una globulina con el 4%; dos son insolubles en agua y solubles en solventes polares, una prolamina, la gliadina con el 44% y una glutelina, la glutenina con el 40%.

Las primeras dos tienen poca importancia y se presentan sólo en pequeñas cantidades, en cambio la gliadina y la glutenina son proteínas de gran importancia porque en contacto con el agua se unen con enlaces intermoleculares, formando el gluten, que representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la masa obtenida a partir de la harina y del agua (Othón y Serna, 1996; Primo, 1997).

1.2.3 Enzimas

Las enzimas son sustancias de naturaleza proteica, que se definen como catalizadores biológicos ya que participan en el desarrollo de reacciones de naturaleza bioquímica; por eso estando presentes en pequeña cantidad en el grano de trigo, tienen una importancia fundamental en las características de los productos derivados del trigo.

La enzima más importante del trigo es la diastasa que está presente en el embrión del grano, la cual degrada al almidón para convertirlo en maltosa y otros azúcares.

La diastasa está compuesta de alfa y beta amilasa, mientras la alfa amilasa produce tanto dextrina como maltosa, la beta amilasa transforma el almidón a maltosa y sólo puede actuar sobre el grano que ha sido lesionado durante la molienda (Quaglia, 1991).

1.2.4 Minerales

Los principales minerales presentes en el trigo son: el fósforo, potasio, calcio magnesio, hierro y azufre. La mayor parte de éstos se encuentra en el salvado y en la capa aleurónica. Como consecuencia de su distribución en el grano, una harina tendrá un contenido en cenizas más elevado cuanto mayor sean las partículas de salvado presentes en ella, que estará relacionada directamente con el rendimiento de harina obtenida durante la molienda.

1.2.5 Vitaminas

En el trigo se encuentran principalmente vitaminas tales como la tiamina (B₁), la riboflavina (B₂), la niacina, el ácido pantoténico, el ácido fólico y la vitamina E.

Su localización en el grano no es homogénea ya que casi toda se localizan en la parte externa, por lo que se encuentra en gran parte en el producto de desecho de la molienda. La harina blanca es deficiente en estos compuestos, porque entre menor sea el rendimiento de harina obtenida durante la molienda, el porcentaje de vitaminas disminuye. Es por eso la importancia de consumir harinas integrales, que contienen una buena cantidad de salvado y por consecuencia de vitaminas.

1.2.6 Lípidos

Los lípidos se encuentran sólo en pequeños porcentajes en la composición química del trigo y están localizados principalmente en el germen. Los componentes lipídicos más importantes son los glicéridos, fosfolípidos y los esteroides (sitosterol y campisterol). En la composición en ácidos grasos de los glicéridos y de los fosfolípidos sobresalen los ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico y linoleico.

Toda la harina posee una pequeña cantidad de grasa o aceite propios del trigo, de la cual la mayor parte se encuentra en el germen. La grasa del trigo sufre alteraciones por la oxidación natural del mismo, por ello es tan importante eliminar dentro de lo posible la grasa de las harinas (Quaglia, 1991; Othón y Serna, 1996).

1.3 HARINA DE TRIGO

1.3.1 Composición química de la harina de trigo

La extracción es un término de uso extenso en la industria molinera para expresar el rendimiento en porcentaje de harina que se obtiene a partir de trigo sucio, limpio o acondicionado. La extracción se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ de extracción} = \left(\frac{\text{kg de harina}}{\text{kg de trigo}} \right) \times 100$$

En el siguiente cuadro se muestra la composición química de la harina de trigo a dos diferentes % de extracciones, observando que a mayor extracción mayor contenido de cenizas y proteínas. Los valores de extracción por lo general se encuentran entre un 74 y 76 %, para la harina galletera.

Cuadro 2. Composición química de la harina de trigo (Calaveras, 2004).

	Harina 100% de Extracción	Harina 75% de Extracción
Proteínas	12-13.5 %	8-11
Grasas	2.2	1-2
Almidón	67	71
Cenizas	1.5	0.55-0.65
Vitaminas	0.12	0.03
Humedad	13-15	13-15

1.3.1.1 Humedad

La humedad que tiene la harina es importante por una serie de razones. El objetivo del molinero es conseguir harina con 14 % de humedad, obtendrá buena harina con buen grado de extracción si queda dentro de los márgenes 13-15%. Es obvio que al fabricante le gustaría vender más agua, por lo que puede tender hacia el 15%, pero se presentan problemas durante la molienda; por ejemplo, la harina de trigo galletera no correrá bien por el molino y pueden producirse taponamientos. Además, la harina de más de 14.5% no se conservará bien más de una semana o dos, por lo que se desarrollaran hongos.

El contenido óptimo de humedad de la harina para su almacenamiento, debe interpretarse en relación con la duración prevista y la humedad relativa del ambiente, recordando que la harina ganará o cederá humedad al ambiente.

1.3.1.2 Almidón

La cantidad de almidón presente en la harina de trigo tipo galletera es del 71 % a una extracción del 75 % y por lo tanto es el principal componente de la harina. Dada su higroscopicidad existe una competencia directa entre las proteínas y el almidón al añadir agua en el amasado.

Una de sus características es que no es soluble en agua fría, pero su propiedad es que si se añade agua caliente éste se hincha y puede llegar a romperse si el agua se encuentra en exceso. Esta propiedad es llamada formación de gel viscoso o gelatinización, la cual se presenta a partir de 58º ó 70º C.

El efecto del almidón en la panificación es importantísimo debido a su capacidad de absorción, su viscosidad y tamaño de los gránulos. La capacidad de absorción del almidón depende del tipo de trigo con el que fue elaborada la harina. Los trigos blandos producen un tipo de harina con menor cantidad de almidón dañado en comparación con un trigo duro y como consecuencia presentan menor poder de absorción.

La proporción de azúcares y de sustancias intermedias entre el almidón y el azúcar que contiene la harina es pequeña; sin embargo su importancia es extraordinaria en el proceso de panificación, entre los que podemos citar a la maltosa, glucosa y la maltosa (Bogdan y Dendy, 2003; Calaveras, 2004; Duncan y Manley, 1989).

1.3.1.3 Proteínas

Este factor es el más interesante para la fabricación de galletas, la harina de trigo contiene de 8 a 13 % de proteínas dependiendo la variedad de trigo utilizada para su elaboración, el 85 % de las mismas poseen la característica de combinarse con el agua dando lugar al denominado gluten, que confiere a la masa la capacidad de retener el gas.

El gluten está constituido por dos grupos principales de proteínas:

1.- Gluteninas, de alto peso molecular, que son glutelinas, o sea, proteínas insolubles en soluciones salinas y neutras, pero son solubles o dispersables en soluciones diluidas de ácidos o bases.

2.- Gliadinas, proteínas de bajo peso molecular, que son prolaminas, o sea, proteínas solubles en etanol, se encuentran en una proporción superior al 4%.

Las gluteninas cuando se hidratan, forman una masa muy tenaz y elástica, mientras que las gliadinas dan lugar a una masa más fluida, viscosa y poco elástica. El gluten en conjunto, muestra propiedades de cohesión, elasticidad y viscosidad intermedias.

La glutenina comunica solidez al gluten y la ligazón se debe a la gliadina que es una sustancia blanda y pegajosa. La gliadina fija la glutenina, impidiendo su arrastre en procesos de lavado de gluten

Un balance adecuado de elementos elásticos y viscosos es esencial en la masa. El gluten puede ser fuerte y difícil de estirar o débil y fácil de estirar. El primero es el preferido para pan, el último para las galletas.

Las restantes proteínas de la harina, el 15 % de las totales (dependiendo su grado de extracción) son principalmente, albúminas y globulinas, solubles en agua o en soluciones salinas neutras.

1.3.1.4 Minerales

Las cenizas en la harina están principalmente formadas por potasio, sodio, calcio y magnesio procedentes básicamente de las capas externas del grano de trigo. En la panificación normal existe un margen amplio pero siempre se considera que cenizas superiores a 0.7% no favorece el desarrollo de la masa fermentada de forma natural, ya que estos minerales se incrustan en las cadenas de proteínas formando cristalizaciones por las que puede existir pérdida de gas y su retención es menor.

La cantidad de cenizas que se encuentran naturalmente en el endospermo, varía con los trigos. El contenido de cenizas de una harina de trigo galletera es menor que el contenido de cenizas de una harina de trigo panadero obtenidas por un mismo sistema de extracción (Rivera y Romero, 1996).

1.3.1.5 Enzimas

La harina contiene diversas enzimas activas algunas de las cuales actúan sobre el almidón y son las encargadas entre otros componentes de la transformación de la harina a pan.

Están en pequeñas cantidades, pero su efecto de transformación química en el caso del almidón es muy grande. Por lo tanto, hemos de decir que la fermentación es el resultado de la acción enzimática. Las enzimas más importantes son las diastásicas (β -amilasa y α -amilasa) y su misión es degradar el almidón hasta llegar a azúcar. Este tipo de enzimas se encuentran siempre en cualquier tipo de harina en mayor o menor proporción.

La harina contiene además otras enzimas como la maltasa, la invertasa y también enzimas proteolíticas, de éstas últimas la más conocida es la proteasa o proteinasa. El empleo más habitual de las proteasas es en la producción de galletas, en cuyo caso se prefieren harinas más débiles pero con un cierto grado de funcionalidad proteica. Ayudan a reducir la fuerza de la masa y así mejorar el manejo y textura del producto (Bogdan y Dendy, 2003; Calaveras, 2004).

1.3.1.6 Granulometría

La granulometría o tamaño de partícula, es considerado un componente de calidad de la harina, sólo si se reconoce como un grado de fineza en particular. El método utilizado dentro de la planta para determinar la granulometría es el tamizado.

La harina de trigo para panificación no debe reportar retención en un tamíz de 0.177 mm de abertura de malla; equivalente a una malla 80 de la serie Tyler y puede aceptarse un máximo de 10 % de retención en un tamíz de 0.125 mm de abertura de malla; equivalente a una malla 115 de la serie Tyler.

En la harina de trigo para galletas generalmente se utilizan mezclas de tamices variables de acuerdo al tipo de galletas que se fabrique. En esta planta se utilizan mallas de 0.149 y 0.124 mm de abertura de malla; equivalentes a las mallas 100 y 115 de la serie Tyler, respectivamente.

El tamaño de partículas en la harina no es homogéneo, las partículas que se encuentran en un intervalo de 0-20 μm es proteína libre mezclada con pequeñas cantidades de almidón, material de pared celular y en algunos casos almidón severamente dañado. Siguen partículas entre 20-30 μm son partículas predominantemente de almidón con pequeñas proteínas adheridas. Partículas por encima de 35 μm son una mezcla de almidón con proteína adherida.

El tamaño de partícula está relacionado con la absorción de agua, tamaños de partícula finos aceleran la velocidad de hidratación de la harina (Rivera y Romero, 1996).

1.3.2 Valor nutritivo de la harina de trigo y sus subproductos

1.3.2.1 Harina

La harina de trigo aporta a la dieta hidratos de carbono (principalmente almidón), proteínas, grasa, vitaminas y sales minerales. Se le considera un alimento calórico, rico en hidratos de carbono, pero su contribución en proteínas y vitaminas (particularmente del grupo B) y en sales minerales, es también importante. Así la harina y el pan contribuyen a la dieta de muchos países con una importante proporción de proteínas y las del trigo son proteínas baratas.

Casi la totalidad de las harinas de trigo mexicanas están fortificadas con vitaminas. El gobierno federal y los industriales molineros de trigo mexicanos, pretenden incrementar el combate contra la desnutrición y la anemia que son los padecimientos más graves del país, además de combatir otras enfermedades específicas como la anencefalia, columna bifida que afecta a los bebés durante el proceso de gestación o embarazo, o incluso pretende atender problemas de crecimiento. Con la fortificación de las harinas, fundamentalmente las mujeres y los niños, mejorarán su alimentación (Primo, 1997; http://www.harina.org/trigo_productos.htm).

En el siguiente cuadro se muestran las vitaminas adicionadas a la harina y su función dentro del organismo.

Cuadro 3. Vitaminas y minerales adicionados para la fortificación de la harina de trigo y su función dentro del organismo (http://www.harina.org/trigo_productos.htm).

ADICIONAN	Función en el organismo
Vitamina B1 (tiamina)	Correcto funcionamiento del sistema nervioso y ayuda en la liberación de la energía contenida en los carbohidratos
Vitamina B2 (riboflavina)	Formación de glóbulos rojos y material genético
Vitamina B12 Niacina	Correcto funcionamiento del sistema nervioso y digestivo
Hierro	Disminución o eliminación de problemas de anemia ferropriva
Zinc	Mejor desarrollo o crecimiento en niños. Correcto metabolismo y digestión. Ayuda a sanar heridas y a reparar tejidos
Ácido fólico o folacina	Disminuir de problemas de anencefalia o del tubo neural (columna bifida) en el período de gestación. Es fundamental su ingestión en períodos de embarazo

Por lo anterior, la Industria harinera de México, recomienda mejorar la dieta alimenticia consumiendo pan, galletas, sopas de pastas y tortillas, hechas con harina de trigo.

1.3.2.2 Subproductos

1.3.2.2.1 Salvado

Es la cáscara externa del grano de trigo, se expende molido fino o más grueso. Es una excelente fuente de fibras, proteínas, vitaminas y minerales. Se utiliza para mezclar con jugo de frutas, para rebozar alimentos que se fríen y en todo tipo de masas.

La cascarita exterior del grano de trigo es uno de los alimentos más útiles y más desperdiciado. El salvado de trigo contiene hierro y vitaminas, pero su mayor virtud reside en que, al ser rico en celulosa, es un laxante natural. En proporciones muy pequeñas puede ser agregado a la dieta de personas que tienen desordenes intestinales, porque barre desechos y, lentamente, regula la función del intestino. Aún en caso de colon irritable, la desintoxicación paulatina del tracto intestinal mejora la salud de todo el organismo, así como la piel y el cabello.

1.3.2.2.2 Salvadillo, Cema o Acemite

Estos tres productos surgen de la separación de la molienda del trigo. Están integrados por la cáscara del grano, mezclado con una pequeña porción de harina. Cada uno de ellos puede ser identificado por el grado de finura y contenido de harina. Estos productos son ricos en vitaminas, minerales y fibra, por ello se recomiendan en la dieta alimenticia.

1.3.2.2.3 Germen de trigo

El germen es la parte del grano que dará origen a una nueva planta. Es rico en proteínas, vitaminas B1, B2, B6, vitamina E y ácido fólico (importante para evitar malformaciones). Es nutritivo, vigorizante y antianémico. Se enrancia fácilmente, por lo que es necesario guardarlo en frascos oscuros bien tapados. Aporta el 100% de los requerimientos de magnesio, zinc, cobre, molibdeno y una parte importante de hierro y potasio (Primo, 1997; http://www.harina.org/trigo_productos.htm).

1.3.3 Descripción de proceso industrial

El objetivo del proceso de molienda es separar la capa de salvado del endospermo y seguidamente, transformar el endospermo en harina. Existen diferentes tipos de molinos diseñados cada uno de ellos para la obtención de diferentes productos ya predeterminadas, estas diferencias van a depender del producto a obtener, sus especificaciones, capacidad y el grado de extracción.

En esta planta se tiene una capacidad de 16 toneladas de trigo/h, para la obtención de 12 a 12.5 toneladas de harina/h. Dependiendo del grado de extracción. El molino consta de bancos de trituración, de compresión, purificadores, cernidos e impactores principalmente. En esta sección se propone explicar brevemente los principios básicos del proceso de molienda, así como de la maquinaria y su funcionamiento.

En la Figura 5 se presenta el proceso de elaboración para la obtención de harina de trigo, el flujo y la distribución de los diferentes productos en el proceso de molienda, además se muestran las seis etapas o fases principales de la molienda que son:

1. Limpieza del trigo
2. Acondicionamiento
3. Trituración
4. Cernido
5. Purificación
6. Compresión

1.3.3.1 Recepción y almacenamiento del trigo

El trigo se recibe a granel por medio de ferrocarriles o camiones en la planta y es almacenado en silos. Antes de ser aceptado un lote de trigo, ha de ser sometido a un control de calidad. El análisis preliminar al que son sometidas las muestras, deben realizarse rápidamente mientras el camión está en la planta, esperando a que se descargue el trigo. El análisis incluye la determinación de peso hectolítrico (HI), contenido de impurezas y contenido de humedad.

Los resultados se evalúan en ese momento y se decide si el trigo cumple con los requerimientos de las especificaciones para su depósito y, en caso afirmativo, en que silo debe hacerse.

El objetivo de la molienda es obtener un producto consistente a partir de una materia prima inconsistente. Esto empieza en los silos de almacenamiento en los que el trigo se separa en distintas clases. Estas separaciones dependen del tipo de harina que se desea obtener; obviamente las categorías para la elaboración de pan y galletas se almacenan por separado (Callejo y Maria, 2002; Killr y Turnbull, 2004).

1.3.3.2 Limpieza del trigo

Los objetivos de la limpieza del trigo son:

- Asegurar que sólo los granos deseados lleguen al primer cilindro de trituración
- Mejorar la higiene de los productos finales
- Proteger el equipo y reducir el desgaste de la maquinaria
- Prevenir la obstrucción de la salida de la maquinaria, de los conductores por gravedad y de los elementos transportadores

Por lo tanto, la limpia tiene como tarea eliminar las impurezas y limpiar la superficie del trigo.

El trigo sale de los silos de almacenamiento y pasa a través de la instalación de limpia. El proceso que se lleva a cabo en la planta, es un proceso de limpieza en seco que está diseñado para eliminar un amplio intervalo de impurezas que habitualmente se encuentran en el trigo. Con ello, se mejora:

- La calidad de las harinas
- El rendimiento y la conservación de la maquinaria
- La preparación de un producto uniforme para el acondicionamiento y la molienda

Aunque existen grandes variaciones en cuanto a sistemas y números de pasos en diferentes plantas, en general el equipo empleado para lograr la limpieza del trigo se basa en cinco principios básicos (Stanley y Linda, 2002).

- El tamaño
- El peso específico
- La forma
- El magnetismo

- La resistencia al aire

TAMAÑO. Este es el tipo más básico de separación en el cual el equipo generalmente emplea un sistema de doble cubierta, siendo la cubierta superior un tamiz grueso que elimina las impurezas de mayor tamaño, como cuerda, paja, bolsas y papel, y permite que el trigo y las impurezas más finas caigan a la segunda cubierta. Esta sería un tamiz más fino que permite que las impurezas pequeñas, como arena y polvo, pasen a través de éste y que el trigo quede retenido. Las cribas tienen movimiento alternativo, es decir, se mueven adelante y atrás.

PESO ESPECÍFICO. Algunos equipos para limpieza se basan en la diferente densidad de los materiales para separar los contaminantes del trigo. El trigo pasará a través de un tamiz inclinado y oscilante, donde es fluidizado mediante el flujo controlado de aire hacia arriba y a través del tamiz. Las partículas más densas por ejemplo las piedras, caerán a través de la criba a una cubierta inferior donde, como consecuencia de las oscilaciones, se desplazan hacia arriba por esa cubierta y pasan a un contenedor.

FORMA. Los equipos que emplean este principio se denominan habitualmente separadores de cilindros o de discos. Funcionan de una de las dos siguientes alternativas posibles. Uno de estos separadores tiene discos con pequeñas muescas cortadas en el que tiene el tamaño justo para acomodar en ellas las semillas pequeñas y redondas. Al girar el disco en el montón de trigo, saca las semillas y las transfiere a una cinta transportadora distinta. El segundo tipo de separador tiene el tamaño justo para que el trigo caiga en ellas, siendo así levantado y dejando otro tipo de granos y semillas.

MAGNETISMO. Los imanes de lámina o plancha están situados a lo largo de la instalación de limpia para recoger cualquier contaminación de material ferroso. En esta etapa inicial del proceso, se emplean principalmente para proteger el equipo del molino, aunque no se debe olvidar su papel en cuanto a la seguridad del producto.

RESISTENCIA AL AIRE (aspiración). Las impurezas ligeras, como el polvo y la suciedad menuda como la paja, se prestan a ser separadas mediante un flujo controlado de aire. El trigo se esparce formando una amplia cortina para exponer la máxima área superficial pasando el aire a través del trigo. Se emplean aspiradores a lo largo de la instalación de la limpia, ya que el mismo manejo del grano genera más polvo que es necesario controlar y eliminar (Bogdan y Dendy, 2003; Hareland, 2003).

1.3.3.3 Acondicionamiento.

La humedad y su distribución en el grano tienen una importancia extrema en los resultados de la molienda. Las humedades y tiempos difieren para los diferentes tipos de trigo, considerándose como valores estándares de 15 a 15.5 % de humedad durante 5 a 15 horas de reposo para los trigos suaves o galleteros y de 16.5 % de humedad por 16 a 24 horas de reposo para los trigos duros o panaderos. Por ello es necesario normalizar la humedad a un nivel determinado, por humidificación o secado y buscar las condiciones apropiadas para el más homogéneo reparto del agua en el grano. Existen tres métodos de acondicionamiento: frío, templado y caliente. El acondicionamiento frío consiste en añadir agua al grano seco y dejarlo reposar durante un periodo de tiempo antes de molerlo, al menos 5 horas. El acondicionamiento templado implica la utilización de calor hasta 46 °C en unión con el agua. Se recomienda que el trigo así acondicionado, quede en reposo durante algunas horas antes de molerlo. El acondicionamiento en caliente, es una modificación del acondicionamiento templado, de modo que la temperatura se eleva a 60 °C o más, pero se mantiene así un período de reposo más corto. La técnica utilizada en la planta para alcanzar la humedad deseada del trigo es el acondicionamiento frío.

El grano limpio se acondiciona antes de pasar a la molienda. Tanto la trituración como el cernido, principales operaciones en la elaboración de harina, son afectados por el contenido de humedad del material a tratar. En general, a medida que aumenta el contenido de humedad del trigo:

- a) el salvado se hace más correoso y menos quebradizo, de forma que se reduce la contaminación de la harina con partículas de salvado y la harina queda más blanca y produce menor cantidad de cenizas.
- b) el endospermo se pone más suave, para lograr una mejor y más efectiva reducción en su tamaño, con lo que se reduce la energía necesaria para triturarlo.
- c) La cohesión entre salvado y endospermo se hace más fuerte, de forma que el endospermo se despegue con menos facilidad del salvado.
- d) A medida que aumenta la humedad en el producto molido, la separación de partículas en el cernido se hace más difícil

Hay por tanto una humedad óptima para que el grano de los mejores resultados al ser molido: suficientemente alto para que el endospermo se suavice y el salvado quede adecuadamente

correoso, pero no tan alta como para que estorbe la limpieza satisfactoria del salvado y el tamizado del producto. Como se mencionó anteriormente los requerimientos de acondicionamiento dependen del trigo por procesar y las especificaciones del producto terminado.

Dentro de la planta para la elaboración de harina de trigo galletera, el trigo es acondicionado de un 15 a 15.5 % de humedad. El grano se acondiciona mediante la adición de agua con aspersores en gusanos o tornillos transportadores. Posteriormente, el grano humedecido se transporta a los silos de acondicionamiento donde reposa de 5 a 15 h. Durante este tiempo, el grano tendera a absorber el agua concentrada en la parte exterior. La humedad del trigo en reposo se determina cada hora con un determinador de humedad Steinlite SB 900, el cual determina el contenido de humedad del grano de trigo en corto tiempo mediante conductividad eléctrica para conocer si está dentro del intervalo de aceptación y llevar acabo la molienda (Killr y Turnbull, 2004; Othón y Serna, 1996; Stanley y Linda, 2002).

1.3.3.4 Molienda

El objetivo de la molienda para la obtención de harina blanca es:

1.- Separar lo más completamente posible el endospermo (que es lo necesario para la harina) del salvado y del germen, que son rechazados de tal forma que la harina quede libre de estos productos.

2.- Reducir la mayor cantidad de endospermo a finura de harina, obteniendo una retención total del 18 al 23 % de harina en las mallas 100 y 115 de la serie Tayler (Kent, 1987).

1.3.3.4.1 Trituración

Los rodillos que componen el sistema de trituración o fragmentación son los primeros de la operación de molienda, en el molino se cuenta con 8 bancos de trituración cada banco cuenta con 2 pares de cilindros estriados (llamados trituraciones). Estos cilindros están diseñados para romper, abrir el grano y extraer todo el endospermo que sea posible para la producción de harina.

La molturación del grano en los cilindros estriados se realiza por dislaceración, que consiste en el esfuerzo combinado de compresión y cizalladura, provocando la rotura del grano por abrasión. En esta etapa el endospermo estará en forma de partículas gruesas conocidas como sémola y se

debe separar de los granos individuales de tal forma que el salvado quede lo más integro posible. Esto se logra combinando las estrías de la superficie de los cilindros, que están labradas haciendo una espiral suave, y la distinta velocidad de giro de los dos cilindros, con una relación 2:1; esto hace que se aplique sobre el trigo una acción similar al de unas tijeras.

Cada una de las trituraciones, trabaja con un producto diferente de grosor, superficie y cantidad, por lo que la separación, estriado y longitud necesaria de los cilindros ha de adaptarse para cada trituración. El diseño de las estrías, se suaviza a medida que los productos intermedios pasan del primer par de cilindros de ruptura al cuarto. Después de cada conjunto de rodillos, los productos pasan a un cernido que los separa en varias series de subfracciones antes de pasar a la siguiente parte del proceso.

Se pueden separar tres clases de material:

1. Fragmentos groseros.- Van a la siguiente trituración, hasta que sólo quede salvado.
2. Harina.- Partículas finas, van a un tamiz más fino.
3. Partículas de granulometría media, al purificador

El molino de cilindros es la principal máquina de molienda en molinos industriales. Son dos cilindros metálicos con ejes paralelos. La superficie puede ser lisa o estriada y estos giran en sentidos opuestos para favorecer la introducción del producto entre ellos y con velocidad diferente (Bogdan y Dendy, 2003; Othón y Serna, 1996).

La separación entre los cilindros es mínima, para producir la compresión de la materia, regulándose según la fase de la molienda.

Un dosificador reparte el producto uniformemente a lo largo de todo el cilindro. Un dispositivo de rascado elimina las partículas adheridas, manteniendo limpias la superficie de los cilindros. En la siguiente figura se pueden observar las principales partes de un molino de cilindros, utilizado en la planta.

- 1.- Ajuste para los rodillos.
- 2.- Rodillos de alimentación corrugados.
- 3.- Rodillos de alimentación lisos.
- 4.- Limpiadores de rodillos (cepillos).

- 5.- Limpiadores de rodillos (cuchillas).
- 6.- Rodillos Corrugados.
- 7.- Rodillos Lisos.

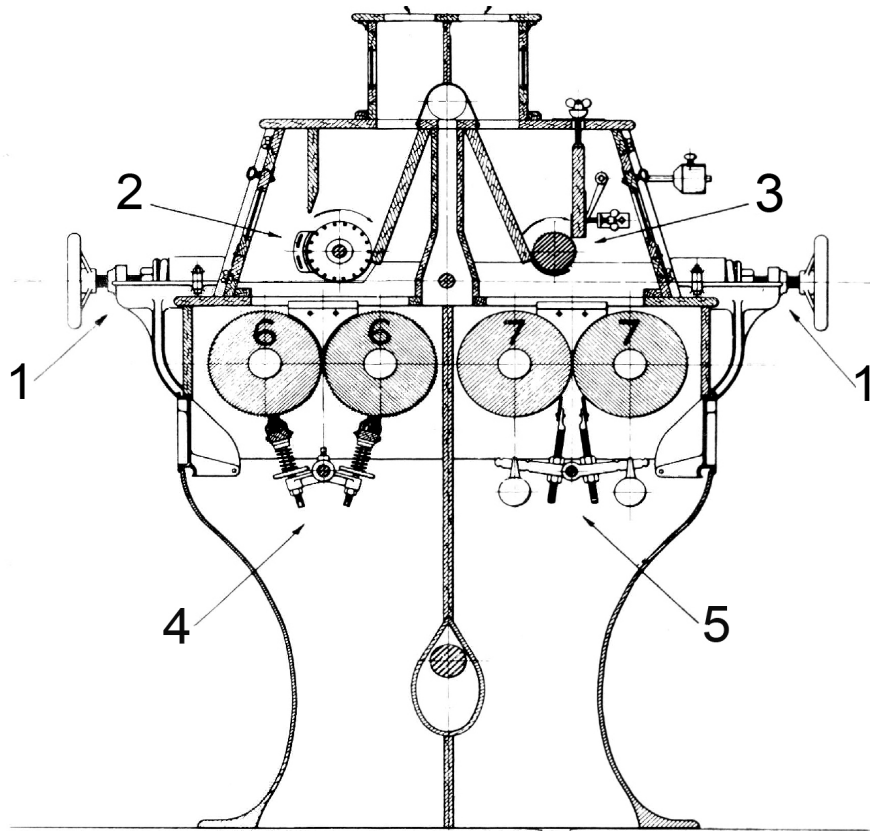


Figura 2.- Banco de molienda (Othón y Serna, 1996).

Existen también cilindros de raspado que se encuentran en algunos molinos, en la planta se cuentan con 3 bancos de molienda con este tipo de cilindros que tienen acanaladuras más finas que el de los sistemas de trituración. Están diseñados para eliminar los últimos fragmentos de endospermo que quedan adheridos a las partículas más pequeñas de salvado. Las fracciones se transfieren normalmente desde los purificadores, en los que se han separados los materiales enriquecidos con salvado, al sistema de raspado. En el molino se han instalado separadoras de salvado especiales tras los cilindros de fragmentación para desprender los últimos restos de harina que permanecen en estas fracciones de salvado. Este sistema de raspado contribuye a aumentar el grado de extracción, pero las harinas que se obtienen son de baja calidad y tienen una funcionalidad escasa para la panificación (Bogdan y Dendy, 2003; Othón y Serna, 1996; Callejo y Maria, 2002).

1.3.3.4.2 Cernido

Descascarillado, clasificación y separación de finos, éstos son los términos empleados para describir la separación de las fracciones obtenidas después de cada cilindro de fragmentación, que se lleva a cabo dentro de cernedores oscilatorios con múltiples secciones. El descascarillado es la separación de los gruesos de mayor tamaño, generalmente fragmentos de salvado con algo de endospermo unido, los cuales pueden pasar el siguiente cilindro del sistema. Los finos del tamiz de descascarillado se pueden dividir en sémola fina y gruesa mediante un proceso conocido como clasificación. Estas fracciones pasarán directamente al sistema de purificación, mientras que la harina producida se retira y transfiere al sistema colector de harina. El salvado y la mayor parte de los residuos de la molienda se eliminarán del sistema en los cernedores de los cilindros de fragmentación finales.

El tejido para cribar o cernir se confecciona con alambre o nylon. El proceso de la criba se realiza en los cernedores. El cernedor es una máquina formada por una serie de tamices horizontales, dispuestos el uno sobre el otro y el conjunto gira en el plano horizontal. La mezcla a tratar se introduce por la parte superior y pasa de criba en criba por gravedad como se puede observar en la Figura 3. Un cernido puede contener cribas de 4 ó 5 tamaños de abertura diferentes, rindiendo por tanto 5 ó 6 fracciones con tamaños de partículas diferentes. Para que la operación de la criba sea satisfactoria, es preciso que haya un cierto espesor del producto a tratar sobre la superficie filtrante. Debido al movimiento de la criba, el material que contiene se estratifica; las partículas más finas descienden hasta quedar en contacto con el tejido y las mayores ascienden a la superficie. Así, las partículas que sobrenadan, de tamaños grandes y medianos, tienden a mantener a las más finas en contacto con la capa filtrante y ayudan a que pasen por la abertura del tamiz. El molino cuenta con siete cernidos (Hoseney, 1991; Othón y Serna, 1996; Stanley y Linda, 2002).

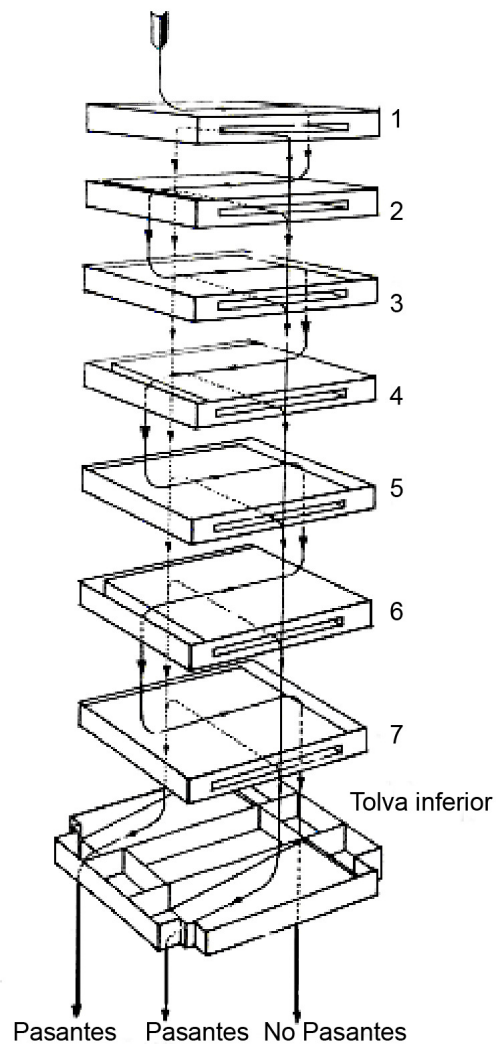


Figura 3.- Tamices de un cernido, mostrando el flujo del producto (Hoseney, 1991).

1.3.3.4.3 Purificación

El objetivo de los purificadores es separar y purificar las fracciones de semolina que se obtienen en los cernedores oscilatorios asociados a los cilindros de fragmentación, en tres fracciones:

1. Endospermo puro: pasa a compresión
2. Endospermo con salvado adherido, pasa a trituración
3. Partículas de salvado

Además, el purificador da tamaños de partículas que pueden ser eficazmente molidas en la compresión.

Los purificadores funcionan como máquinas de precisión. La alimentación de los purificadores tiene que estar bien dosificada y divididos según tamaños: sémola gruesa y sémola fina.

Funcionamiento del purificador: Es una máquina doble con dos cajas paralelas. Cada caja tiene 2 ó 3 pisos de tamices superpuestos y con cierta inclinación. El producto se alimenta uniformemente, se distribuye sobre la totalidad del ancho del tamiz, formando una capa homogénea (Bogdan y Dendy, 2003; Callejo y Maria, 2002; Hosenev, 1991).

Los tamices están suspendidos sobre cojinetes y animados por un movimiento de vaivén transmitido por un eje excéntrico. Las sémolas y semolinas están continuamente removidas y desplazándose hacia la salida. Una corriente de aire regulable atraviesa los tamices y la capa del producto en sentido ascendente, el efecto combinado del movimiento y la aspiración suspende en el aire el producto, facilitando una estratificación de la capa según densidades y tamaños, dentro del molino se cuentan con 3 purificadores de este tipo (ver figura 4).

- Levanta partículas ligeras de salvado y polvo que en la cámara de expansión se separan cayéndose las más pesadas y aspirando el polvo hasta un filtro (las partes de cáscara llegan a las colas de los tamices)
- Mantiene en flotación las partículas medianas hasta que salen por la cola.
- Clasifican por tamaño el producto cernido por los tamices, cayendo en una rosca recolectora.

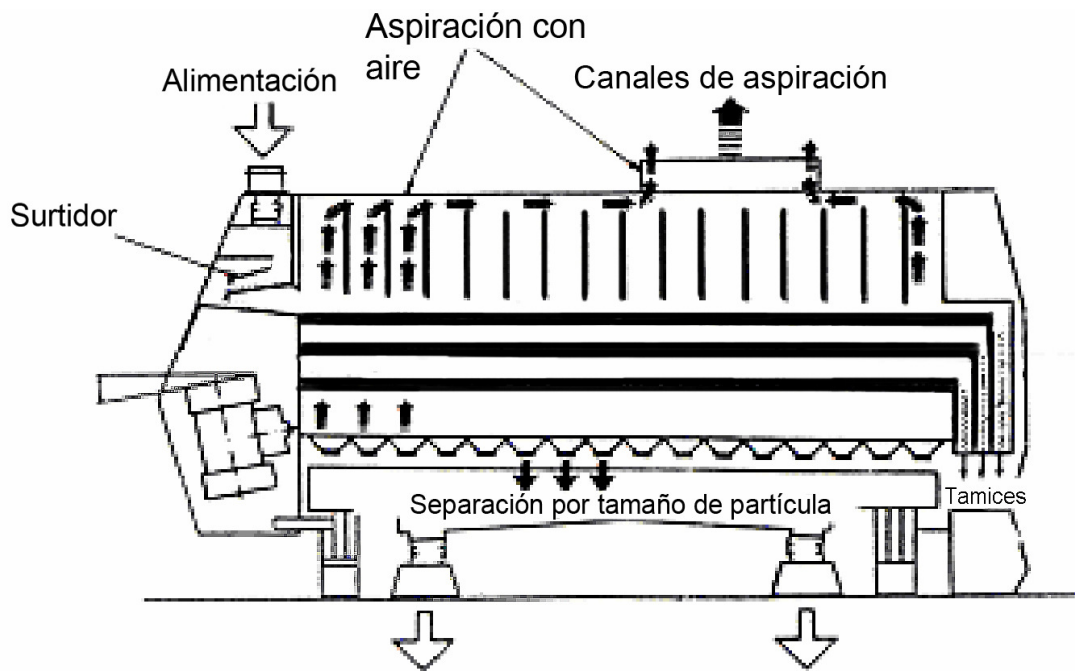


Figura 4.- Purificador (Othón y Serna, 1996).

1.3.3.4.4 Sistema de reducción o compresión

El objetivo es reducir sémolas y semolinas ya limpias y debidamente clasificadas por tamaños a harinas. Esta es la etapa final de la molienda en el proceso de producción de harina. Las fracciones de semolina son convertidas en harina mediante una serie de 12 bancos de molienda con 2 pares de rodillos cada uno. Estos cilindros de compresión se diferencian de los de fragmentación en que su superficie es lisa, en vez de acanalada, y en que los gradientes de velocidad con que se mueven los cilindros de cada par es menor.

La primera sección de los cilindros de compresión generalmente recibe las fracciones de semolina más limpias, procedentes en su mayoría del primer y segundo cernedor oscilatorio asociados a los cilindros de fragmentación y producirán por lo tanto, harina más blanca con la mejor funcionalidad para la panificación. La sección intermedia procesa las colas procedentes de la primera sección y también las fracciones de peor calidad de los últimos purificadores del sistema de trituración: Los dos o tres rodillos últimos procesan las fracciones que no pasan por las dos secciones anteriores y producirán la harina de más baja calidad.

El montaje y el funcionamiento del sistema de reducción en un molino de harina tiene un efecto significativo en uno de los parámetros más importantes para la panificación: la absorción de agua. Los principales factores en la especificación de una harina que pueden tener un efecto directo en la absorción de agua son tres:

1. El contenido de agua
2. El contenido de proteína
3. El grado de daño de almidón

Dado que el contenido de proteína y la humedad están predeterminados por las especificaciones, la principal influencia en la absorción de agua es, por tanto, el daño que haya sufrido el almidón: Durante la molienda, el daño a los gránulos de almidón presentes en la harina se produce en el sistema de reducción, donde se rompen físicamente los gránulos de almidón y se permite el acceso a más sitios en las cadenas de almidón para la unión de más agua. La molienda intensa puede afectar al tamaño de partícula de la harina (Hoseney, 1991; Othón y Serna, 1996; Stanley y Linda, 2002).

1.3.3.4.5 Cernido o purificación de la harina

Como sucedía en el sistema de trituración, a cada par de cilindros de compresión le sigue un cernedor oscilatorio que hace entre tres y cinco separaciones. La harina se elimina y las fracciones restantes se clasifican entre los cilindros de compresión que siguen. La harina que se elimina hacia el final del sistema es la que tiene peor calidad para la panificación. Los gruesos salen del sistema hacia la tolva de los residuos de la molienda de trigo.

La operación de este sistema de cernedores es crítica para mantener la eficiencia del molino de harina y puede entorpecerse por la acción de los cilindros de compresión sobre las fracciones de semolina. Como se mencionó anteriormente los cilindros se mueven casi a la misma velocidad, de tal forma que tienen tendencia a aplastar las partículas de semolina y producir pequeños copos o escamas. Si estos copos pasan a los cernedores, la acción del tamizado será muy poco eficiente, haciendo que salga demasiado material del sistema como gruesos o colas. Para evitar que ocurra esto, en el molino se tienen instalados desagregadores o también llamados impactores de copos antes de la mayor parte de los cernedores. Estos equipos constan de dos discos metálicos, separados por pequeños pernos, que están montados dentro de una carcasa y movidos por un motor a una velocidad de 3000 rpm. Las fracciones de harina pasan al centro de los discos y son

lanzadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga a través de los pernos, rompiendo cualquier copo que exista al salir.

1.3.4 Productos y rendimientos.

Al final del proceso de la molienda se obtienen distintos porcentajes de los diferentes productos:

- Harina blanca de grado directo (o harina flor y de bajo grado)
- Salvado de tipo grueso y fino para ser empleado como ingrediente en muchos productos de panadería, alimentos saludables y cereales de desayuno
- Residuos de la molienda, que se emplean para alimentación animal y contienen el salvado más fino y posiblemente el germen de trigo.

Se denomina como harina de grado directo a la recombinación de todas las harinas obtenidas de las diversas máquinas. Esta es la harina blanca normal que se suministra a la mayor parte de los clientes y representa entre el 76 y 78 % del trigo inicial (Bogdan y Dendy, 2003; Callejo y Maria, 2002; Kent, 1987).

La harina que se produce al comienzo del sistema de reducción es la denominada harina de patente o harina flor y tendrá un grado de extracción del 60 al 65 % y será más costosa para el panadero. La harina de grado bajo es la diferencia de la harina de patente y la harina de grado directo. Esta harina, que viene de las colas de los sistemas de fragmentación y reducción, tiene color oscuro y es rica en cenizas.

En esta planta no se cuenta con un sistema que pueda separar los grados de harina producidos en las diferentes etapas del proceso, por lo cual sólo se comercializa harina de grado directo.

Las limitaciones mecánicas de los procedimientos de molienda son tales que en la práctica el 75 % viene a ser el límite de extracción para la harina blanca en muchas plantas, aumentando el sombreado de la harina con el aumento del grado de extracción, por la inclusión de salvado, aleurona y germen. En la planta el grado de extracción oscila entre el 75 y el 78 % (Contreras, 1997 Stanley y Linda, 2002;).

1.3.5 Almacenamiento

Antes del almacenamiento a granel, al salir del molino la harina pasará por una serie de cernidos de control. El cernido de control final es un tamiz fino que se emplea como precaución en caso de que se rompa cualquiera de los tamices de los cernidos. La fracción que no pasa se monitorea regularmente para comprobar si se ha producido este problema.

La harina se almacena en sacos o en silos. Los sacos de harina en uso son de 44 kg al llenarlos; los sacos se apilan con frecuencia en varios pisos de altura.

El almacenamiento de la harina en silos y su distribución a granel, tiene ventajas sobre el almacenamiento y reparto en sacos. Aún que el costo de la construcción de las instalaciones para almacenar a granel son altas, el costo de funcionamiento es bajo por que la mano de obra se reduce mucho y el espacio se aprovecha mejor. La capacidad de los recipientes para almacenar la harina es de 70-120 toneladas.

Los silos de almacenamiento con los que cuenta la planta son de acero y cemento. La harina se transporta a través de roscas desde los silos de almacenamiento hasta las tolvas de empaque para ser envasado en sacos o para su reparto a granel. Antes de empacar o llenar el camión a granel la harina pasa a través de un cernido de control para comprobar que no se ha contaminado con cualquier material extraño (Duncan y Manley, 1989; Kent, 1987).

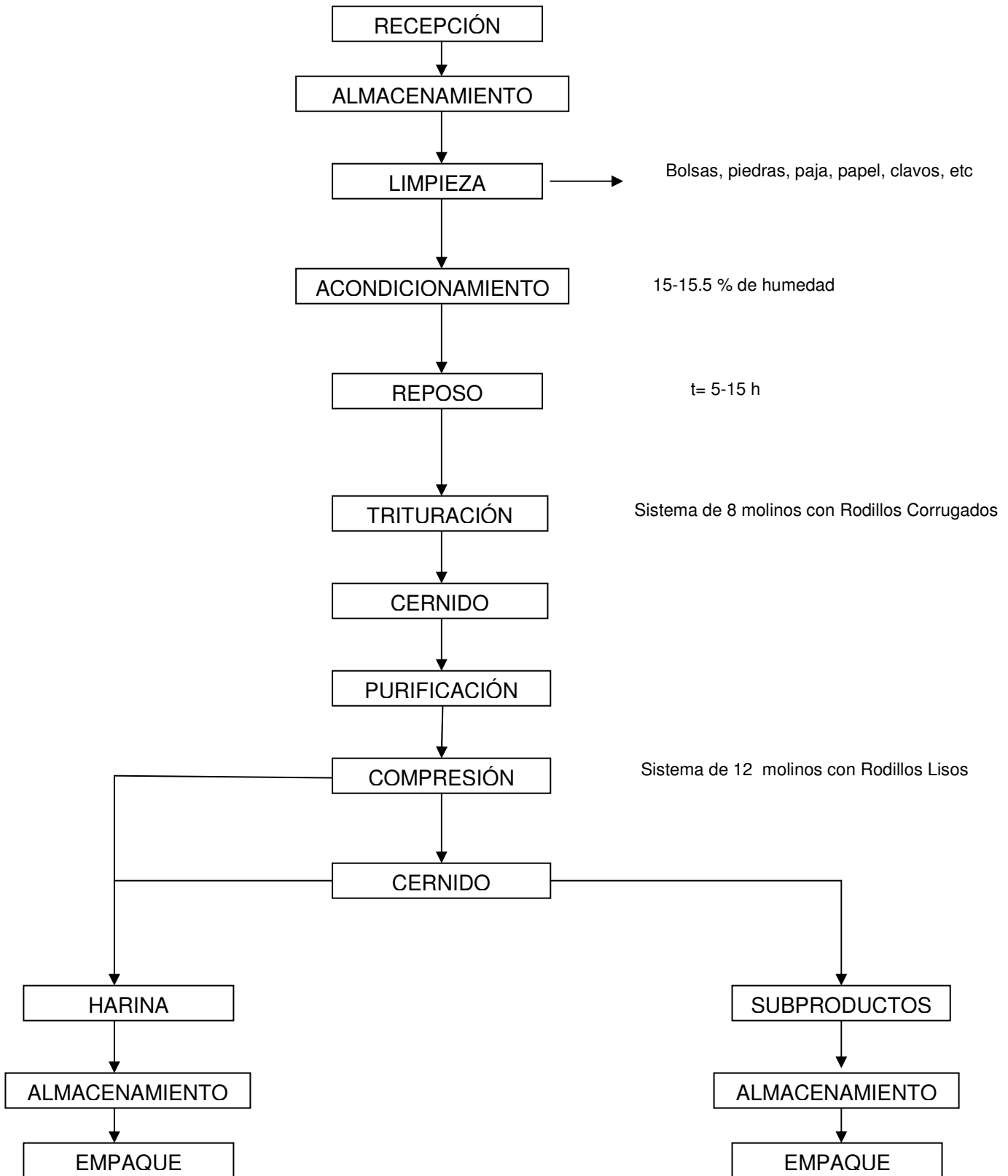


Figura 5.- Proceso para la obtención de harina de trigo (Manríquez, 1997; Mejía, 2000).

2. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

Analista de control de calidad: El analista de control de calidad es la persona encargada de llevar acabo el análisis de la producción de harina a lo largo de todo el proceso de elaboración desde la materia prima hasta el producto terminado.

Objetivo: Realizar análisis de la harina durante la producción, mediante determinaciones fisicoquímicas y reológicas, para corregir desviaciones o corroborar que el producto se encuentre dentro de especificación, y ofrecer un producto de calidad y garantizar la satisfacción del cliente.

Actividades:

- Toma de muestras en proceso y producto terminado
- Determinación de parámetros fisicoquímicos y reológicos en producto terminado
- Determinación de humedades en subproductos
- Verificación del peso y lote de sacos empacados
- Autoinspecciones de control de procesos en molino
- Inspección de unidades de transporte
- Elaboración de certificados de calidad
- Inspecciones de sanidad en planta

Proyecto: Llevar acabo un muestreo cada dos horas de harina de trigo galletera para evaluar sus propiedades a lo largo de un mes de producción, llevando acabo la determinación de parámetros fisicoquímicos y reológicos de la harina, para determinar el cumplimiento de las especificaciones solicitadas por el cliente, si existe alguna variación en los diferentes lotes producidos, los factores que pueden producirla y si la calidad del producto final se ve afectada por dicha variación.

2.1 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS POR EL CLIENTE Y LAS ESTABLECIDAS POR LA NORMA MEXICANA PARA LA HARINA DE TRIGO TIPO GALLETERA

2.1.1 Físicoquímicas

En el Cuadro 4 se muestran las especificaciones físicoquímicas de la harina de trigo tipo galletera establecidas por la norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982), pero cabe mencionar que estas especificaciones pueden variar dependiendo las necesidades de cada cliente y del producto a elaborar, por lo que en el Cuadro 5 se muestran las especificaciones requeridas por el cliente.

Cuadro 4. Especificaciones físicoquímicas para la harina de trigo tipo galletera (NMX-F-007-1982).

Especificaciones	Harina para galletas
Humedad % máx.	14.0
Proteínas %(N*5.7) min.	9.0
Cenizas %	0.4-1.0
Gluten Húmedo % mín.	29.7

Cuadro 5. Especificaciones físicoquímicas requeridas por el cliente para la harina de trigo tipo galletera

Especificaciones	Harina para galletas
Humedad % máx.	12.5-13.5
Proteínas %	8.75-10.25
Cenizas %	0.47-0.53
Granulometría %	18-23*

*Retención total en las mallas 100 y 115 de la serie Tayler.

2.2 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA HARINA DE TRIGO

2.2.1 Determinaciones Físicoquímicas

Los análisis físicoquímicos que se efectúan dentro del laboratorio son: humedad, cenizas, proteínas, granulometría y gluten. Han sido desarrollados métodos rápidos para la determinación del porcentaje de humedad, proteínas y cenizas en segundos. Sin duda, el más importante de estos instrumentos es el analizador de infrarrojo cercano (Inframatic 8600 o NIR), el cual determina estos compuestos sin destruir la muestra. El principio de cuantificación consiste en que las moléculas son excitadas a cierta longitud de onda del espectro de infrarrojo cercano.

Dentro de la empresa este equipo es utilizado para determinar la calidad de la harina durante la producción, ya que otros métodos llevarían mucho tiempo. Al final de la producción de un lote los datos proporcionados por el NIR, son corroborados por el método de estufa para la determinación de la humedad teniendo como factor de error 0.05 y para la determinación de cenizas es de 0.02 por incineración.

2.2.1.1 Determinación de Humedad

PROCEDIMIENTO.

1. A las cajas de aluminio que van a ser utilizados se les somete a una desecación previa en la estufa a 130^o C y se les deja enfriar hasta la temperatura ambiente en un desecador, donde se conservaran hasta el momento de ser utilizados.
2. Primeramente se tomará el peso de las cajas (P_1), se tara y posteriormente se le añaden 5 g de harina.
3. Las cajas son introducidas a la estufa que debe tener una temperatura de 130^oC. Como la temperatura de la estufa habrá descendido al introducir las cajas, se deja recuperar la temperatura y a partir de ese momento se deja transcurrir una hora.
4. Cumpliendo el tiempo dentro de la estufa, las cajas son sacadas y depositadas en un desecador, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

5. Cuando las cajas han descendido a temperatura ambiente se procede a pesarlos (P_2), obteniéndose por diferencia entre este resultado y el del peso de la caja vacía la humedad existente en la cantidad de producto deseado, pasando seguidamente a expresarla en tanto por ciento (Calaveras, 2004; Othón y Serna, 1996).

CÁLCULO:

La cantidad de agua en la muestra es

$$\text{Humedad: } \frac{(P_2 - P_1) \times 100}{g \text{ de muestra}}$$

Donde: P_1 = Peso de la caja vacía (tara).

P_2 = Peso de la caja con muestra después de ser enfiada.

2.2.1.2 Determinación de Cenizas.

PROCEDIMIENTO.

1. Llevar a peso constante el crisol. Una vez que el crisol a llegado a peso constante dejar enfriar en el desecador y pesarlo (P_1).
2. Pesar 2 g de harina.
3. Introducir la muestra pesada a la mufla a una temperatura de 600°C. Se incineran hasta obtener unas cenizas de color gris ligero o peso constante (aproximadamente 6 h).
4. Sacar los crisoles de la mufla, se dejan enfriar en el desecador y posteriormente se procede a pesar los crisoles con muestra (P_2) (Calaveras, 2004; Quaglia, 1991)

CÁLCULO.

$$\text{Cenizas \%: } \frac{(P_2 - P_1) \times 100}{g \text{ de muestra}}$$

Donde: P_1 = Peso del crisol vacío (tara)

P_2 = Peso del crisol con muestra después de ser enfiada.

2.2.1.3 Determinación de Granulometría

PROCEDIMIENTO.

1. Seleccionar mallas:

Malla 1: 0.149 mm de abertura, equivalente a la malla 100 de la serie tyler.

Malla 2: 0.124 mm de abertura, equivalente a la malla 115 de la serie tyler.

2. Pesar las mallas.
3. Pesar 100 g de harina.
4. Acomodar las mallas de mayor a menor abertura sin olvidar posicionar la cubierta de la primera malla y la base recolectora. Colocar cuando menos un par de canicas o fantasmas en cada una de las mallas utilizadas para eficientar el movimiento y la separación de las fracciones.
5. Colocar la harina previamente pesada sobre la primera malla.
6. Posicionar el conjunto de mallas previamente armado en el cernedor y encenderlo 5 minutos.
7. Pesar las mallas, para obtener el valor de granulometría (Othón y Serna, 2003):

Donde: P_1 = Peso final de malla 1

P_2 = Peso inicial de malla 1

P_3 = Peso final de malla 2

P_4 = Peso inicial de malla 2

$$\text{Granulometría} = (P_1 - P_2) + (P_3 - P_4)$$

2.2.1.4 Obtención de gluten de trigo (Método manual)

PROCEDIMIENTO.

1. Pesar 25 g de harina, depositarla en un mortero y añadir 15 ml de agua para formar una bola de masa. Trabajarla con un pistilo y remover del pistilo el material que se adhiera al mismo. Reposar la masa en agua a temperatura ambiente durante una hora.
2. Amasar la masa suavemente sobre el grifo del agua, en una malla fina hasta que el almidón y la materia soluble sean removidos.
3. Para comprobar que el gluten se encuentra libre de almidón, apriete la masa de gluten y el agua que escurra de ésta debe ser translúcida. Si por el contrario resulta turbia, indica la presencia de almidón y se requiere de un lavado posterior.
4. Reposar el gluten obtenido por el lavado, durante una hora. Después de este tiempo presionar el gluten entre las manos hasta exprimirlo por completo. Hacerlo bolita y colocarlo en una caja Petri previamente tarada, para obtener el peso del gluten húmedo.
5. Secar el gluten en una estufa durante 24 h a 60 °C o hasta obtener peso constante.
6. Enfriar el gluten en un desecador y pesarlo para obtener el peso del gluten seco (Calaveras, 2004; Othón y Serna, 2003).

2.2.2 Determinación de las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo

Las propiedades reológicas de la harina probablemente sean los parámetros más críticos de todas sus especificaciones. Son una indicación de cómo se comportará una determinada masa al ser procesada en la planta y en el horno y están relacionadas con la calidad del producto terminado (Lutz, 2003).

Estas pruebas ampliamente utilizadas en la industria molinera tienen como objetivo estudiar las propiedades mecánicas de manera empírica del gluten hidratado y formado después del amasado. Las pruebas son de suma importancia, ya que están estrechamente vinculadas con parámetros de procesamiento (absorción óptima del agua, tiempo de amasado óptimo para desarrollar al gluten) y calidad del producto terminado.

Existen varios aparatos diseñados con el propósito de evaluar indirectamente las propiedades reológicas de las masas. Todos estos aparatos miden de manera directa o indirecta la fuerza o tenacidad y la extensibilidad o elasticidad del gluten.

La norma mexicana de harina de trigo menciona que en virtud de que cada harina requiere características reológicas específicas, según los fines a los que se destine, ya sea para la elaboración de pan, galletas, o pastas para sopa, el comprador deberá informar al vendedor las especificaciones que requiera de la harina de trigo de acuerdo a sus necesidades. Por lo que recomienda utilizar el método del alveograma; dando importancia principal a la elasticidad, extensibilidad, tenacidad y fuerza del gluten. Este tipo de pruebas no son solicitadas por nuestro cliente, pero dentro del laboratorio se realizan pruebas extras para llevar a cabo la determinación indirecta de algunos de los parámetros reológicos de la harina, con la ayuda de instrumentos como el alveógrafo y farinógrafo, ya que nos ayuda a mejorar la calidad del producto de diferente manera, por ejemplo:

A nivel de almacenamiento se utiliza por lo general para discriminar o clasificar trigos; a nivel industrial de molienda se emplea para tomar importantes decisiones de tipos de mezclas a formular y para estudiar efectos y dosificación apropiada de aditivos mejoradores. Finalmente a nivel de manufactura de pan, galletas y productos afines, los ensayos reológicos se consideran como las pruebas críticas para determinar importantes parámetros de procesamiento (por ejemplo, absorción de agua, tiempo de amasado y estabilidad de la masa) y para predecir la calidad del

producto terminado. A continuación se indican los procedimientos utilizados y los parámetros evaluados durante las determinaciones reológicas dentro del laboratorio (Othón y Serna, 2003).

2.2.2.1 Farinógrafo

El farinógrafo es un instrumento, donde se registra el proceso de amasado y muestra el comportamiento de una harina, mide la resistencia que opone la masa al mezclado, determinando la cantidad óptima de agua para lograr la consistencia ideal de la masa. Este instrumento es el más empleado para evaluar las características que presentan las masas cuando son sometidas a un proceso de amasado. Este aparato sirve para la determinación de la absorción de agua como parámetro principal. El grado de absorción o hidratación se define como la cantidad de agua a añadir a la harina para obtener la consistencia óptima de la masa (500 UB) (Bogdan y Dendy, 2003; Stanley y Linda, 2002).

PROCEDIMIENTO.

1. Encender el termostato y la bomba de circulación.
2. Determinar el contenido de humedad en la harina por analizar.
3. Colocar 300 +/- 0.1 g de harina (14% de humedad) en el tazón del aparato del farinógrafo. Hacer los ajustes correspondientes de acuerdo al porcentaje de humedad de la harina a analizar.
4. Llenar la bureta de agua a temperatura ambiente.
5. Cargar la pluma del graficador con tinta y colocar en posición el papel.
6. Correr la maquina por un minuto hasta llegar a la línea del minuto cero. En este momento empezar a agregar el agua requerida por la harina de acuerdo a su absorción.
7. Cuando se empiece a formar la masa, remover la cubierta plástica del tazón y limpiar cuidadosamente las paredes con una espátula de plástico.

8. Si la curva se centra por encima de las 500 UB (unidades Brabender), agregar cautelosamente más agua. Es difícil centrar la curva a esta consistencia por lo que habrá que ajustar la absorción de agua hasta llegar a la consistencia adecuada. Por cada 20 UB que se desfase la curva de las 500 UB, aumentar o disminuir la absorción de la harina.
9. Para la prueba final agregar toda el agua dentro de los primeros 25 segundos después de abrir la llave de la bureta. Dejar correr el aparato hasta obtener una curva adecuada para su interpretación. Separar la pluma del papel graficador, agregar harina al tazón del aparato y proceder a limpiarlo (Othón y Serna, 2003).

La Figura 6 muestra una curva característica obtenida con un farinógrafo, en la que se muestran los parámetros medidos habitualmente.

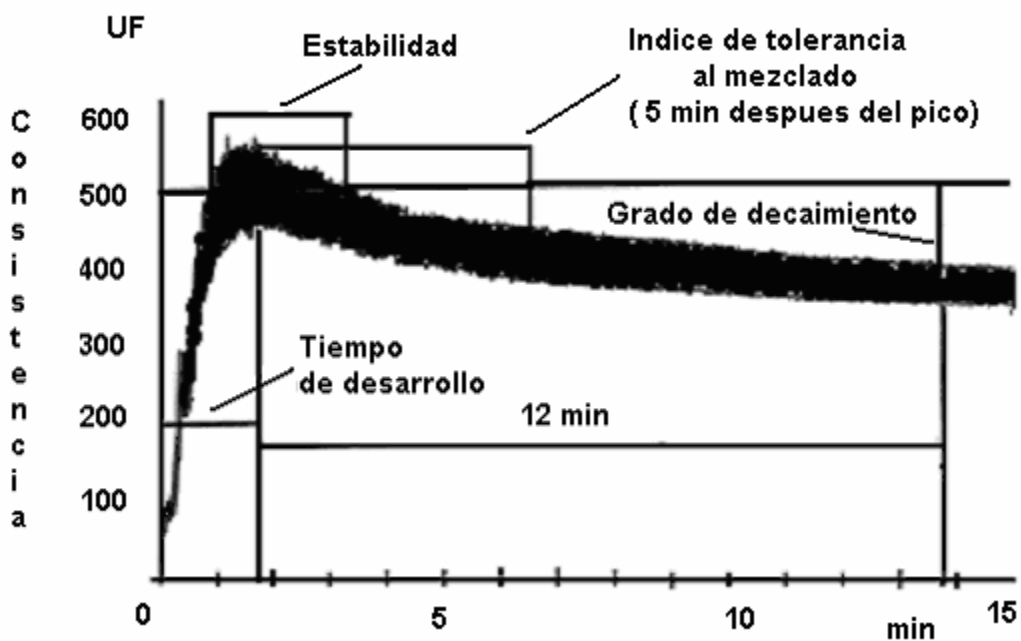


Figura 6.- Curva característica obtenida con un farinógrafo (Bogdan y Dendy, 2003).

Los índices que normalmente se determinan con el análisis farinográfico son:

TIEMPO DE DESARROLLO: Es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia, es decir, la altura máxima de la curva. Se mide en minutos en el eje de las abscisas.

ESTABILIDAD: Es el intervalo de tiempo durante el cual la masa mantiene la máxima consistencia y se mide por el tiempo entre la intersección de la línea de 500 U.B. con la curva en ascenso o descenso.

INDICE DE TOLERANCIA: Es la caída de la curva 5 minutos después del punto más alto, medido en U.B.

GRADO DE DECAIMIENTO: Representa la diferencia entre la máxima consistencia y la que se obtiene después de 12 minutos. Se mide en U.B. (Calaveras, 2004; Quaglia, 1991).

2.2.2.2 Alveógrafo

Mide indirectamente las propiedades reológicas de las masas (extensión y tenacidad) mediante la inyección de aire (simulando efectos de fermentación) en discos de masa en dimensiones estandarizadas.

Los molineros están acostumbrados a valorar los trigos en función de los índices obtenidos con el alveógrafo, utilizando estos datos para la mezcla de harinas, con el fin de producir harinas determinadas (Bogdan y Dendy, 2003).

PROCEDIMIENTO:

1. Determinar el porcentaje de humedad de la harina.
2. Pesar 250 g de harina y colocarlos en la amasadora del alveógrafo.
3. Asegurar la cubierta con tornillos: Encender marcha en posición de “amasado” y cronómetro.

4. En menos de 20 segundos adicionar el volumen de solución de salina (2.5%) con probeta graduada Chopin. La cantidad de agua salada a emplear viene indicada por la bureta graduada basada en el porcentaje de humedad de la harina.
5. Al primer minuto desde el inicio del amasado, detener marcha y abrir la amasadora para incorporar los residuos de harina-masa adheridas a las paredes. Utilizando una espátula de plástico. Esta operación debe realizarse en un máximo de 45 segundos.
6. Colocar la tapa de la amasadora y reiniciar la marcha.
7. Continuar amasando hasta el octavo minuto. Mientras tanto engrasar la platina de extrusión, placa, laminillas, rodillo y platina de la bomba con brocha ligeramente impregnada de aceite mineral.
8. Al octavo minuto cambiar marcha a extrusión y abrir totalmente la compuerta de extrusión, aceitando ligeramente su superficie.
9. Recibir la lengüeta de masa con la ayuda de una espátula de plástico.
10. Cortar una muestra con espátula metálica cuando la lengüeta llegue a la marca que esta en la platina. Colocar la muestra en la placa mientras continúa extrayéndose la siguiente muestra. Para uniformizar el grosor, pase el rodillo laminar sobre la muestra con 12 movimientos. Alternar está operación con el corte de la muestra en la platina de extrusión hasta obtener cinco lengüetas.
11. Una vez laminada cada lengüeta, cortar plastón circular utilizando el molde afilado provisto, previamente aceitado en su borde inferior. Descartar la masa sobrante. Levantar con suavidad el plastón adherido al molde y colocarlo sobre la laminilla metálica. Colocar en la cámara de reposo del alveógrafo.
12. Laminar y cortar plastones en el mismo orden que fueron extraídos.
13. Dejar los plastones en reposo hasta el minuto 28 desde el inicio del amasado.
14. Durante el período de reposo limpiar la amasadora.

15. Exactamente al minuto 28, sacar el primer plastón. Subir la platina superior rotándola 2 veces.
16. Aceitar ligeramente la platina fija y el tope.
17. Deslizar plastón al centro de la platina fija con ayuda de la espátula de plástico.
18. Colocar el tope y asegurar el collarín. Descender el platino con 2 giros lentos y firmes hacia la derecha. Esperar 5 segundos para remover el collarín y el tope.
19. Abrir válvula de aire, el plastón comenzara a inflarse. En cuanto aparezca una rasgadura o agujero en el globo de la masa cerrar la válvula del aire.
20. Realizar el ensayo de los 5 plastones en el orden que fueron elaborados. El resultado de los parámetros alveográficos será el promedio de las cinco mediciones para esa muestra de harina (Othón y Serna, 2003; Quaglia, 1991).

El alveograma es una curva que representa de forma grafica y numérica, la fuerza y las cualidades físicas de la harina, mediante los siguientes índices:

VALOR P: Expresa la tenacidad y mide la resistencia que opone la masa a la rotura. Se presenta en alveograma por la altura de la curva expresada en milímetros.

VALOR L: Expresa la extensibilidad y mide la capacidad de la masa para ser estirada, indicando su elasticidad. Se representa por la longitud de la abscisa o base de la grafica en milímetros.

VALOR P/L: Indica el equilibrio y es la relación entre la tenacidad y la extensibilidad. Del equilibrio depende el destino más adecuado de la harina.

VALOR G: Llamado grado de hinchamiento (volumen de la masa), indica la aptitud de la harina para dar un pan bien desarrollado. Este valor equivale a la raíz cuadrada del volumen de aire, expresado en milímetros, necesario para desarrollar la burbuja hasta la rotura.

VALOR W: Expresa la fuerza panadera e indica el trabajo necesario para deformar una lámina de masa empujada por aire hasta su rotura. Se representa por la superficie de la curva del alveograma (Othón y Serna, 2003).

En la siguiente figura se observa un alveograma típico con los 3 valores fundamentales.

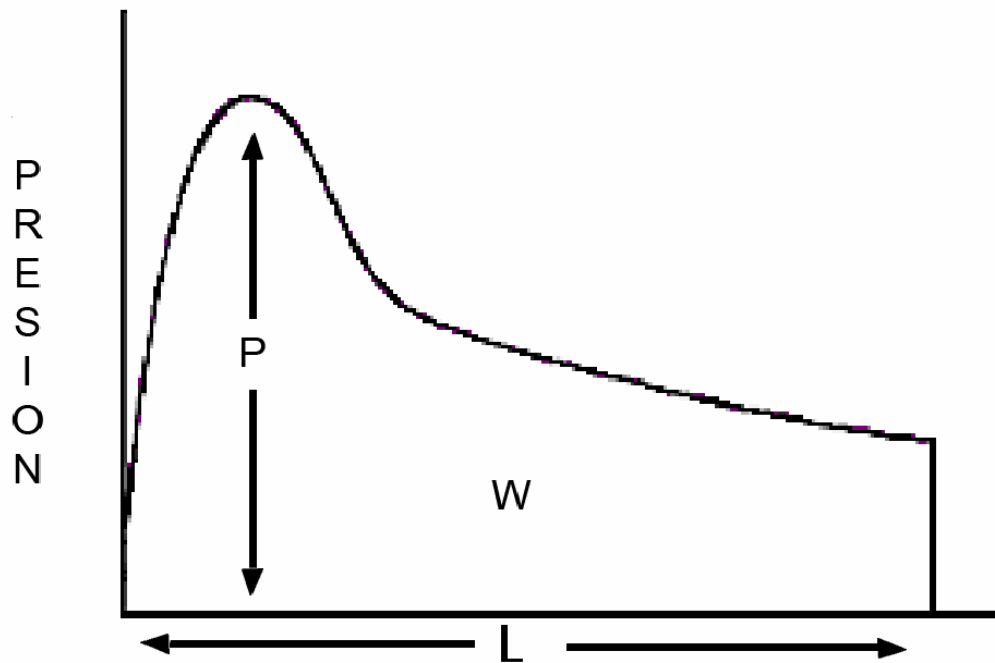


Figura 7.-Alveograma (Stanley y Linda, 2002).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA HARINA DE TRIGO

El Cuadro 6 muestra los valores de humedad, proteína, cenizas, gluten, granulometría, características alveográficas y farinográficas de los diferentes lotes de harina galletera producidos a lo largo de un mes.

Cuadro 6. Resultados

LOTE	3144	7144	5145	3145	7146	5151	3152	5153	3154	1161	3161
FISICOQUÍMICAS											
HUMEDAD (%)	13.01	13.02	13.03	12.91	12.91	12.91	13.08	13.09	13.11	12.61	12.82
CENIZAS (%)	0.502	0.497	0.488	0.51	0.53	0.508	0.485	0.478	0.495	0.483	0.498
PROTEINA (%)	9.2	9.28	8.97	9.45	9.21	9.1	8.99	9.01	8.89	9.68	9.46
GLUTEN HUMEDO (%)	26.4	25.2	27.2	26.4	27.5	25.6	26.4	26.8	27.5	25.6	27.5
GRANULOMETRÍA (%)	20.7	22.2	22.6	22.5	22	19.1	20.1	21.6	20.7	20.5	20.9
FARINOGRAMA											
ABSORCIÓN (%)	55.6	55.6	55.3	55	56.3	56	55.5	55.6	55.6	56.5	56.3
DESARROLLO (Min.)	1.5	1.25	1.25	1.5	1.25	1.25	1.5	1.25	1.25	1.25	1.25
ESTABILIDAD (Min.)	2.75	3	3	2.75	3	3	3.25	3	2.75	2	3.5
INDICE DE TOLERANCIA (U.B)	90	90	120	110	110	90	110	110	100	140	90
GRADO DE DECAIMIENTO (U.B)	100	110	140	120	130	110	110	130	130	150	100
ALVEOGRAMA											
TENACIDAD (mm)	51	48	53	47	49	57	52	53	50	49	59
EXTENSIBILIDAD (mm)	83	96	105	78	95	82	89	97	88	77	99
FUERZA	104	101	127	92	113	127	118	131	117	95	140
P/L	0.62	0.5	0.51	0.61	0.51	0.69	0.59	0.55	0.57	0.64	0.059

Cuadro 6. Continuación

LOTE	5162	1162	3163	5164	1164	3165	5165	7165	1171	3172	1173
FISICOQUÍMICAS											
HUMEDAD (%)	12.86	13.02	13.1	13.03	12.93	12.91	12.91	12.91	12.87	12.9	13.05
CENIZAS (%)	0.505	0.502	0.502	0.491	0.486	0.505	0.502	0.488	0.526	0.494	0.485
PROTEINA (%)	8.97	9.02	8.88	9.27	8.93	8.17	9.28	9.18	9.29	9.22	9.04
GLUTEN HUMEDO (%)	26.4	26	25.6	25.7	27.2	26	26	25.2	26.8	26	27.5
GRANULOMETRÍA (%)	21.2	20	21.1	21.1	21.9	21	20.4	20.4	22.7	21.3	19.8
FARINOGRAMA											
ABSORCIÓN (%)	55.8	55.6	55.7	54.8	54.6	54.8	54.8	54.7	55	54.3	53.5
DESARROLLO (Min.)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.5	1.25	1.5	1.75	1.5	1.75
ESTABILIDAD (Min.)	2.5	3.25	2.75	4.25	3.75	3.5	3.25	3	3	3.5	3
INDICE DE TOLERANCIA (U.B)	110	100	100	100	80	100	80	100	120	80	100
GRADO DE DECAIMIENTO (U.B)	130	120	130	110	110	120	110	120	130	120	110
ALVEOGRAMA											
TENACIDAD(mm)	54	49	53	51	46	53	45	54	50	49	45
EXTENSIBILIDAD(mm)	97	103	92	101	94	101	83	101	104	96	94
FUERZA	131	122	125	130	115	134	101	135	117	119	109
P/L	0.56	0.48	0.58	0.5	0.49	0.52	0.54	0.53	0.48	0.51	0.48

Cuadro 6. Continuación.

LOTE	7174	3174	5175	1176	7176	3182	1182	5183	3184	1184	5184
FISICOQUÍMICAS											
HUMEDAD (%)	13.07	13.03	13.03	13.14	13.09	13.02	12.99	12.87	12.94	12.86	12.86
CENIZAS (%)	0.485	0.501	0.494	0.488	0.486	0.486	0.515	0.525	0.508	0.519	0.53
PROTEINA (%)	9.15	8.87	8.91	9.02	8.93	8.97	8.57	8.97	8.95	8.96	8.69
GLUTEN HUMEDO (%)	25.6	26.4	27.6	26.8	26.4	26.4	26.4	25.6	27.2	26	26
GRANULOMETRÍA (%)	20	21	21.4	20.7	20.4	19.1	20	19.8	20.8	19.5	20.6
FARINOGRAMA											
ABSORCIÓN (%)	53.4	53.5	55.7	53.5	53.7	54.2	55.4	55.5	55.5	55.5	56.5
DESARROLLO (Min.)	1.5	1.25	1.25	1.75	1.25	1.25	1.25	1.5	1.5	1.5	1.25
ESTABILIDAD (Min.)	3.5	3.5	3	3.5	3.25	3	2.75	3	2.5	3	3
INDICE DE TOLERANCIA (U.B)	100	100	100	90	110	100	120	110	120	90	100
GRADO DE DECAIMIENTO (U.B)	120	130	140	120	130	90	130	130	130	120	130
ALVEOGRAMA											
TENACIDAD(mm)	47	47	53	44	44	47	50	52	50	52	54
EXTENSIBILIDAD(mm)	98	98	108	97	96	90	89	91	86	91	83
FUERZA	125	124	137	107	115	107	108	113	110	111	112
P/L	0.48	0.48	0.49	0.45	0.46	0.52	0.56	0.57	0.58	0.64	0.65

Se realizó un análisis de varianza ANOVA de una vía como análisis estadístico para determinar la variación que existe dentro de los resultados.

Este procedimiento se realizó para cenizas, humedad, proteínas y granulometría. Se construyeron varias pruebas para comparar los valores medios de cada una de las variables para los 33 diferentes lotes comprendidas en 202 observaciones. El valor de P en la tabla de ANOVA establece si hay diferencias significativas entre los valores, si el valor de P es menor de 0.5 hay diferencia significativa, si es mayor a 0.5 no hay diferencia significativa. Por necesidades en las gráficas a cada uno de los lotes se le asignó una letra correspondiente como se muestra a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Letra asignada por lote

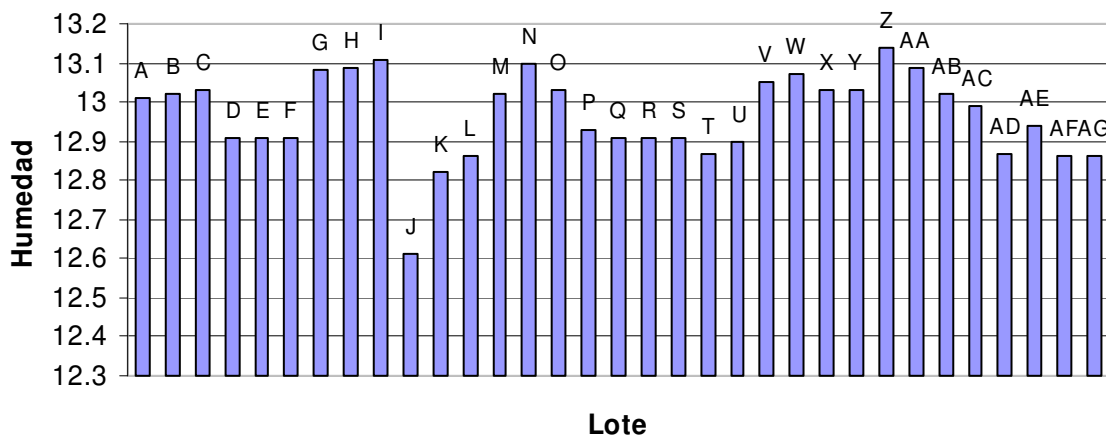
3144	5153	5164	1173	1182
A	H	O	V	AC
7144	3154	1164	7174	5183
B	I	P	W	AD
5145	1161	3165	3174	3184
C	J	Q	X	AE
3145	3161	5165	5175	1184
D	K	R	Y	AF
7146	5162	7165	1176	5184
E	L	S	Z	AG
5151	1162	1171	7176	
F	M	T	AA	
3152	3163	3172	3182	
G	N	U	AB	

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA

Humedad

Como se observa en el Cuadro 6, el contenido de humedad presentó variaciones en los diferentes lotes que van desde 12.8 % a 13.1 %. Aunque estadísticamente se observa diferencia entre los valores obtenidos, ésta no afecta el proceso de elaboración de la harina o su calidad, ya que la norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982) indica que el contenido de humedad máximo para la harina galletera es de 14% y las especificaciones requeridas por el cliente son de 12.5 % a 13.5 % de humedad, por lo cual se encuentra dentro de especificaciones a lo largo de todo un mes de producción (ver Figura 8), lo cual denota que el trigo al entrar a la molienda tenía la humedad adecuada a causa de un buen acondicionamiento, aunque esta variación se verá reflejada en el porcentaje de cenizas entre los diferentes lotes.

Figura 8. Promedios de humedad por lote



Cuadro 8. Tabla de ANOVA para humedad por lote

Análisis de variación

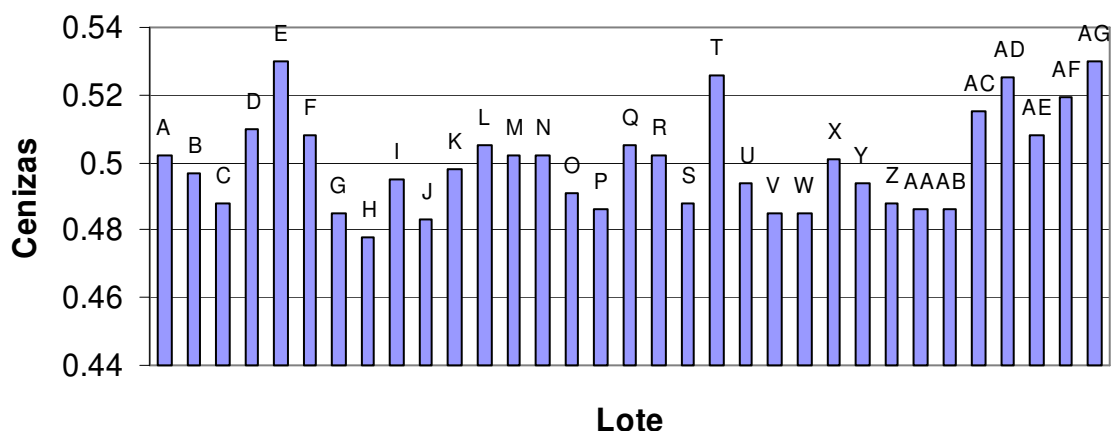
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Razón F	Valor de P
Entre grupos	2.38915	32	0.074661	8.95	0.00001
Dentro de Grupos	1.40965	169	0.00834115		
Total	3.79881	201			

La tabla de ANOVA para humedad muestra un valor de P igual a 0.00001 lo cual indica que existe una diferencia estadística significativa entre la humedad de un lote a otro con un intervalo de confianza del 95 %.

Cenizas

El contenido de cenizas en los diferentes lotes presentó valores que van de 0.478 a 0.53 % (ver Cuadro 6), estadísticamente los valores obtenidos presentan variación entre los diferentes lotes, esta variación es debida a diferentes grados de extracción manejados durante la producción, ya que como se sabe al aumentar la extracción aumenta el contenido de cenizas, esto se debe a que durante el proceso de elaboración de la harina se busca separar hasta los últimos fragmentos de endospermo que quedan adheridos al salvado y por consecuencia incorporan partículas de salvado y aleurón a la harina aumentando su contenido de cenizas. Otro factor que causó la variación en el porcentaje de cenizas como se mencionó anteriormente es la variación que existió en la humedad del trigo a la entrada del proceso de molienda. En cuanto al contenido de cenizas la norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982) indica que el contenido de cenizas máximo para la harina galletera es de 0.4-1.0% y las especificaciones requeridas por el cliente van de 0.47-0.53 %, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos, se encuentra dentro de especificaciones durante todo el periodo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 9. Promedios de ceniza por lote



Cuadro 9. Tabla de ANOVA para ceniza por lote

Análisis de variación

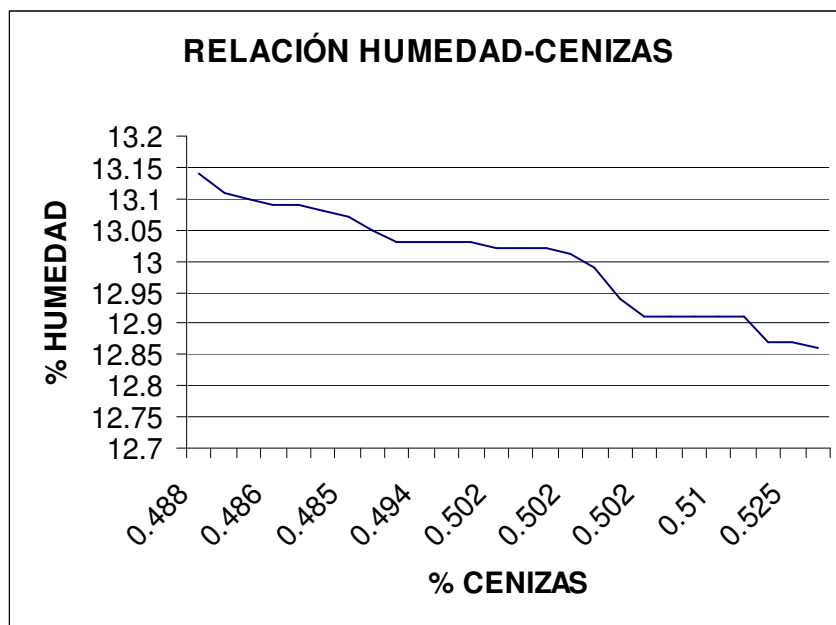
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	Valor de P
Entre grupos	0.0692947	32	0.002165546	1.56	0.0393
Dentro de Grupos	0.23524	169	0.00139195		
Total	0.304534	201			

La tabla de ANOVA para cenizas muestra un valor de P igual a 0.0393 lo cual indica que existe una diferencia estadística significativa entre un lote y otro con un intervalo de confianza del 95 %.

Relación humedad cenizas

En la Figura 10 se muestra la relación entre el contenido de humedad y cenizas de la harina de trigo. El contenido de cenizas aumentó a medida que disminuye el contenido de humedad de la harina.

Figura 10. Relación humedad-cenizas



Las harinas obtenidas con una humedad superior al 13 %, presentaron valores menores a 0.5 % de cenizas, mientras que las obtenidas con humedades menores al 13%, presentaron porcentajes mayores a 0.5 %. Estas diferencias se deben a que el trigo al estar más seco, el salvado es menos correoso y más quebradizo, de forma que se aumenta el contenido de partículas de salvado en la harina lo cual produce una mayor cantidad de cenizas. Como se mencionó anteriormente la mayor parte de las sustancias inorgánicas del trigo se encuentran en el salvado.

Proteínas

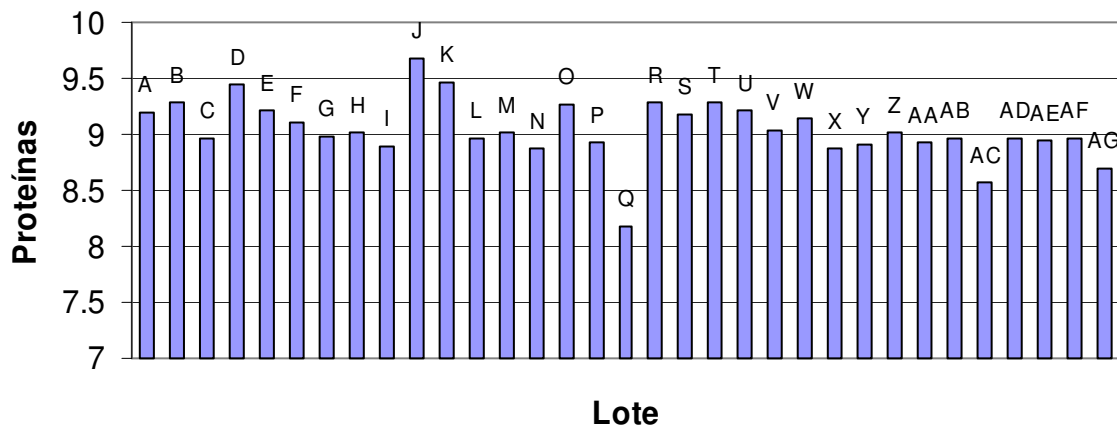
El contenido de proteínas en la harina va a depender del tipo de trigo utilizado para su obtención, ya que debemos tener en cuenta que si una harina es fuerte tendrá por naturaleza un mayor contenido de proteínas que una obtenida de trigos suaves. En este caso se utilizó trigo suave para la obtención de la harina.

Las harinas obtenidas presentaron variaciones en el contenido de proteína que van de 8.17 a 9.45 % (ver Cuadro 6), de los 33 lotes producidos a lo largo del mes. La norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982), indica que el contenido de proteínas mínimo para la harina

galletera es de 9.0%, 16 valores presentaron un contenido de proteína menor al 9.0% (10 lotes con valores por encima de 8.9 %, 3 lotes con valores por encima de 8.8%, 2 lotes con valores por encima de 8.5% y un solo lote presentó el valor más bajo de proteína con 8.17%), esto se debe a que existen diferencias en cuanto al contenido proteico de un lote de trigo a otro, a causa de diferentes factores como son clima, madurez y estado de salud del grano. Otro factor muy importante a considerar es que al aumentar la extracción de la harina se integrará la aleurona que dará un mayor contenido de proteína, sin embargo no contiene proteínas formadoras de gluten.

Las especificaciones del cliente establecen un contenido de proteína de 8.75 a 10.25 %, por lo cual 3 lotes se encuentran fuera de especificaciones, los cuales se dosifican y homogenizan en cierto porcentaje con otros lotes que contengan un contenido de proteína alto, para obtener un producto homogéneo y cumplir con la especificación establecida por el cliente. En la siguiente figura se muestra el contenido de proteína de los diferentes lotes.

Figura 11. Promedios de proteína por lote



Cuadro 10. Tabla de ANOVA para proteína por lote

Análisis de variación

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	F	Valor de P
Entre grupos	4.88526	32	0.152664	3.50	0.00001
Dentro de Grupos	7.36514	169	0.0435807		
Total	12.2504	201			

La tabla de ANOVA para proteínas muestra un valor de P igual a 0.00001 lo cual indica que existe una diferencia estadística significativa entre la proteína de un lote a otro con un intervalo de confianza del 95 %.

Relación proteínas-gluten

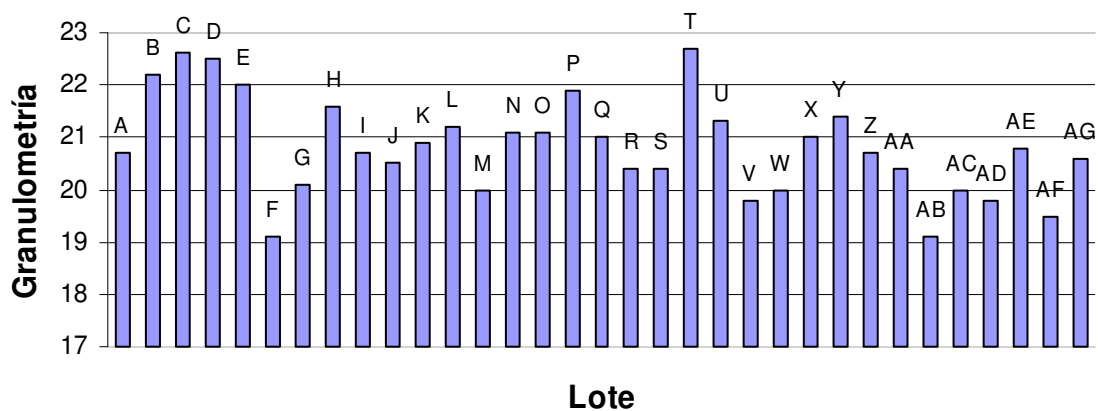
Como se puede observar en el Cuadro 6 el contenido de proteínas en la harina no es proporcional al contenido de gluten, ya que se obtuvieron valores en los cuales al tener un menor contenido de proteínas totales tuvieron un mayor contenido de gluten, esto es de suma importancia porque no sólo la cantidad de proteínas determina las propiedades panaderas de la harina, si no la calidad. Como se mencionó anteriormente dentro de la harina existen proteínas insolubles en agua formadoras de gluten (gliadina y glutenina) y otras solubles (albúmina y globulina) que no tienen importancia en la panificación, es por esto que la calidad de proteínas es más importante que la cantidad dentro de la industria molinera.

Granulometría

En el Cuadro 6 se observa, que la granulometría presentó variaciones en las retenciones totales obtenidas de las mallas 100 y 115 de la serie tyler de los diferentes lotes a lo largo de un mes de producción, las variaciones van desde 19.1 % a 22.7 %, esto se debe a los diferentes grados de extracción a lo largo del mes de producción. Aún que estadísticamente se observa diferencia

entre los valores obtenidos, ésta no afecta el proceso de elaboración de la harina o su calidad, ya que la norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982) indica que en la harina de trigo para galletas generalmente se utilizan mezclas variables de mallas y como consecuencia la obtención de diferentes granulometrías de acuerdo al tipo de galleta que se fabrique, por lo que la granulometría va a depender de las necesidades del cliente. Dentro de las especificaciones requeridas por el cliente se manejan granulometrías de 18 a 23 % de retención total en las mallas 100 y 115 de la serie Tyler, por lo cual se encuentra dentro de especificaciones a lo largo de todo un mes de producción, como se observa en la siguiente figura.

Figura 12. Promedios de granulometría por lote



Cuadro 11. Tabla de ANOVA para granulometría por lote

Análisis de variación

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Razón F	Valor de P
Entre grupos	130.597	32	4.08117	4.59	0.000001
Dentro de Grupos	150.191	169	0.888704		
Total	3.79881	201			

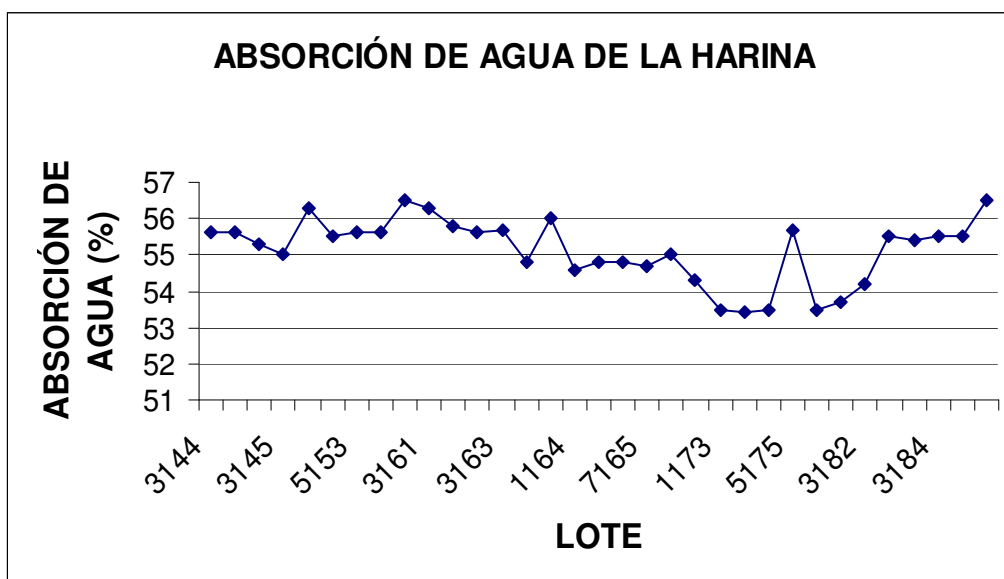
La tabla de ANOVA para granulometría muestra un valor de P igual a 0.000001 lo cual indica que existe una diferencia estadística significativa entre la granulometría de un lote a otro con un intervalo de confianza del 95 %.

CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LA MASA

Características farinográficas

Existen tres parámetros que influyen directamente en la absorción de la harina los cuales son: el almidón dañado, granulometría, proteínas y humedad de la harina. Estas en conjunto son las responsables de la cantidad de agua absorbida por la harina. En los resultados obtenidos de humedad se presentaron valores de entre 12.8 y 13.1 %, en el Cuadro 6 se muestra que en general humedades por encima de 13.0% de humedad presentaban absorciones de 53.5 a 55.7 % y humedades más bajas de 12.86 a 12.9 % presentaron, en general, absorciones más altas que van de 55.4 a 56.5 %. No hay que olvidar que la absorción no sólo depende de la humedad de la harina sino que también del contenido de proteínas (absorbe su mismo peso en agua) y almidón dañado (el almidón se daña al moler mucho la harina en los cilindros de compresión), ya que se presentaron resultados en los cuales a una misma humedad (13.03 %) existen dos valores de absorción (53.5 y 55.7%). En la Figura 13 se observan los diferentes valores de absorción de cada uno de los lotes.

Figura 13. Absorción de agua de la harina



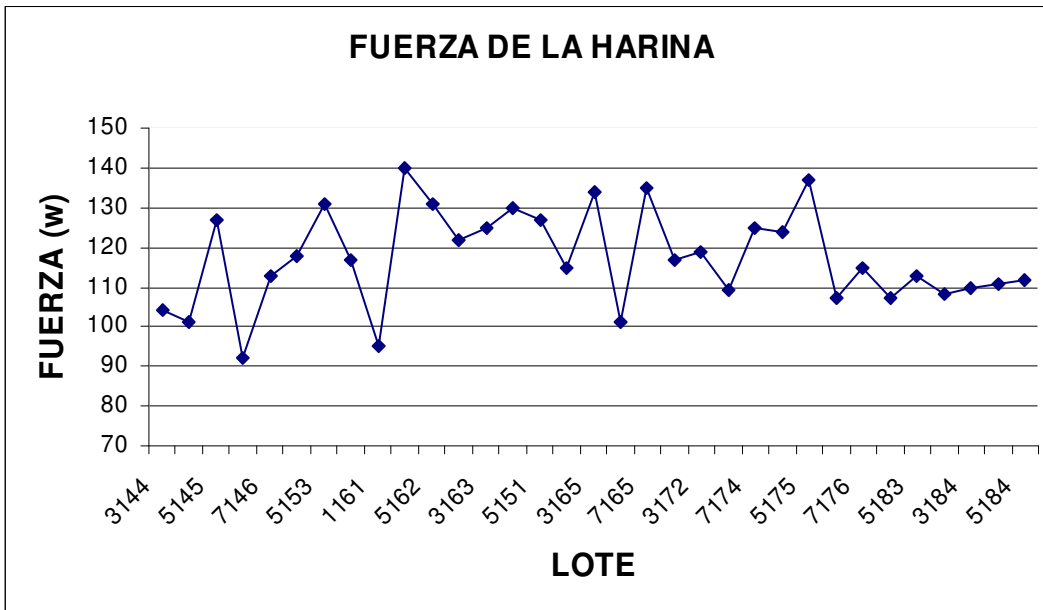
La estabilidad proporciona una medida de la tolerancia de la harina al amasado, en los resultados se presentaron valores de 2.75 a 3.5 minutos. La estabilidad es la parte correspondiente del farinograma con una relación constante entre el agua libre y ligada, y por lo tanto no varía la consistencia del empaste. El grado de decaimiento es la caída de la consistencia del farinograma después de cierto tiempo (12 minutos), en los resultados obtenidos de los diferentes lotes se presentaron valores de 90 a 150 UB, que es la consistencia al final del amasado. El tiempo de desarrollo viene determinado por la duración del crecimiento y éste tiene lugar mientras existan sustancias con capacidad de extensión que hacen aumentar la viscosidad; se obtuvieron valores de 1.25 a 1.5 minutos, que es el tiempo necesario para alcanzar su máxima consistencia.

Características alveográficas

De los parámetros alveográficos, la fuerza (W) es el más utilizado en la industria molinera para la producción de harinas de diferente potencial. Expresa la fuerza panadera e indica el trabajo necesario para deformar una lámina de masa empujada por aire hasta su ruptura, siendo un parámetro medido por el alveógrafo, que garantiza el poder de la harina para la elaboración de pan de buena calidad.

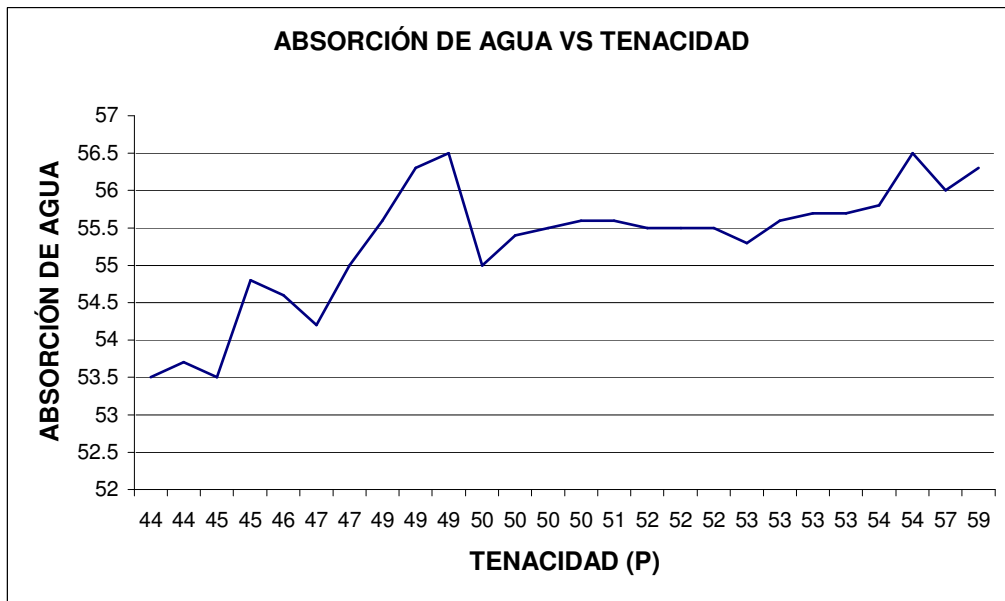
En los resultados obtenidos en el Cuadro 6 se muestra una variación en cuanto a la fuerza obtenida de un lote a otro, con valores que van desde una $W=100$ hasta una $W=140$, la variación de los valores se atribuye a el porcentaje de extracción de la harina, que es un reflejo de la incorporación de componentes no endospermicos (salvado) en la harina, estas incrustaciones no favorecen el desarrollo de la masa, ya que se incrustan en las cadenas de proteínas formando cristalizaciones por las que puede existir pérdida de aire y su retención es menor, la calidad del producto no se afecta con esta variación, ya que la norma mexicana de harina de trigo (NMX-F-007-1982) menciona que las características reológicas son específicas para cada producto de acuerdo a las necesidades del cliente, en el caso de la harina galletera éste no es un parámetro de calidad como lo es en la harina panadera. La Figura 14 se observa la fuerza de los diferentes lotes.

Figura 14. Fuerza de la harina



Los valores de tenacidad variaron de 44 a 59 milímetros (mm), este parámetro tiene relación con la absorción de agua y así una masa más tenaz que otra, necesitará más agua (ver Figura 15) para obtener la consistencia habitual.

Figura 15. Relación entre la absorción de agua y la tenacidad



Los valores de extensibilidad de la masa variaron de 83 a 108 mm, y proporciona una idea de la capacidad de retención de gas en la fermentación. En cuanto al equilibrio de la harina (P/L) se obtuvieron valores que van de 0.4 a 0.6, lo cual indica que se trata de harinas que tienen equilibradas sus propiedades de tenacidad y extensibilidad, ya que harinas con un P/L inferior a 0.4 presentan harinas muy extensibles y poco tenaces, esto dará como resultado poca resistencia a la presión que ejercen los gases y escasa retención de los mismos, y un P/L superior a 0.6 presentan harinas muy tenaces y poco extensibles, dando como resultado que se dificulte la extensión de los gases, por lo cual serán difíciles de trabajar.

4. CONCLUSIONES

1. El contenido de humedad a lo largo de un mes de producción se encuentra dentro de especificación conforme a la norma mexicana y las solicitadas por el cliente. La variación que existe entre los diferentes lotes, no afectan la calidad de la harina; sin embargo esta variación se verá reflejada en el porcentaje de cenizas.
2. El contenido de humedad es un factor importante durante el proceso de elaboración de harina, este contenido de humedad está en función de un acondicionamiento óptimo del trigo, ya que además de determinar la humedad en la harina se verá reflejada en varios parámetros de calidad como son: contenido de cenizas, fuerza y absorción de agua.
3. El contenido de cenizas de los diferentes lotes producidos a lo largo de un mes cumple con las especificaciones establecidas por el cliente y la norma mexicana, la variación existente no afecta la calidad, pero si es responsable de hacer variar de manera directa la fuerza de la harina, lo cual es una clara evidencia que no sólo del contenido del gluten depende la calidad reológica de la harina.
4. En tres lotes de harina el contenido de proteínas se encontró fuera de la especificación establecida por el cliente, esta variación se debe a que la harina se produjo con diferentes lotes de trigo, cada uno de ellos con características diferentes como son: clima de cultivo, madurez y estado de salud del grano, que son factores que determinan el contenido de proteína del trigo.
5. El grado de extracción es un factor muy importante dentro de la elaboración de harinas principalmente por que afecta las propiedades reológicas, ya que al aumentar el grado de extracción, también se aumenta la incorporación de partículas de salvado y aleurona (incrementando su contenido de cenizas y proteínas respectivamente), por lo cual disminuye la fuerza de la harina, aumenta el contenido de almidón dañado y la absorción de agua. Dentro de las propiedades reológicas es más importante la calidad de la proteína que la cantidad.
6. El contenido de humedad, cenizas y proteína registrado a lo largo de un mes de producción, cumple con las características propias de una harina galletera y las

especificaciones solicitadas por el cliente; a excepción de los lotes 3165,1182 y 5184 que presentaron un bajo contenido de proteína.

7. Dentro del proceso de elaboración de la harina, es de fundamental importancia el trabajo realizado por los analistas de calidad, ya que son los responsables de detectar cualquier desviación en las especificaciones del producto, para mantener el control durante todo el proceso y poder ofrecer un producto de calidad que garantice la satisfacción del cliente.

REFERENCIAS

- 1.- Altenbach, S. B., Kothari, K. M., Lieu D., 2002. Environmental conditions during wheat grain development alter temporal regulation of major gluten genes. *Cereal chemistry* 79, (2): 279-285
- 2.- Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos., 2001. INEGI. SAGARPA. Aguascalientes, México.
- 3.- Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos., 2002. INEGI. SAGARPA. Aguascalientes, México.
- 4.- Bennion, E. B., 1970. Fabricación de pan. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- 5.- Bhattacharya, M., Doehlert, D., 2002. Staling of bread as affected by waxy wheat flour blends. *Cereal chemistry*. 79, (2): 178-182
- 6.- Bogdan, J. D., Dendy, A.V., 2003. Cereales y productos derivados química y tecnología. Acribia. Zaragoza, España.
- 7.- Calaveras, J., 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Mundi-prensa. 2^a ed. Madrid, España.
- 8.- Callejo, G., Maria, J., 2002. Industria de cereales y derivados. Mundi-prensa. Madrid, España.
- 9.- Contreras, L. E., 1997. Estandarización de calidad de harinas en la industria de la panificación a través de mejoradores. Estudio en pan blanco. Tesis UNAM FESC.
- 10.- Cunibert, M. B, Roth, M. R., Macritchief, F., 2003. Protein composition-functionality relationships for a set of argentinean wheats. *Cereal chemistry*, 80, (2): 132-134
- 11.- Duncan, J., Manley, R., 1989. Tecnología de la industria galletera. Acribia, S.A. Zaragoza, España.

- 12.- El sector alimentario en México. 2004. Serie de estadísticas sectoriales. INEGI. Aguascalientes, México.
- 13.- Esselink, F.J., Weegels, P.L., 2002. Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of gluten. *Cereal chemistry*. 80, (4): 371-377
- 14.- Fennema, R. O, 1993. Química de los alimentos. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- 15.-Guilbert, S., Cuq, B., Gutierrez, A. D., 2002. Frozen and unfrozen water contents of wheat flours and their components. *Cereal chemistry*, 79, (4): 471-475
- 16.- Hareland, G. A., 2003. Effects of pearling on falling number and α amilase activity of preharvest sprouted spring wheat. *Cereal chemistry*, 80, (2): 232-237
- 17.- Hosney, R. C., 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- 18.- Karel, K., 1994. Cookie chemistry and technology. The american institute of baking. Manhattan, Kansas.
- 19.- Kent, N.L., 1987. Tecnología de los cereales. Acribia. Zaragoza, España.
- 20.- Killr, C., Turnbull, K., 2004. Tecnología de la elaboración de pastas y sémola. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- 21.- Lutz, P., 2003. El óptimo reológico. Best flours. Ahrensburg, Germany.
- 22.- Manríquez, B. H., 1997. Criterios de calidad para harina destinada a la industria pastelera. Tesis UNAM FESC.
- 23.-Matz, A. S., 1992. Cookie and cracker technology. Pan-tech Internacional. 3^{er} ed. Mcallen, tx.

- 24.- Mejía, T. A., 2000. Calidad en las organizaciones (empresas e instituciones de producción y de servicios). Aplicación de las herramientas básicas de control de calidad en una industria harinera. Memoria de seminario de titulación UNAM FESC.
- 25.- Muñoz, C. M, Ledesma S. J., Chávez V. A., 2002. Los alimentos y sus nutrientes. Tablas de valor nutritivo de alimentos. Mc graw hill interamericana, México.
- 26.- Othón, R., Serna S. S., 2003. Manufactura y control de calidad en productos basados en cereales. Agt editor, S.A. México, D.F.
- 27.- Othón, R., Serna S. S., 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. México. Dpto. de tecnología de alimentos. ITESM- Campus Monterrey.
- 28.- Primo, Y. E., 1997. Química de los alimentos. Sintesis, S.A. Madrid, España.
- 29.- Quaglia, G., 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Acribia, S.A. 2ª ed. Zaragoza España.
- 30.- Renom, N., 1975. Fabricación de pastas alimenticias. Serrahima y Urbi. Barcelona, España.
- 31.- Rivera L. E., Romero B. J., 1996. Estudio de la calidad del trigo y sus harinas. Evaluación de tres variedades de trigo (*Triticum aestivum*). Tesis UNAM FESC.
- 32.- Rosell C.M, Wang J., Lookhart G., 2003. Wheat flour proteins as affected by trasglutaminase and glucose oxidase, *Cereal chemistry*, 80, (1): 52-55
- 33.- Stanley P. C., Linda S. Y., 2002. Fabricación de pan. Acribia, S.A. Zaragoza España.
- 34.- Sin autor, 2006. Trigos, productos del trigo, molinería y cereales. Disponible en: http://www.harina.org/trigo_productos.htm. Enero 2006
- 35.- Trejo O. F., 1990. Estudio comparativo del uso de agentes tensoactivos en panificación. Tesis UNAM FESC.

36.- Tronsmo T. M., Magnus E. M., et.al, 2003. Comparison of small and large deformation rheological properties of wheat dough and gluten, Cereal chemistry, 80,(5):587-595

37.- Tronsmo K. M., 2002. Relationships between gluten rheological properties and heart loaf characteristics, Cereal chemistry, 80, (5):575-586

38.- Wong K., Franco C. M. I., Yoo S., Jane J., 2002. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches, Cereal chemistry, 79, (2): 243-248

Normas.

39.- NMX- EE-224-1993

40.- NMX- FF-036-1996

41.- NMX- FF-055-1984

42.- NMX- Y-011-1996

43.- NMX- F-007-1982

44.- NMX- Y-009-1966

45.- NMX- Y-007-1966

46.- NMX- Y-010-1960