



UNIVERSIDAD DE BELGRANO

Las tesinas de Belgrano

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Carrera de Licenciatura en Tecnología de
Alimentos**

**Caracterización de las fracciones de harina de
trigo pan. Análisis de las propiedades físico-
químicas y reológicas de las fracciones de
harina de trigo pan obtenidas en el molino
experimental BÜHLER MLU-202**

Nº 119

Lucas Gambarotta

Tutor: Dora Kitic

Departamento de Investigación
Marzo 2005

Agradecimientos

A lo largo del presente trabajo he recibido la colaboración invaluable y permanente de un grupo de personas a quienes quiero expresar mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar agradezco al Lic. Ramiro Blasco por haberme brindado todo su conocimiento y constante apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

En especial agradezco a la Lic. Graciela Freile por la inestimable colaboración en el armado y presentación del trabajo.

En forma muy particular agradezco a la Dra. Dora Kitic por el tiempo dedicado a revisar los sucesivos borradores de los diversos capítulos, coordinando, proponiendo modificaciones y aportando magnificas ideas.

Indice

Resumen	5
Introducción	5
1.- Historia y evolución	5
1.1.- Antecedentes	5
1.2.- El trigo en América	7
1.3.- El trigo en Argentina	7
1.3.1.- Superficie sembrada	7
1.3.2.- Producción	8
1.3.3.- Evaluación de la cosecha 2001/2002	8
1.3.3.1.- Clima	8
1.3.3.2.- Hongos y fusariosis de la espiga	8
1.3.3.3.- Análisis de las subregiones trigueras argentinas	8
2.- Grano de trigo	10
2.1.- Estructura del grano	10
2.1.1.- Pericarpio	10
2.1.2.- Cubierta de la semilla y epidermis nucelar	11
2.1.3.- Capa de aleurona	11
2.1.4.- Germen o embrión	11
2.1.5.- Endospermo	11
2.2.- Composición del grano	11
2.2.1.- Almidón	11
2.2.2.- Proteínas	12
2.2.3.- Polisacáridos no feculentos	12
2.2.3.1.- Celulosa	12
2.2.3.2.- Hemicelulosa y pentosanos	13
2.2.3.3.- b- Glucanos	13
2.2.3.4.- Glucofructanos	13
2.2.4.- Azúcares	13
2.2.5.- Lípidos	13
2.2.6.- Enzimas	14
2.2.6.1.- Amilasas	14
2.2.6.2.- Proteasas	14
2.2.6.3.- Lipasas	14
2.2.6.4.- Fitasa	14
2.2.7.- Minerales	14
2.2.8.- Vitaminas	14
3.- Molienda del trigo	15
3.1.- Recepción y almacenamiento	15
3.2.- Limpieza y acondicionamiento del grano	15
3.2.1.- Limpieza	15
3.2.2.- Acondicionamiento	16
3.3.- Molienda	16

4.- Calidad del procesamiento del trigo	17
4.1.- Parámetros de calidad del grano de trigo	17
4.1.1.- Peso hectolítrico	17
4.1.2.- Peso	18
4.1.3.- Tamaño y forma	18
4.1.4.- Dureza	18
4.1.5.- Color	18
4.1.6.- Granos dañados	18
4.1.7.- Humedad	18
4.1.8.- Proteínas	18
4.1.9.- Molienda experimental	18
5.- Harina de trigo	19
5.1.- Definición según el Código Alimentario Argentino	19
5.2.- Humedad	20
5.3.- Cenizas	20
5.4.- Gluten	20
5.5.- Absorción de agua	20
5.6.- Actividad de α -amilasa	20
5.7.- Generación de dióxido de carbono	20
5.8.- Otras propiedades	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
1.- Materiales	21
2.- Métodos	21
2.1.- Acondicionamiento	21
2.2.- Molienda	21
2.3.- Maduración	23
2.4.- Determinaciones experimentales	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
1.- Resultados de la molienda del grano de trigo	24
1.1.- Tipos de harina obtenidos	24
1.2.- Rendimiento en fracciones	24
2.- Resultados de los ensayos realizados	24
2.1.- Contenido de humedad	25
2.2.- Contenido de cenizas	25
2.3.- Contenido de gluten	26
2.4.- Actividad de α -amilasa (Falling number)	27
2.5.- Índice de sedimentación (Zeleny)	27
2.6.- Absorción de agua y propiedades reológicas (Farinograma)	28
2.7.- Propiedades reológicas de las harinas (Alveograma)	29
2.8.- Control de fermentación (Zymotaquigrama)	30
2.9.- Producción de pan de molde	32
3.- Resumen	33
CONCLUSIONES	35
ANEXO	35
BIBLIOGRAFIA	48

Resumen

En este trabajo se reprodujo a escala piloto el proceso de obtención de harinas comerciales para determinar la importancia relativa de algunos parámetros que pudieran servir como indicadores de la calidad panificadora de las harinas obtenidas.

Se trabajó con una muestra de trigo pan (*triticum aestivum*), cosecha 2001/2002 provista por el molino TRIGALIA, Prov. Bs. As, Argentina.

Se analizaron algunas propiedades físico – químicas y reológicas de las fracciones de «**harina de trigo pan**» obtenidas con el molino experimental Bühler MLU-202.

El trabajo fue realizado en el Centro de Investigación en Tecnología de Industrialización de Alimentos (CEIAL) del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Las fracciones de harina obtenidas en este molino corresponden a diferentes tipificaciones que establece Código Alimentario Argentino para harinas de trigo pan.

Los resultados de los análisis y ensayos realizados sobre ellas describen perfectamente el proceso de molienda realizado y muestran una buena concordancia con respecto al comportamiento del grano durante la molienda.

Abstract

The present paper reproduces the process for obtaining commercial wheat flours at a pilot scale. The aim is to determine the relative advantages of some parameters that could work as indicators concerning bread making quality.

Bread wheat corn (*triticum aestivum*) crop 2001/2002 was supplied by TRIGALIA mill, Buenos Aires, Argentine.

Some bread wheat flour fractions were obtained with a Bühler MLU-202 experimental mill. Physical – chemical and reological properties of bread wheat flour fractions were analyzed. The corresponding analysis were developed at the Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Fractions obtained correspond to different standards established by the Argentine Food Code for bread wheat flours. The analysis accomplished describes whole grinding process.

Tests shows good concordance with the corn behaviour during grinding process.

Palabras llave:

Harina de trigo, molienda, humedad, cenizas, gluten, reología, panificación.

Key words:

Wheat corn flour, grinding, moisture, ashes, gluten, reology, bread making.

Introducción

1.- Historia – Evolución

1.1.- Antecedentes

Las especies actualmente más difundidas en el mundo: el trigo pan (*triticum aestivum*) y el trigo para fideo (*triticum durum*), son relativamente nuevas en comparación con la extraordinaria antigüedad de las especies progenitoras.

Las referencias de las antiguas civilizaciones corresponden a formas primitivas del género *triticum*.

En el período paleolítico no se han encontrado rastros de este cereal, pero en el neolítico (10.000-2.500 años A.C.), en muchas partes de Asia Menor y Europa Central se hallaron restos de espigas y granos de distintas especies entremezcladas. Esto sugiere que su cultivo data de hace muchísimos años.

Los tipos silvestres antecesores del trigo cultivado presentaron mucho interés para el hombre en todos los tiempos; para los antiguos pueblos de Egipto, Grecia y Roma, significaban un misterio y para el hombre contemporáneo son aún un interrogante. Recién en los últimos 50 años se han logrado importantes progresos en el conocimiento de la evolución de la especie, pero aún subsisten muchas preguntas.

Los griegos consideraban al trigo un regalo del dios Deméter y los romanos lo identificaban con su diosa Ceres. De acuerdo con la leyenda de Diodorum Siculus, la diosa egipcia Isis descubrió el trigo y la cebada creciendo mezclados en el campo conjuntamente con otras plantas desconocidas. La región aludida, co-

respondería a Nysa «una alta montaña de Fenicia», posiblemente la región norte de Palestina, donde hoy se encuentra al estado espontáneo el trigo silvestre *Triticum dicoccoides*. Esta región y por extensión el Asia Menor, es señalada actualmente como la cuna del trigo, donde presumiblemente tuvieron lugar las sucesivas síntesis de las especies que dieron lugar al trigo pan que se cultiva actualmente en el mundo.

Investigaciones recientes señalan tres especies como progenitoras del trigo pan; una correspondiente al mismo género *Triticum* (*triticum boeoticum*) y dos al género *Aegilops* (*A. speltoides* y *A. Squarrosa*). Cada una de estas especies contribuyó con un genomio de siete cromosomas, denominados A, B y C, a la formación del trigo hexaploide *Triticum aestivum*. Las tres especies mencionadas se encuentran al estado silvestre y difundidas como maleza en el Asia Menor.

El *Triticum boeoticum*, de siete pares de cromosomas, es un cereal salvaje de grano pequeño cuyas espigas se desarticulan en la madurez; originario de Asia Menor, hallándose naturalizado en Persia, Grecia y en los Balcanes. Esta especie dió origen al trigo cultivado de un grano (Einkorn), *Triticum monoccocum*, que se caracteriza por producir un solo grano en cada espiguilla y retener las glumas durante la trilla. Se lo encuentra en abundancia en Asia Menor, Kurdistan, Transcaucasia, Grecia, Mesopotamia y en la mayor diversidad de formas, en Crimea. Es uno de los cereales más primitivos y de baja producción. Fue uno de los granos de cultivo más antiguo y de mayor utilización en Europa Central durante el periodo neolítico. Hallazgos arqueológicos permiten deducir que la máxima expansión de su cultivo coincidió con la época más calurosa de la «Edad de Piedra».

Al empeorar las condiciones climáticas a comienzos de la Edad de Hierro, se fue restringiendo el área de producción, principalmente en la región noreuropea, continuándose su cultivo en los Alpes, España, Italia y Balcanes, zonas con temperaturas menos rigurosas.

Actualmente su cultivo se ha reducido sustancialmente debido a su bajo rendimiento y la pobre calidad del grano. Se lo encuentra en regiones aisladas de Anatolia, Grecia y España. En Alemania también se hallan cultivos muy aislados, siendo utilizado como forraje en sustitución de la cebada. La harina es de color amarillento o castaño y da un pan de buen sabor, de color oscuro. Es muy resistente al frío y a la sequía.

En Asia Menor, se encuentran actualmente tipos de transición entre el trigo salvaje de un grano y la especie domesticada.

La siguiente etapa de la evolución del trigo, fue la duplicación del número de cromosomas del trigo salvaje de un grano *T. boeoticum* y de la especie domesticada *T. monoccocum*. Esto ocurrió por incorporación de un nuevo genomio de 7 cromosomas correspondiente a *Aegilops*. Estudios citogenéticos indican a *Aegilops speltoides*, como contribuyente del genomio B a los trigos tetraploides.

Las especies del género *Aegilops* corresponden a regiones de clima cálido, con inviernos cortos y húmedos y veranos secos, largos y calurosos.

Aegilops speltoides se originó en Crimea. Se encuentra naturalizado en Palestina, Siria, Mesopotamia, Turquía e Irak. Bajo las condiciones ambientales de esas regiones, se producen comunmente hibridaciones masales entre especies de los géneros *Triticum* y *Aegilops*, aunque los híbridos son generalmente estériles, las especies de *Aegilops*, son polimorfas y sus áreas de distribución coinciden con las especies primitivas de trigo. Esta circunstancia explica indudablemente muchos aspectos sobre el origen de este cereal.

De los cruzamientos espontáneos entre *T. boeoticum* y *Aegilops speltoides* probablemente se originó el *Triticum dicoccoides*, especie de 14 pares de cromosomas. Esta especie tetraploide se encuentra en Asia Menor y Persia, donde se la conoce como trigo salvaje; posee espigas sumamente frágiles.

Las primeras selecciones de espigas tenaces, deben haberse efectuado en la región mesopotámica donde 4.000 años A.C. era el cereal más difundido.

El *Triticum dicocum* (trigo almidonoso, trigo envuelto, trigo Emmer) desciende directamente de la especie anterior (*T. dicoccoides*) o trigo salvaje. El trigo Emmer, es uno de los cereales más antiguos, habiendo sido hallado en el periodo neolítico en varias partes de Europa (10.000-2.500 años A.C.). Después de la cebada fue el cereal más cultivado en Babilonia (4.000 años A.C.).

Hoy no se duda que esta especie que retiene las glumas, fue cultivada por el hombre prehistórico en varias regiones de Europa y Asia y que fue uno de los principales cereales cultivados en Egipto desde los primeros tiempos hasta el periodo greco-romano, en que fue suplantado por los trigos de fideos o comunes.

Actualmente el cultivo del trigo Emmer, se encuentra muy restringido, empleándose como forraje en sustitución de la avena o cebada. Es un cereal mejor adaptado a climas cálidos, de ahí que su difusión en Europa Central disminuyera notablemente después de la Edad de Bronce en que el clima se hizo más riguroso. Posee granos almidonosos que producen una harina muy blanca.

En regiones de Asia Menor y Mesopotamia, donde se encuentra al estado silvestre *T. dicoccoides* y donde probablemente se originó el trigo Emmer (*T. dicocum*), también se halla difundido como maleza de los cultivos de trigo el *Aegilops squarrosa*. Las hibridaciones naturales entre estas especies son frecuentes.

En 1944 se logró obtener el trigo hexaploide, mediante hibridación entre trigo salvaje *T. dicoccoides* con

Aegilops squarrosa, obteniéndose plantas de grano vestido y características que respondían a *T. spelta*. *Aegilops squarrosa* contribuyó así con el tercer genoma de los trigos hexaploides.

El *Triticum durum*, especie tetraploide de 14 cromosomas se originó en regiones de la costa del Mediterráneo (Abisinia, Argelia, Grecia). Las especies afines *T. polonicum* y *T. turgidum*, tienen la misma distribución geográfica. Se trata de especies de origen relativamente reciente, difundidas durante la era cristiana.

Muestras o restos de espigas y granos de *T. durum* no fueron hallados en la época prehistórica y tampoco existen datos fehacientes de su cultivo en los primeros tiempos de la historia. Después del trigo común o trigo pan, es la especie más cultivada en el mundo, por su elevado contenido en gluten que facilita su utilización para la elaboración de fideos.

1.2.- El trigo en America

Así como el maíz es considerado un regalo de América al viejo mundo, el trigo lo es del viejo mundo para América.

Como referencia histórica sobre la introducción del trigo al continente americano, se sabe que en el segundo viaje de Colón en septiembre de 1493, la tripulación fue provista de trigo procedente de Xeres para elaborar bizcochos (galleta marinera) y que buena parte de esta semilla pudo haber sido sembrada en América.

1.3.- El trigo en Argentina

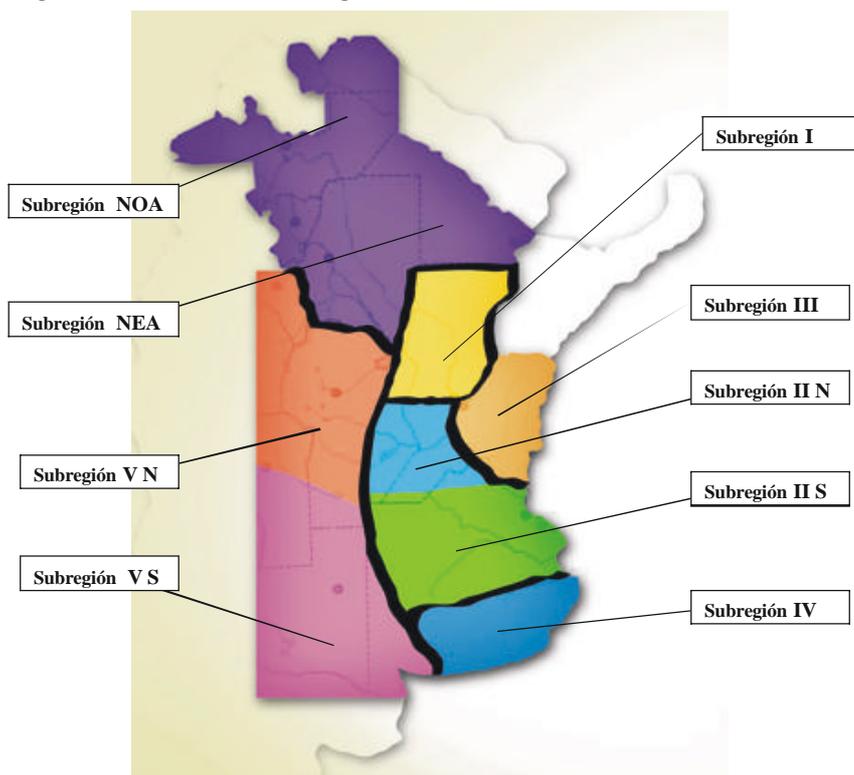
Las primeras semillas fueron sembradas en el primer establecimiento español, conocido con el nombre de Sancti Espíritu, fundado por Sebastián Gaboto el 9 de junio de 1527, en la confluencia de los ríos Carcarañá y Coronda, dentro del actual departamento de San Jerónimo de la provincia de Santa Fe. La documentación histórica agrega que fueron sembrados 52 granos en septiembre de los que se cosecharon 52.000 semillas en diciembre. El trigo sembrado pudo haber sido candeal. El cultivo fue propagado posteriormente por los cultivadores indígenas. Diez años después de la partida a España de Sebastián Gaboto, ya se conocía en el Río de La Plata la época oportuna para la siembra de trigo y hortalizas.

El primer molino harinero en Argentina se estableció en Córdoba en el año 1580.

1.3.1.- Superficie sembrada

El cultivo de trigo en Argentina se extendió primitivamente en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos. La expansión del cultivo continuó a principios del siglo XX, a las provincias de Buenos Aires y Córdoba y en la segunda década del mismo, hasta La Pampa.

Actualmente la superficie sembrada en Argentina es cerca de 7 millones de hectáreas, que se dividen en nueve subregiones distribuidas de la siguiente manera:



1.3.2.- Producción

La producción triguera de Argentina es apenas el 1,25% de la producción mundial. La cosecha estimada para la campaña 2002 / 2003 es de aproximadamente 12,3 millones de toneladas. La evolución de la producción de trigo en Argentina durante el período 1993 – 2003 se muestra en la siguiente tabla:

AÑO	PRODUCCIÓN(M TON)
93/94	9.659
94/95	11.306
95/96	9.445
96/97	15.914
97/98	15.000
98/99	12.400
99/00	15.300
00/01	15.960
01/02	15.292
02/03	12.300 (est)

Fuente: SAGPyA

Se aprecia un incremento importante de la producción durante la última década de aproximadamente 60% (valor «punta a punta», 1993 - 2002) con variaciones debidas fundamentalmente a condiciones climáticas y las diferentes situaciones económicas imperantes. Lamentablemente este aumento drástico se produjo en desmedro de la calidad del producto final.

Debido a los problemas causados por la falta de precipitaciones, el área sembrada y consecuentemente la producción de trigo presentaron una caída drástica durante la campaña 2002/2003, que se extenderá para la siguiente. Gran parte de la superficie que no se implantó con este cultivo se deriva casi seguramente al cultivo de soja.

Entre enero y agosto del 2003 se exportaron 4,5 millones de toneladas que aportaron a la Balanza Comercial del país cerca de 700 millones de dólares.

1.3.3.- Evaluación de la cosecha 2001/2002

1.3.3.1.- Clima

Durante esta campaña se produjeron intensas precipitaciones en toda la región, en especial durante los meses de Agosto, Septiembre y Octubre. Es durante el mes de Octubre que las lluvias llegaron a saturar el perfil de los suelos y anegar los caminos. Afortunadamente hacia fines de Noviembre disminuyeron las precipitaciones y las mayores temperaturas permitieron que los campos y caminos se orearan y la cosecha, milagrosamente lograra realizarse normalmente.

1.3.3.2.- Hongos y fusariosis de la espiga

Las lluvias que afectaron a toda la región triguera núcleo (excluido el NOA y el NEA), desde luego no fueron inofensivas, sino que al contrario, trajeron aparejado un sinnúmero de enfermedades fúngicas tales como roya (*Puccinia* sp.) o mancha de la hoja (*Septoria tritici*) que afectaron las hojas del cultivo severamente, algunos ataques de Pietín (*Gaeumannomyces graminis*) y el tan mentado Golpe Blanco (*Fusarium graminearum*) que afectó las espigas.

Se observó que el ataque se produjo de sur a norte y de oeste a este. Córdoba sufrió la enfermedad aunque en menor grado que Entre Ríos que fue la región más afectada. Así también el Norte de Buenos Aires fue bastante afectado en tanto que el Norte de La Pampa sufrió menos. La región más sana fue el Sur de la subregión V S.

1.3.3.3.- Análisis de las subregiones trigueras argentinas

† Subregión NOA y NEA

En esta Subregión hubo un inicio alarmante de la cosecha por aparición de algunos lotes brotados. No obstante esto resultó en una falsa alarma y los trigos cosechados de ahí en mas, fueron excelentes para la zona.

No se detecto fusariosis y los trigos cosechados se presentaron sanos con bastante buen peso hectolítrico. Los trigos se mostraron en general bastante vítreos y con buen gluten y proteína.

† Subregión I

Bajos rendimientos. Trigos pequeños de bajo peso hectolítrico, con bastante grano afectado por fusarium. No se observó grano brotado y los Falling Number presentaron valores mayores de 350 (el concepto de FN se explicará en «Resultados y Discusión»).

† Subregión II N

Los rendimientos fueron mas bien bajos con abundante Fusarium, debido a las lluvias. La incidencia de la enfermedad tuvo su epicentro en las márgenes del Paraná decreciendo hacia el oeste. En los departamentos de Unión y Marcos Juárez (Provincia de Córdoba), la gravedad de la enfermedad fue bastante menor que en las márgenes del Paraná. Se observaron en general granos poco desarrollados con buen tenor de gluten aunque de valor panadero bajo. Los valores de Falling Number se observan elevados.

† Subregión II S

Esta su región como todos los años ofrece un comportamiento heterogéneo. Desde la ruta 5 y hacia el norte se observaron rendimientos mas bien pobres, con pesos Hectolítricos bajos. Hacia el sur de la Subregión los rendimientos y pesos hectolítricos aumentan y se observan granos de mayor tamaño. Los glutenes disminuyen en general de norte a sur y dan una media aceptable. No se observó grano brotado y los valores de Falling Number fueron superiores a 350.

† Subregión III

Esta fue la Subregión mas afectada por la fusariosis. Los rendimientos fueron por este motivo extremadamente bajos. La incidencia del golpe blanco fue devastadora afectando mas del 3% de los granos en promedio, lo cual hizo que el trigo estuviera en muchos casos fuera de estándar. En algunos lotes puntuales se observó hasta un 50% de los granos dañados. El daño por fusariosis fue mayor en el norte y menor en el sur y afectó mas a los lotes mas adelantados. Hubo productores en el sur que sembraron tarde y no tuvieron Fusarium. No hubo problemas de brotado.

† Subregion IV

Esta es desde luego la zona triguera por excelencia. Aquí se observaron este año buenos rendimientos (aunque menores que los del año pasado), con algunos lotes excepcionales.

Hubo incidencia de enfermedades fúngicas, pero fundamentalmente en las hojas de los cultivos y algo de pietín. No se observaron ataques severos de Fusarium en la espiga.

La cosecha comenzó en general bien, pero cuando solo se había levantado un 10% de la superficie comenzó a llover intensamente. Esto atrasó la cosecha y deterioro los pesos hectolítricos y el aspecto general de los granos. Algunos lotes presentaron problemas de brotado aunque se diluyó en los conjuntos y se reflejó poco en los valores de Falling Number. El aspecto general de los trigos fue de granos grandes y lavados, con buen peso de los 1000 granos, bajo tenor en gluten y bajo valor panadero.

† Subregión V N

Esta zona que el año pasado presentó los mejores trigos, este año fue afectada por Fusarium sp., debido a la gran cantidad de lluvias en el área durante la etapa de formación del grano.

† Subregión V S

Aquí se distinguen dos áreas de características marcadamente diferentes. Desde Eduardo Castex (paralelo de 36° latitud S) y hacia el norte se observaron trigos más pequeños de bajo peso hectolítrico y bajo peso de 1000 granos. Aquí el contenido de glutenes fue más alto aunque de baja calidad. Estos trigos fueron variablemente afectados por el Fusarium, aunque no se observaron trigos brotados y los valores de Falling Number son bien elevados.

Hacia el Sur de Eduardo Castex el panorama fue totalmente diferente. Los rendimientos por hectárea mejoraron drásticamente. Desaparece el Fusarium. Los trigos se presentaron gordos y sanos. Se observaron buenos pesos hectolítricos y buenos pesos de 1000 granos (los más altos del país). La contrapartida fue el bajo contenido en gluten y la aparición de trigos panza blanca.

Los valores de Falling Number fueron altos y la sanidad fue muy buena.

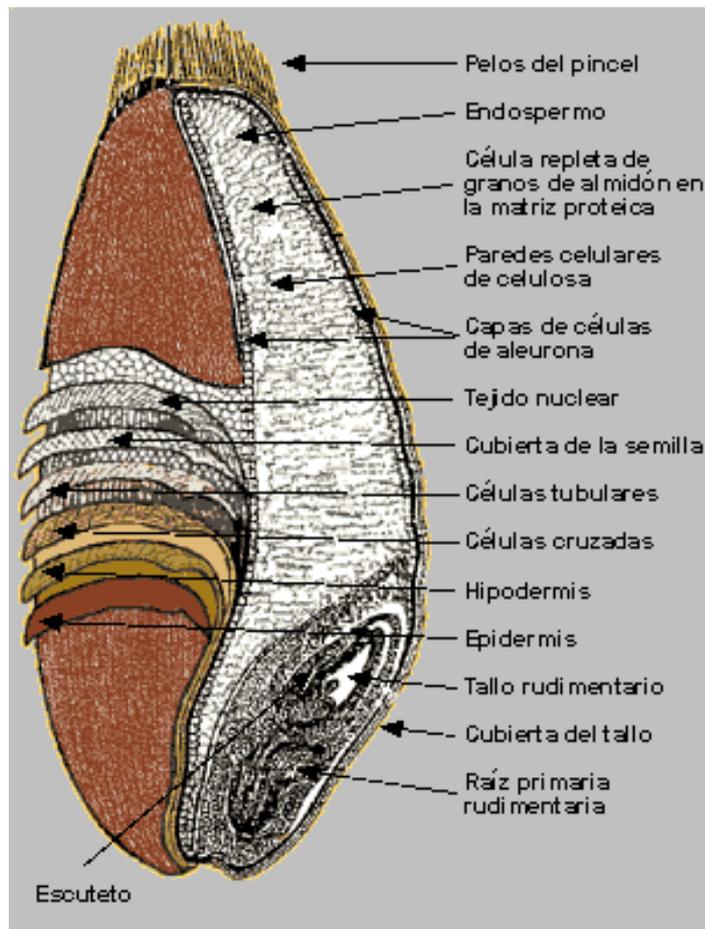
Una medición aparte representa el sur de la provincia de Buenos Aires (Partidos de Villarino y Carmen de Patagones) que habitualmente siembra mucho trigo. Esta región sufrió recurrentes problemas de heladas tardías (la última se registró el 15 de Noviembre y generó bastante daño). Los rindes en la zona fueron muy variables y se observó abundancia de trigo panza blanca.

2.- Grano de trigo

2.1.- Estructura del grano

Los miembros de la familia gramíneas que producen granos de cereal, generan frutos secos con una sola semilla. Este tipo de fruto es una cariósida que vulgarmente se denomina grano. Está formado por una semilla cubierta por el pericarpio (vulgarmente denominado salvado) que se encuentra fuertemente adherido.

La longitud de los granos es, en término medio, de 8 mm, con un peso de 35 mg. El tamaño de los granos varía ampliamente según la variedad y la posición en la espiga. Los granos de trigo son redondeados en la parte dorsal (mismo lado del germen) y posee un surco a lo largo de la parte ventral (lado opuesto al 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 solamente representa una dificultad para que el molinero separe el salvado del endospermo con buen rendimiento, sino que también constituye un buen escondite para microorganismos y polvos.



Corte longitudinal del grano de trigo

2.1.1.- Pericarpio

El pericarpio rodea toda la semilla y está constituido por varias capas. El pericarpio exterior es lo que los molineros llaman beeswing (alas de abeja). La parte más interna del pericarpio exterior está formada por restos de células de pared delgada.

El pericarpio interior está formado por células intermedias, células cruzadas y células tubulares. Ni las células intermedias ni las tubulares cubren por completo el grano. Las células cruzadas son largas y cilíndricas y tienen su eje longitudinal perpendicular al eje longitudinal del grano. Las células cruzadas están densamente dispuestas con poco o nada de espacio intercelular. Las células tubulares son del mismo tamaño y forma general que las células cruzadas, pero tienen sus ejes longitudinales paralelos al eje longitudinal del grano. No están encajadas muy densamente, por lo que queda mucho espacio intercelular.

El pericarpio comprende el 5% del grano, y está formado aproximadamente por un 6% de proteínas, un 2% de cenizas, un 20% de celulosa y 0.5% de grasa, completando el resto presuntos pentosanos.

2.1.2.- Cubierta de la semilla y epidermis nucelar

La cubierta de la semilla está unida firmemente a las células tubulares por su lado exterior y a la epidermis nucelar por el interior. Está compuesta por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada (en los trigos coloreados) y una cutícula interior fina. La cubierta de semilla del trigo blanco tiene dos capas de células comprimidas de celulosa, con poco o nada de pigmento. El espesor de la cubierta de semilla varía entre 5 y 8 mm. La epidermis nucelar o capa hialina, tiene unos 7 mm de espesor y está unida estrechamente, tanto a la cubierta de la semilla como a la capa de aleurona.

2.1.3.- Capa de aleurona

La capa de aleurona, que por lo general tiene el espesor de la célula, rodea el grano por completo, incluyendo el endospermo feculento y el germen. Desde el punto de vista botánico, es la capa exterior del endospermo. Sin embargo, se elimina durante la molienda, junto con la epidermis nucelar, la cubierta de la semilla y el pericarpio, constituyendo lo que el molinero llama salvado. Las células de aleurona tienen paredes gruesas, su forma es esencialmente cúbica y carecen de almidón.

El grosor medio de las células es de unos 50 µm. Las paredes celulares tienen 3-4 µm de espesor, su composición es fundamentalmente celulósica. Las células de aleurona poseen un núcleo grande y numerosos gránulos de aleurona. La estructura y composición de los granos de aleurona es compleja. La capa de aleurona es relativamente rica en cenizas, proteínas, fósforo total y fósforo de fitatos, grasa y niacina. Además la aleurona es más rica en tiamina y riboflavina que otras partes del salvado y su actividad enzimática es alta. Por encima del embrión, se modifican las células de aleurona convirtiéndose en células de pared delgada y pueden no contener granos de aleurona. El espesor de la capa de aleurona sobre el embrión promedia unos 13 µm, o sea menos de la tercera parte del espesor que representa en las otras partes.

2.1.4.- Germen o embrión

El germen de trigo abarca el 2,5 - 3,5 % del grano. Está constituido por dos partes principales: el eje embrionario (raíz y tallo rudimentarios) y el escutelo, que tiene el papel de almacén. El germen es relativamente rico en proteína (25%), azúcar (18%), aceite (16% del eje embrionario y 32% del escutelo) y cenizas (5%). No contiene almidón, pero es bastante rico en vitamina B además de muchas enzimas. El germen es muy rico en vitamina E (tocoferol total), con cifras que llegan a 500 ppm. Los azúcares son principalmente sacarosa y rafinosa.

2.1.5.- Endospermo

El endospermo feculento, excluyendo la capa de aleurona, está constituido por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las células varían de tamaño y forma según su localización en el grano. La primera fila de células, incluida dentro de la capa de aleurona, es la de las células periféricas que generalmente son pequeñas con diámetros iguales en todas las direcciones o ligeramente elongadas hacia el centro del grano. Rodeadas por las células periféricas se encuentran varias filas de células prismáticas alargadas. Se extienden desde el interior hacia el centro de los lóbulos y miden unos 150 x 50 µm. Las células centrales quedan en el interior de las células prismáticas. Su tamaño y forma son más irregulares que las otras células.

Las paredes celulares del endospermo, están formadas por pentosanos, otras hemicelulosas y b-glucanas, pero no por celulosa. 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 del endospermo determina el porcentaje de hemicelulosas contenidas en las mismas.

El contenido y las paredes celulares de las células del endospermo constituyen la harina. Las células están repletas de granulos de almidón incluidos en una matriz proteica.

2.2.- Composición del grano

El grano de trigo se puede considerar fundamentalmente compuesto por almidón, proteínas, otros polisacáridos, lípidos, minerales y vitaminas.

2.2.1.- Almidón

El almidón se encuentra en el trigo en forma de gránulos. En los cereales y en otras plantas superiores, los gránulos se forman en plastidios. Estos plastidios que forman el almidón se llaman amiloplastos. En el trigo que tiene gránulos de almidón simple, cada plastidio contiene un grano.

El trigo tiene dos tipos de gránulos: los grandes lenticulares (de forma de lente) y los pequeños esféricos.

Los plastidios del trigo forman inicialmente, cada uno un gránulo de almidón grande lenticular. Después, los plastidios forman protuberancias en las que se forman gránulos pequeños. Estos amiloplastos, mucho más pequeños, se separan del plastidio madre por constricción.

El almidón está constituido básicamente por polímeros de α -D-glucosa. Químicamente, al menos, se pueden distinguir dos tipos de polímeros:

- amilosa, fundamentalmente es un polímero lineal
- amilopectina que está fuertemente ramificada.

2.2.2.- Proteínas

En 1907 T.B. Osborne separó las proteínas del trigo en cuatro fracciones valiéndose de sus solubilidades:

- Albúminas: Proteínas solubles en agua.
- Globulinas: Proteínas insolubles en agua pura, pero solubles en disoluciones salinas diluidas e insolubles a altas concentraciones.
- Prolaminas: Proteínas solubles en alcohol etílico al 70 %.
- Glutelinas: Proteínas solubles en ácidos o bases diluidas.

Esta clasificación proporciona resultados reproducibles, sin embargo, las fracciones obtenidas, no tienen límites definidos.

La mayor parte de las proteínas fisiológicamente activas (enzimas), se encuentra en los grupos de las albúminas o de las globulinas.

En el trigo, las albúminas y las globulinas, están concentradas en las células de aleurona, salvado y germen y a concentraciones inferiores en el endospermo.

Desde el punto de vista nutricional, las albúminas y globulinas, tienen los aminoácidos muy bien equilibrados. Son ricas en lisina, triptofano y metionina, tres aminoácidos que son relativamente escasos en los cereales.

Las prolaminas y glutelinas, son las proteínas de reserva de los cereales. La planta almacena proteínas de esa forma para su utilización en la germinación. Estas proteínas están en la matriz proteica del endospermo y no se encuentran en el pericarpio o en el germen.

Las proteínas de reserva del trigo son únicas, porque son también proteínas funcionales. No poseen actividad enzimática, pero tienen la facultad de formar una masa que retendrá gas y rendirá productos horneados esponjosos.

La variación en el contenido proteico del trigo oscila desde menos del 6% hasta más de 27%. Esta diversidad es producto, tanto de efectos ambientales como genéticos. El contenido proteico es importante por dos motivos: en primer lugar, la proteína es un nutriente valioso en nuestra dieta, por lo que el tipo y cantidad de proteína es importante desde el punto de vista de la nutrición y en segundo lugar la cantidad y tipo de proteína es importante desde el punto de vista funcional en la utilización de la harina.

Se atribuye fundamentalmente a las proteínas de reserva del trigo la habilidad de formar una masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso. Solo la harina de trigo con la adición de agua, forma una masa viscoelástica, cohesiva, que se puede trabajar (amasar). El gluten resultante es el responsable de la plasticidad y elasticidad de la masa.

El gluten está formado por un 90% de proteínas, 8% de lípidos y 2% de carbohidratos. Estos últimos son principalmente pentosanos, insolubles en agua, que pueden fijar y retener cantidades significativas de agua, en tanto que los lípidos forman un complejo lipoproteico con ciertas proteínas del gluten.

El complejo «gluten», está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadinas (una prolamina) y glutenina (una glutelina). Las gliadinas son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares. Su peso molecular medio es de unos 40.000, son de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la coherencia de la masa (viscosidad). Las gluteninas también parece ser un grupo heterogéneo de proteínas. Son de cadena ramificada y su peso molecular oscila entre unos 100.000 y varios millones, con un promedio de unos 3 millones. Físicamente, la proteína es elástica, pero coherente. La glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (elasticidad).

2.2.3.- Polisacáridos no feculentos

Los cereales contienen otros polisacáridos distintos del almidón. Estos polisacáridos son constituyentes primarios de las paredes celulares y abundan más en las porciones externas que en las internas del grano (en las células del endospermo el contenido de éstos es muy inferior al del almidón).

Entre ellos tenemos hemicelulosas, pentosanos, celulosa, β -glucanos, y glucofructanos.

2.2.3.1.- Celulosa

La celulosa es el polisacárido estructural más importante de las plantas. Químicamente es muy simple, está compuesto por D-glucosa unida por enlaces β -1,4. Es un polímero muy largo. Como no es ramificado

y tiene configuración esencialmente lineal, se asocia fuertemente consigo mismo y es muy insoluble. En su estado nativo, la celulosa es parcialmente cristalina. El alto grado de ordenación e insolubilidad, junto con sus uniones β hace que este polímero resista a muchos organismos y enzimas. En la materia vegetal, se encuentra generalmente la celulosa asociada a la lignina y a otros polisacáridos no feculentos.

2.2.3.2.- Hemicelulosas y pentosanos

Los términos hemicelulosa y pentosanos, se utilizan con frecuencia indistintamente, por lo que ninguno de los dos parece tener un significado exacto. Los dos en conjunto, abarcan los polisacáridos vegetales no feculentos y no celulósicos. Están distribuidos ampliamente por todo el reino vegetal, y en general, se cree que forman las paredes celulares y el material de unión que mantiene juntas las células. Químicamente son muy diferentes, variando su composición desde un azúcar simple, como el que se encuentra en los α -glucanos, hasta los polímeros que pueden contener pentosas, hexosas, proteínas y fenoles. Los azúcares frecuentemente citados como componente de las hemicelulosas de los cereales incluyen: la D-xylosa, L-arabinosa, D-galactosa, D-glucosa, ácido D-glucurónico y ácido 4-o-metil- D-glucurónico.

Otra heterogeneidad importante de las hemicelulosas, es su solubilidad en agua. La harina de trigo, por ejemplo, contiene a la vez, hemicelulosas solubles e insolubles en agua. Generalmente se las cita en la literatura, como pentosanos solubles e insolubles en agua, incluso aunque contengan, claramente muchas entidades además de las pentosas. Los pentosanos insolubles en agua son más ramificados que los pentosanos hidrosolubles.

Contrariamente a las proteínas hidrosolubles de los cereales, los pentosanos solubles pueden absorber de 15 – 20 veces más agua y de este modo formar soluciones altamente viscosas.

La porción insoluble de los pentosanos se hincha profundamente en el agua. Esta porción es responsable de las propiedades reológicas de la masa, de la conducta panificable del centeno y aumenta la jugosidad de la corteza de los productos de panadería. Los pentosanos también juegan un papel importante en las propiedades panificables del trigo, puesto que participan en la formación del gluten.

2.2.3.3.- β -Glucanos

Los β -glucanos son polisacáridos lineales, con unidades de D-glucopiranosas unidas por enlaces β -1,3 y β -1,4. El grano de trigo contiene solamente 0,5 – 2 % de sustancias mucilaginosas. Estas sustancias confieren una gran viscosidad a las soluciones acuosas.

2.2.3.4.- Glucofructanos

La harina de trigo contiene un 1 % de oligosacáridos solubles en agua, no reductores, de peso molecular de hasta 2.000. Están formados por D-glucosa y D-fructosa.

2.2.4.- Azúcares

En el trigo y otros cereales existen en concentraciones relativamente bajas de mono, di y trisacáridos, así como otros productos de bajo peso molecular resultantes de la degradación del almidón. Cuando esta degradación ocurre durante la formación de la masa estos niveles aumentan. En presencia de levaduras los mono, di y trisacáridos son importantes para el esponjamiento de la masa.

2.2.5.- Lípidos

La distribución de lípidos dentro del grano de trigo es muy variable. Los lípidos del trigo total contienen un 70 % de lípidos no polares, 20 % de glicolípidos y 10 % de fosfolípidos. El germen tiene la mayor cantidad de lípidos, y los lípidos del germen tienen el mayor porcentaje de fosfolípidos. Los lípidos polares del salvado, contienen más fosfolípidos que glicolípidos, mientras que los lípidos del endospermo contiene más glicolípidos que fosfolípidos.

En la harina del endospermo feculento, los lípidos se pueden dividir en: lípidos asociados con los granos de almidón y lípidos no asociados. Los lípidos asociados al almidón, representan también un número grande de clases con la división general siguiente: lípidos no polares 9 %, glicolípidos 5 % y fosfolípidos 86 %. Los lípidos no asociados, que representan un número grande de clases, se pueden dividir en un 60 % de lípidos no polares, 25 % de glicolípidos y 15 % de fosfolípidos. Claramente, los fosfolípidos constituyen la mayor parte de los lípidos asociados al almidón; la lisofosfatidilcolina ocupa un gran porcentaje de los fosfolípidos del almidón.

2.2.6.- Enzimas

2.2.6.1.- Amilasas

Los cereales contienen dos tipos de amilasas. La α -amilasa es una endoenzima que degrada los enlaces glucosídicos α -1,4, de forma, más o menos, al azar. El resultado de esta acción enzimática, es la disminución rápida del tamaño de las moléculas del almidón y con ello la reducción de la viscosidad de la solución de almidón o de la suspensión. La enzima trabaja mucho más rápidamente sobre el almidón cuando está gelificado; sin embargo, con tiempo suficiente, también degradará los gránulos de almidón.

Los cereales sanos e intactos tienen bajos niveles de α -amilasa. Sin embargo, en la germinación, el nivel de α -amilasa se eleva muchas veces. Esto convierte a la actividad de la α -amilasa en una medida muy sensible para la detección de germinación de los granos de cereal.

La β -amilasa es una exoenzima que ataca al almidón por los extremos no reductores de los polímeros. También ataca enlaces α -1,4 glucosídicos y rompe uno sí y otro no liberando maltosa. Se tendría que esperar la obtención única de maltosa, a partir de la amilasa, si esta no fuera ramificada. En realidad, solamente el 70 % de la amilosa se convierte en maltosa, con lo que se demuestra que en la amilosa hay ramificaciones. En el caso de la amilopectina, la conversión a maltosa es sólo del 50 %, siendo el resto una dextrina β -límite de gran peso molecular.

Como la β -amilasa produce maltosa, se llama enzima sacarificante. La mezcla de α - y β -amilasas, degrada el almidón muy rápidamente y más completamente que con cualquiera de ellas solas. Por cada ruptura que produce la α -amilasa, se genera un nuevo extremo no reductor que puede ser atacado por la β -amilasa.

La mezcla de las dos enzimas, no degrada por completo el almidón, ya que ninguno de ellos puede romper los enlaces glucosídicos α -1,6 presentes en la amilopectina.

A diferencia de la α -amilasa, la β -amilasa se encuentra en los granos de cereal sanos e intactos. En general su nivel no aumenta mucho con la germinación. El pH óptimo para la α -amilasa es de 4,5 y el de la β -amilasa, ligeramente superior. La β -amilasa es más susceptible a la inactivación por el calor, que la α -amilasa.

2.2.6.2.- Proteasas

Las proteasas o proteinasas se encuentran en los cereales maduros y sanos; no obstante, sus niveles de actividad son relativamente bajos.

2.2.6.3.- Lipasas

Estas enzimas existen en todos los cereales en concentraciones diversas. La actividad lipásica tiene importancia porque los ácidos grasos libres son más susceptibles al enranciamiento oxidativo que los mismos ácidos grasos en el triglicérido. Los ácidos grasos libres suelen comunicar un sabor jabonoso al producto. El aumento de los ácidos grasos libres observable durante el almacenamiento de la harina se debe también a las lipasas procedentes del metabolismo de los microorganismos presentes en la harina que son inactivadas por tratamiento térmico y de este modo se evita el deterioro de la calidad.

2.2.6.4.- Fitasa

La fitasa es una esterasa que hidroliza el ácido fítico. El ácido fítico es ácido inositol hexafosfórico; la enzima lo transforma en inositol y ácido fosfórico libre. Un 70 – 75 % del fósforo de los cereales, se presenta al estado de ácido fítico, del cual se cree que forma un quelato con iones divalentes que evita que sea absorbido en el tracto intestinal. Por esta razón la actividad enzimática resulta importante ya que convierte un producto desventajoso en inositol (una vitamina del complejo B), y nutrientes.

2.2.7.- Minerales

Estos constituyentes se localizan, en su mayor parte, en el pericarpio. Los más importantes son: calcio, fósforo, hierro, magnesio y potasio. Una parte importante del fósforo presente se encuentra combinado con el mio-inositol, formando el ácido fítico, cuyas sales de calcio y magnesio constituyen la fitina. Estos compuestos se combinan con numerosos iones, disminuyendo drásticamente la asimilación de los mismos.

2.2.8.- Vitaminas

El trigo es una importante fuente de vitaminas del grupo B y de vitamina E.

3.- Molienda del trigo

La molienda del trigo tiene por objeto separar el endospermo del salvado y del germen y reducirlo a harina. Esto se realiza mediante molinos de rodillos o cilindros, que desgarran y trituran el grano, siendo esta acción diferente sobre el endospermo, el salvado y el germen, lo que permite su separación por medio de tamices y separadores de aire.

El proceso de molienda se divide en cuatro etapas principales:

- Recepción y almacenamiento del grano.
- Limpieza y acondicionamiento del grano de trigo.
- Molienda del trigo y producción de harinas y subproductos.
- Envasado, almacenamiento y expendio.



3.1.- Recepción y almacenamiento del grano

El trigo llega al molino harinero por tren o por camión. A su llegada es analizado y clasificado en el laboratorio de control de calidad según alguna característica de calidad (por ejemplo: humedad, gluten húmedo, etc.) para ser almacenado en distintos silos.

3.2.- Limpieza y acondicionamiento del grano

3.2.1.- Limpieza

El grano de trigo contiene distintas cantidades de impurezas de diferente tipo y tamaño. El objetivo de la limpieza es reducir al mínimo estas impurezas. Para ello se utilizan diversos equipos, casi todos ellos basados en las diferencias de densidad y tamaño entre el trigo y las impurezas. Los más usados son los siguientes:

- Separadores por tamaño: Consta de tamices de diferente tamaño que separan todas aquellas impurezas cuyo diámetro sea distinto al del trigo.
- Separadores por densidad: Separa impurezas del mismo tamaño del trigo. Consiste en una corriente de aire que circula entre el trigo pudiéndose separar, de acuerdo a la intensidad de esta corriente, impurezas de mayor o menor densidad que el trigo.
- Separadores de discos: Realiza la separación por diferencia de volumen. Consiste en una serie de discos de acero colocados próximos uno de otro en posición vertical y encerrados en una caja metálica bien cerrada. Las superficies de los discos tienen centenares de bolsillos, los cuales pueden tener diferente forma según la separación deseada. Cada disco está equipado con tres paletas en la parte central que operan de la misma manera que una rosca, transportando el cereal de disco a disco hasta el final de la máquina. Existe una salida para los productos levantados por los discos y otra para el resto del producto.

- **Despuntador:** El grano de trigo pasa por una corriente de aire en forma centrífuga que hace girar el trigo y provoca el golpe de este contra una malla metálica fija. El golpe contra esta malla le hace perder la suciedad adherida. La intensidad de la corriente de aire debe ser controlada para no dañar mecánicamente el grano.

3.2.2.- Acondicionamiento

El acondicionamiento consiste en añadir agua al grano seco por medio de un pulverizador y dejarlo reposar durante un periodo de tiempo, antes de molerlo. El atemperado tiene dos funciones principales:

- Poner correoso el salvado para que se resista a ser dividido en pequeños trozos durante la molturación.
- Ablandar o suavizar el endospermo para facilitar la molturación.

La cantidad de agua que se añade al trigo varía, dependiendo del contenido acuoso y dureza del grano. El tiempo que se concede para que el agua penetre en el grano, también varía con la dureza del mismo. El trigo blando necesita tiempos mucho más cortos para el atemperado que el trigo duro. La incorporación de agua al grano provoca que se abran las células cruzadas y tubulares, los pequeños capilares expuestos retienen el agua muy fuertemente. Con el tiempo, el agua penetra por la región dorsal del grano y finalmente por la zona del surco. La difusión desde el salvado, se produce en todas las zonas del grano. La velocidad de absorción del agua, varía con las diferentes variedades, pero la forma de absorción es esencialmente la misma.

El tiempo necesario para alcanzar el equilibrio varía desde 6 horas para el grano blando con bajo valor proteico, hasta más de 24 horas para el grano duro, vítreo con alto valor en proteínas.

El salvado con alto contenido de humedad, tiende a permanecer en trozos grandes durante la molturación, facilitando su separación.

El efecto del agua en el endospermo es ablandarlo, por lo que facilita la trituración. El agua debilita el enlace proteína-almidón, que es el responsable de la dureza del grano.

3.3.- Molienda

La molturación del grano de trigo se realiza en molinos de cilindros en un proceso de reducción gradual.

La molturación en molinos de rodillos, se realiza entre una pareja de rodillos que giran en sentido opuesto. En el entrehierro (donde los dos rodillos se aproximan entre sí), las dos superficies llevan la misma dirección. Los dos rodillos funcionan con velocidades distintas, girando el más rápido, generalmente, a dos veces y media la velocidad del más lento. Así, además de la acción de compresión al pasar una partícula suficientemente grande por el estrecho espacio entre los dos rodillos, hay una acción de corte a causa de la diferencia de velocidades de ambos rodillos.

En el proceso de molienda el primer objetivo es la separación del salvado y el germen del endospermo. Esto se consigue en su mayor parte en el sistema de fragmentación del molino. Después de hacer la separación, el objetivo siguiente es reducir el endospermo a la finura de la harina. Esto se consigue con el sistema de reducción.

El sistema de fragmentación se compone de cuatro o cinco juegos de rodillos. El número de estrías por pulgadas, varía desde 10-12 para el primer par de rodillos hasta 28-32 en el cuarto o quinto. La acción de un juego de rodillos break puede describirse de la siguiente manera: en las estrías del rodillo lento queda retenido el grano en el surco, mientras está siendo rascado por el rodillo rápido en el lado opuesto; en las primeras fragmentaciones, el endospermo se separa en trozos más bien grandes, y en las últimas, la acción es más de raspo del salvado.

Cada juego de rodillos es seguido por un sistema de separación. El producto es apartado por tamices que pueden llegar hasta 12. Las piezas grandes de salvado, que llevan cantidades considerables de endospermo, se envían al break siguiente; las partículas de otros tamaños, pueden enviarse a los purificadores y después a los rodillos de reducción.

En cada rodillo break se produce una pequeña cantidad de harina. Las partículas de endospermo de tamaño mediano, que contienen partículas de salvado, se pasan por un purificador.

El purificador es esencialmente un tamiz inclinado que se va haciendo, de cabeza a cola, cada vez más grueso. Mientras el tamiz oscila, se hace pasar través una corriente de aire en sentido ascendente, haciendo que el producto se estratifique. Las partículas ligeras de salvado son eliminadas por el aire y los trozos de endospermo son calibrados y enviados a los diferentes rodillos de reducción.

Los rodillos de reducción son lisos, en lugar de estriados. El objetivo del sistema de reducción es reducir las partículas de tamaño mediano a finura de harina, y eliminar las últimas partículas de salvado y germen que puedan quedar. Tras cada paso de molturación, se criba el producto, se separa la harina y las partículas más gruesas son enviadas a los rodillos de reducción apropiados. Tras los rodillos de reducción también se utilizan purificadores, principalmente para clasificar por tamaños.

4.- Calidad del procesamiento del trigo

La calidad, en relación a la bondad del pan, primitivamente era apreciada por la estructura del grano. Se suponía que a un grano duro vítreo correspondía un trigo fuerte, existiendo además cierta relación entre la fuerza del trigo y el contenido de gluten. Los trigos de grano almidonoso o blandos eran considerados flojos en la panificación, por su menor contenido en gluten.

El concepto de que a mayor cantidad de gluten se obtienen mejores harinas para panificar es equivocado si no se lo asocia con la calidad del mismo. Un trigo duro o fuerte, no sólo debe tener elevado contenido de gluten, sino que éste debe ser de buena calidad.

A fin de obtener productos de calidad deseada, es necesario utilizar una harina de propiedades panarias óptimas.

La calidad panaria del trigo está fuertemente influenciada por la variedad y por las condiciones de desarrollo y cultivo (clima, localización, etc.); como así también por las condiciones y duración del almacenamiento de la harina.

En general, las principales características que debe reunir una harina para que el pan resulte de buena textura y volumen óptimo son:

- Contener azúcares en cantidad suficiente y una actividad diastásica adecuada para producir durante la fermentación una reserva de azúcares que aseguren una producción continua de gas, para que la masa se distienda completamente.
- Las proteínas de la masa deben ser suficientes en cantidad, y de calidad lo bastante buena, para lograr la máxima retención del gas producido. La cantidad y calidad del gluten determinan las propiedades físicas de la masa. Muchos trigos contienen poco gluten, mientras en otros, éste puede ser de calidad deficiente.
- La masa debe estar en su punto de maduración en el momento del horneado, y la cocción debe practicarse en condiciones adecuadas.

El molinero mezcla distintas calidades de trigo para lograr harinas con determinada proporción de gluten de comportamiento conocido, a fin de que el panadero pueda elaborar siempre la misma calidad de pan.

Cada variedad de trigo tiene características cualitativas propias que varían por la influencia del suelo y del clima. La distinción de variedades de tipo duro, semiduro y blando está asociada por las diferentes calidades de gluten. La mejor calidad corresponde al tipo duro; en éste el gluten se caracteriza por su «fuerza», que asegura una mayor estabilidad de la masa. Puede ser utilizado, en consecuencia, para mejorar hasta el punto deseado la calidad de la harina de los trigos blandos o flojos. El valor corrector de los trigos duros se debe a que se los utiliza generalmente en mezcla con trigos flojos.

Le siguen en calidad los semiduros, que constituyen la base de las mezclas en los molinos, razón por la cual se los llama de relleno. Estos trigos son más apropiados para la panificación directa y rápida.

Los trigos blandos son de estructura blanda y harinosa y el gluten es de calidad mediocre. Se utilizan principalmente en pastelería y para la confección de galletitas.

4.1.- Principales parámetros de calidad del grano de trigo

4.1.1.- Peso hectolítrico

Es uno de los criterios más ampliamente usados para determinar la calidad del trigo. Esta prueba da una idea del contenido de humedad, porcentaje de impurezas y rendimiento en potencia de harina de trigo. Cuanto mayor es este valor, mejor es el rendimiento de la molienda.

El peso hectolítrico se ve afectado por:

- La gravedad específica individual de los granos (trigos con una gravedad específica alta tienen también un peso hectolítrico alto).
- Contenido de humedad: La presencia de agua hace que los granos se hinchen, reduciendo de esta forma la cantidad de granos que pueden entrar dentro del cilindro de ensayo. Cuanto más humedad tenga el grano más bajo va a ser el peso hectolítrico (el agua posee una gravedad específica más baja que la del grano).
- Forma del grano: Cuanto más espacios existan entre los granos, menor será el peso hectolítrico.
- Espesor de la corteza: La gravedad específica de la corteza o afrecho es aproximadamente 1,2 comparado con 1,5 del endospermo. Por lo tanto, cuanto más gruesa es la corteza o cáscara del grano más bajo será el peso hectolítrico.
- Porcentaje de impurezas: Muchas impurezas pequeñas y livianas disminuyen el peso hectolítrico, dado que éstas impiden que el trigo sea agrupado en forma compacta.

4.1.2.- Peso

Generalmente se expresa como peso de 1000 granos. Es una función del tamaño y la densidad del grano. A mayor peso, obtenemos mayor rendimiento industrial. Los granos grandes son más densos y dan una relación mayor de componentes endospermicos a no endospermicos que los granos pequeños (granos menos densos).

4.1.3.- Tamaño y forma

Es el criterio que mejor se adapta para predecir el rendimiento industrial. Cuanto más grande y redondo es el grano, mejor es el rendimiento industrial.

4.1.4.- Dureza

La dureza está relacionada con la resistencia mecánica a la rotura. La dureza depende del tipo de proteínas del grano. A mayor dureza se necesita mayor energía para la molienda. Estos ensayos se realizan para estimar la energía necesaria para la molienda.

4.1.5.- Color

Está relacionado con los pigmentos del afrecho. Desde el punto de vista del color, el trigo se clasifica en rojo y blanco. Las variaciones de color se deben frecuentemente a factores del medio ambiente. El color no tiene efecto sobre la funcionalidad del producto, tiene solo un efecto estético. El trigo rojo pertenece a las variedades predominantes producidas en América del Norte, América del Sur, Europa y parte de Asia. El trigo blanco se produce en Australia, India y Pakistán. En Argentina sólo hay trigo rojo.

4.1.6.- Granos dañados

El trigo puede dañarse de varias formas, ya sea en el campo antes, durante o después de la cosecha, por operaciones de secado artificiales o durante el posterior almacenaje o manipulación.

4.1.7.- Humedad

En la mayoría de las industrias de alimentación, la humedad se suele determinar a diario. Existen para esto varias razones, principalmente las siguientes:

- El comprador de materias primas no desea adquirir agua en exceso.
- El agua, si está presente por encima de ciertos niveles, facilita el desarrollo de microorganismos.
- Los materiales pulverulentos se aglomeran en presencia de agua.
- La humedad del trigo debe ajustarse adecuadamente para facilitar la molienda.
- La cantidad de agua presente puede afectar la textura.
- La determinación del contenido de agua representa una vía sencilla para el control de las distintas etapas de la fabricación de alimentos.

A veces, es difícil la determinación exacta del contenido total en agua. En la práctica es suficientemente apropiado cualquier método que proporcione una buena repetibilidad con resultados comparables, siempre que ese mismo procedimiento se siga estrictamente en cada ocasión.

4.1.8.- Proteínas

Su contenido varía entre 7 y 18 % (según la variedad y las condiciones ambientales). Internacionalmente es un criterio muy importante. El método utilizado para su análisis es el método de Kjeldahl. En la práctica es común la medición del contenido de gluten (forma indirecta de medir las proteínas insolubles) del grano por medio del equipo denominado Glutomatic.

4.1.9.- Molienda experimental

Es una práctica industrial muy extendida. Se usan molinos experimentales para predecir el rendimiento y calidad del producto final. Es la simulación del proceso completo.

Esta operación se explicará exhaustivamente en la sección «Materiales y Métodos».

5.- Harina de trigo

5.1.- Definición según el CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO

El término harina se usa generalmente para describir cualquier sustancia comestible en forma de polvo. De todos los cereales utilizados para la elaboración de harinas, el trigo es por lejos el más versátil. Los otros cereales son molidos y utilizados frecuentemente en cocina, pero como no dan masas viscoelásticas no son apropiados para elaborar productos horneados como el pan y las tortas, salvo mezclados con harina de trigo. Para la mayoría de la gente harina significa harina de trigo.

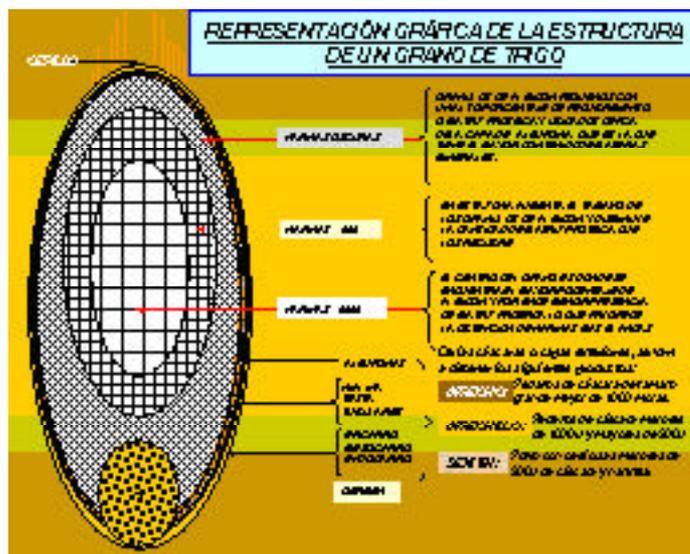
Según el artículo 661 del Código Alimentario Argentino (CAA); con la denominación de harina, sin otro calificativo, se entiende: el producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo que responda a las exigencias de éste. Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0), medio cero (medio 0), harinilla de primera y harinilla segunda, corresponderán a los productos que se obtienen de la molienda gradual y metódica del endosperma en cantidad de 70 – 80 % del grano limpio.

Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativo anteriormente mencionados deberán responder a las siguientes características:

HARINA TIPO	HUMEDADg / 100 g Máximo	CENIZASg / 100 g Máximo	ABSORCIÓNml / 100 g	VOLUMEN DEPAN Mínimo
0000	15,0	0,492	56 – 62	550
000	15,0	0,65	57 – 63	520
00	14,7	0,678	58 – 65	500
0	14,7	0,873	60 – 67	475
½ 0	14,5	1,350		

- La humedad será determinada en condiciones tipificadas a 130 ° C durante 1 hora.
- Las cenizas serán determinadas a 900 – 920° C y calculadas sobre producto seco, admitiéndose una tolerancia de hasta el 3 % sobre los valores establecidos.
- Por absorción de agua se entiende la cantidad de agua que absorben 100 g de harina.
- Por volumen de pan se entiende el volumen de pan que se obtiene con 100 g de harina.

HARINILLA TIPO	HUMEDAD g / 100 g Máximo	CENIZAS g / 100 g Máximo	TAMIZADO
Primera	14,5	1,35 – 2,00	50, 60 y 80 sin residuo
Segunda	14,5	2,00 – 3,00	50 y 60 8 hasta 10 %



5.2.- Humedad

El contenido de humedad de las harinas según el CAA se expresa en base húmeda y varía entre 14,5 y 15,0 %.

5.3.- Cenizas

El contenido de cenizas es uno de los parámetros fundamentales para la tipificación comercial de las harinas comerciales.

5.4.- Gluten

Entre las harinas de cereales, solamente la de trigo tiene la habilidad de formar una masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso. Esta capacidad se atribuye fundamentalmente a las proteínas del trigo, y más concretamente a las proteínas que conforman el gluten.

El complejo gluten, está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina).

Las gliadinas son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares. Su peso molecular medio es de unos 40.000 Dalton, son de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la cohesión de la masa.

Las gluteninas son un grupo heterogéneo de proteínas. Son de cadenas ramificadas y su peso molecular oscila entre unos 100.000 Dalton y varios millones. Físicamente la proteína es elástica, pero no cohesiva. La glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión.

Las proteínas del gluten no tienen básicamente potencial de cargas negativas, solamente poseen bajos niveles de cargas de potencial positivo. Estos bajos niveles de cargas hacen que las fuerzas de repulsión dentro de la proteína sean pequeñas y por tanto las cadenas proteicas pueden interactuar entre sí muy fácilmente, condición necesaria para la formación de la masa.

La determinación del valor del gluten puede aplicarse para el seguimiento de la calidad de la harina, permitiendo evaluar la cantidad y calidad del gluten de trigo en diferentes etapas de la cadena industrial, tales como selección de semillas, producción de trigo, molinería, panificación, fabricación de gluten seco (gluten vital) y producción de almidón; tanto para el control de materia prima como para el seguimiento del proceso.

El volumen de pan y la absorción de agua están relacionados con la cantidad y calidad del gluten. Generalmente las harinas con mayor contenido en gluten dan mayor volumen en panificación.

5.5.- Absorción de agua

La absorción de agua es de fundamental importancia en panificación (cuanto más absorba una harina más cantidad de pan se podrá elaborar con el mismo peso de harina), depende principalmente de la calidad del gluten.

5.6.- Actividad de α -amilasa

La actividad α -amilásica es muy importante para la provisión de azúcares libres para la levadura y como consecuencia el levado correcto de la masa. La levadura ataca primero los azúcares libres y después los disacáridos como la maltosa, generando una gran cantidad de dióxido de carbono; si la red de gluten no es lo suficientemente fuerte para soportar esta presión el pan pierde volumen. También se obtienen panes de miga pegajosa debido a la presencia de los azúcares libres que no absorben agua en la misma proporción que el almidón.

5.7.- Generación de dióxido de carbono

El leudado de una masa de harina es provocado por dos fenómenos principales: La multiplicación de la levadura con producción de CO_2 y la retención del gas en el seno de la masa. En la harina deben estar presentes los elementos que aseguren la nutrición de la levadura y poseer las cualidades plásticas que le permitan retener el gas en alvéolos de paredes delgadas e impermeables.

La calidad del pan obtenido depende del estado óptimo de la masa en el momento de su moldeo y horneado. Durante esta etapa tan importante, el desarrollo final está dado por la producción de gas y la retención del mismo por la masa. Si estas operaciones se efectúan prematuramente, darán por resultado un pan de desarrollo insuficiente. Efectuadas con posterioridad al punto óptimo, el resultado será un pan chato y desarmado.

5.8.- Otras propiedades

Además de la importancia del agua, gluten y actividad α -amilásica, son fundamentales otras propiedades relacionadas con el comportamiento reológico de las harinas, tales como:

- La resistencia de una pasta al estirado (extensibilidad y fuerza necesaria para provocar el desgarramiento de la masa).
- El grado de sedimentación de una harina suspendida en una solución de ácido láctico, que se toma como una medida de la calidad panadera.
- La formación de alveolos son una guía de las características de panificación de la harina.

Materiales y métodos

1.- Materiales

Se trabajó con una muestra de 300 kg de trigo pan comercial (*triticum aestivum*) cosecha 2001/2002 provista por el molino Trigalia, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

La muestra de trigo fue recibida en condiciones óptimas de limpieza para su posterior acondicionamiento y procesamiento.

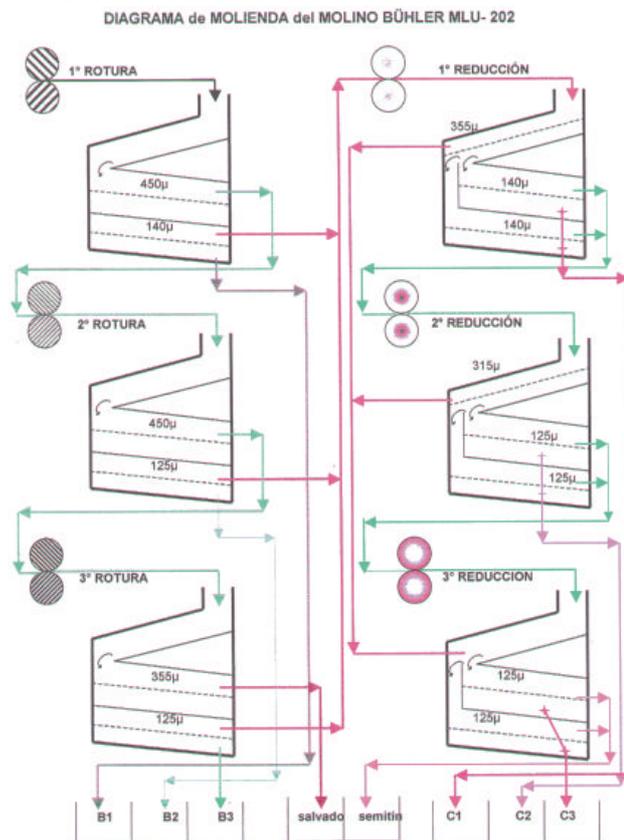
2.- Métodos

2.1.- Acondicionamiento del grano

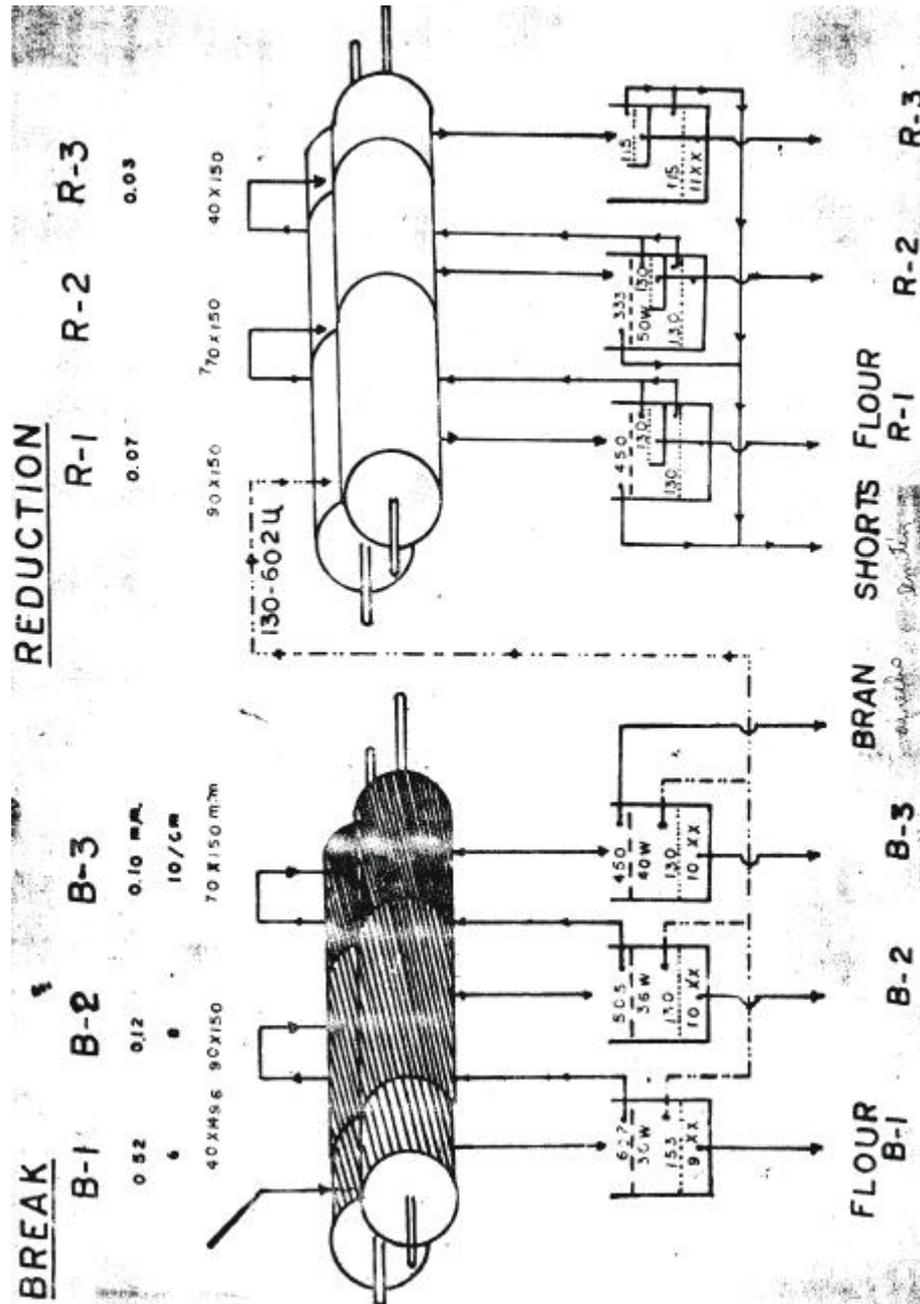
El grano de trigo recibido del molino TRIGALIA fue acondicionado para su molienda. El procedimiento adaptado fue rociar lotes de granos con agua con el objetivo de elevar su contenido a un valor de 15,5%. Luego se los dejó en reposo durante 24 hs, según Norma IRAM 15854.

2.2.- Molienda

La molienda se realizó según la Norma IRAM 15854, en un molino Bühler – MLU 202.



Obteniéndose 6 fracciones de harina denominadas B1; B2; B3; C1, C2 y C3



† **Cilindros de rotura**

Los cilindros de rotura tienen como objetivo separar el salvado del endospermo lo más eficazmente posible, para ello cuentan con estrías y velocidades diferentes.

El molino Bühler MLU -202 consta de tres pares de cilindros de rotura.

El primer par (más luz y menos estrías), fractura el grano de trigo produciendo partículas grandes de salvado con endospermo fuertemente adherido y partículas pequeñas de salvado y endospermo del centro del grano.

La fracción B1 es la harina que logra pasar por los tamices de 450 μ y 140 μ. Está formada principalmente por endospermo del centro del grano y partículas pequeñas de salvado. Corresponde a una harina 000.

Los fragmentos del grano que no pasan por el tamiz de 450 μ son guiados por un flujo de aire al segundo banco de cilindros de rotura, que posee una densidad de estrías mayor y la luz entre los cilindros es menor.

El segundo par de cilindros raspa los fragmentos de grano de trigo con el fin de separar el endospermo del salvado. En dicho proceso también fractura el salvado.

La fracción B2 es la harina que logra pasar por los tamices de 450 μ y 125 μ del segundo banco de rotura. Debido a que el segundo tamiz posee una abertura menor al segundo tamiz del primer par (125 μ y 140 μ respectivamente), la fracción de harina B2 sigue correspondiendo a una harina 000.

Los fragmentos del grano que no pasan por el tamiz de 450 μ del segundo banco de rotura son guiados por el flujo de aire al tercer banco de rotura que posee una densidad de estrías mayor que el segundo y una luz entre los cilindros menor.

En esta etapa se extrae el resto del endospermo que se encuentra adherido a las partículas de salvado, al mismo tiempo que se fractura más salvado. Por tal motivo, la fracción de harina que logra pasar los tamices de 355 μ y 125 μ (fracción de harina B3) tiene un alto contenido en salvado y corresponde a una harina $\frac{1}{2}$ 0.

El salvado que se obtiene en el proceso de molienda del molino Bühler MLU-202 corresponde a las partículas de grano que no logran atravesar el tamiz de 355 μ del tercer banco de rotura.

† Cilindros de reducción

El objetivo de los cilindros de reducción, tal como lo indica la palabra, es reducir las partículas de tamaño mediano a finura de harina, como así también eliminar las últimas partículas de salvado y germen que puedan quedar.

Los fragmentos que no logran atravesar los segundos tamices de los tres cilindros de rotura son guiados por el sistema neumático a los cilindros de reducción. En su recorrido se mezclan las tres fracciones de cada uno de los bancos de rotura; conformando una única muestra, la cual es sometida al proceso de reducción.

El molino Bühler MLU –202 consta de tres pares de cilindros de reducción

La fracción C1 de harina es la que proviene del primer par de cilindros de reducción y logra pasar por los tamices de 355 μ y 140 μ . Corresponde a una harina 0000. Es la harina más blanca de todas las fracciones obtenidas (con el menor contenido de salvado).

La fracción de harina que no logra atravesar el tamiz de 140 μ es guiada a través de un flujo de aire al segundo banco de reducción, el cual reduce más la harina, pero al mismo tiempo tritura más el salvado. El segundo par de cilindros de reducción consta de dos tamices, uno de 315 μ y el otro de 125 μ . La fracción C2 corresponde a la harina que logra atravesar ambos tamices. Esta fracción corresponde a una harina 0.

La fracción de harina que no logra atravesar el tamiz de 125 μ es guiada al tercer y último banco de reducción. El tercer par de cilindros consta de un tamiz de 125 μ .

La fracción de harina que no logra pasar el tamiz de 355 μ del primer ciclo de reducción junto con la fracción de harina que no logra atravesar el tamiz de 315 μ del segundo ciclo de reducción es guiada a los tamices del tercer ciclo de reducción (tamiz de 125 μ).

La fracción C3 de harina es la harina que logra atravesar el tamiz de 125 μ del tercer ciclo de reducción. Corresponde a una harina $\frac{1}{2}$ 0.

El semitín es la fracción que no logra atravesar el tamiz de 125 μ del tercer ciclo de reducción.

2.3.- Maduración de la harina

Con el fin de trabajar con harinas con características panarias (no harinas «calientes»), se procedió a almacenar las diferentes fracciones de harina obtenidas en el molino experimental durante un período de 30 días en un ambiente de condiciones controladas (23°C y HR entre 60 y 70%).

2.4.- Determinaciones experimentales

Para determinar las características de las diferentes fracciones de harina obtenidas en el molino Bühler se realizaron los siguientes ensayos:

- Humedad (según Norma IRAM 15850)
- Cenizas (según Norma IRAM 15051)
- Contenido de gluten (según Norma IRAM 15964)
- Actividad de alfa-amilasa (según Norma IRAM 16862)
- Índice de sedimentación, Zeleny (según Norma IRAM 15875)
- Absorción de agua y propiedades reológicas, Farinograma (según Norma IRAM 16855)
- Capacidad de retención de dióxido de carbono, Alveograma (según Norma IRAM 16857)
- Control de fermentación, Zymotaquigrama (Método del fabricante)
- Producción de pan de molde (Método de EL-DASH)

Las normas utilizadas para cada una de estas determinaciones se encuentran en el **ANEXO**.

Resultados y discusión

1.- Resultados de la molienda del grano de trigo

1.1.- Tipo de harina obtenidos

En este trabajo se tomó como parámetro determinante de la tipificación según el CAA de las diferentes fracciones de harina obtenidas, el contenido de cenizas.

Las diferentes fracciones de harina obtenidas en el molino experimental son:

Fracción	Tipo de harina
B 1	000
B 2	000
B 3	½ 0
C 1	0000
C 2	0
C 3	½ 0

Ninguna de las fracciones correspondió al tipo 00.

Atendiendo a las necesidades del cliente, un molino puede realizar la formulación de harinas comerciales tan diferentes como las destinadas a galletas o a pan lactal, mezclando proporciones definidas de cada una de estas fracciones.

1.2.- Rendimiento en fracciones

El rendimiento global en harinas del molino experimental fue de 68,8%. El rendimiento en fracciones fue de:

Fracción	Rendimiento(%)	Tipo de harina
B 1	11,3	000
B 2	15,0	000
B 3	2,7	½ 0
C 1	63,1	0000
C 2	6,5	0
°C 3	1,4	½ 0

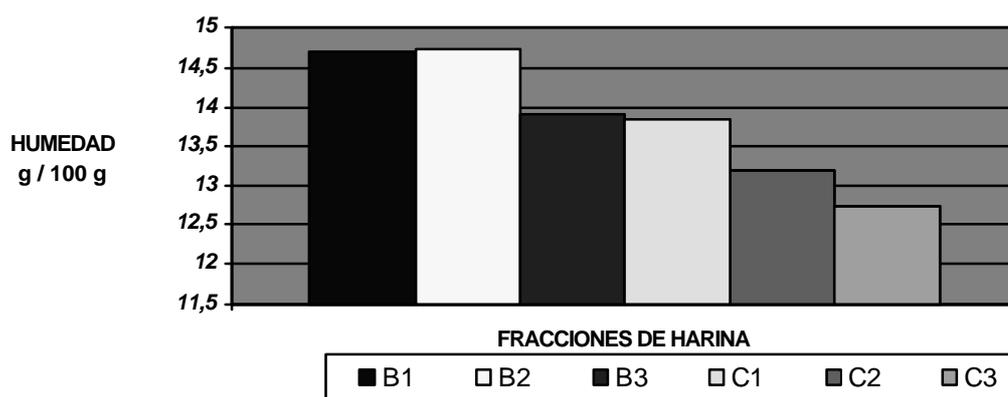
El mayor porcentaje correspondió a una harina de tipo 0000, mientras que el menor correspondió a una harina tipo 1/2 0.

2.- Resultados de los ensayos realizados

2.1.- Contenido de humedad

El grano fue recibido con un contenido de humedad de 12,74%. En el acondicionamiento se lo llevó a 15,5%. Estas muestras fueron procesadas y las diferentes fracciones obtenidas mostraron los siguientes resultados, expresados en gramos de agua por 100 gramos de muestra:

MUESTRA	HUMEDAD (g/100 g)
FRACCION B1	14,70
FRACCION B2	14,72
FRACCION B3	13,91
FRACCION C1	13,83
FRACCION C2	13,19
FRACCION C3	12,75



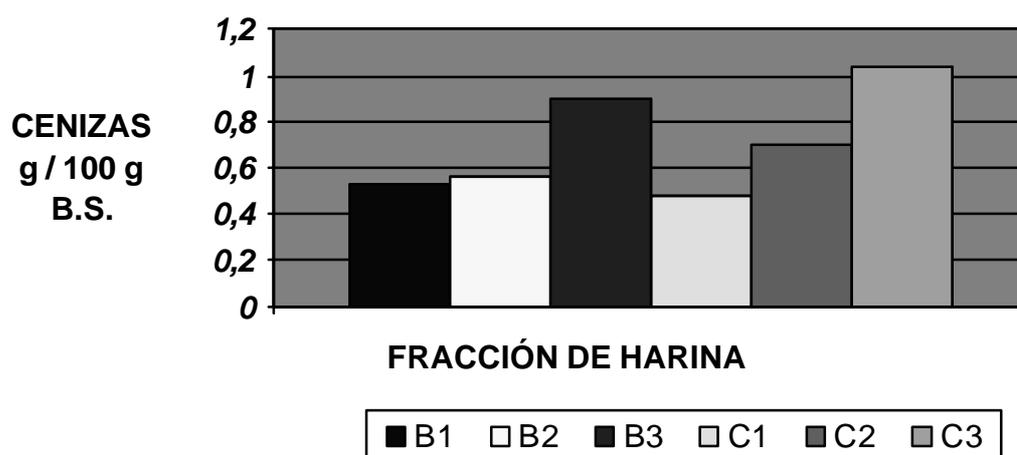
Aunque la fracción B 2 muestra un contenido de humedad levemente superior a la fracción B 1, la humedad de las mismas pueden considerarse prácticamente iguales debido al error que acepta el método experimental (diferencia máxima de 0,15 g de agua por 100 g de muestra).

Las restantes fracciones muestran una disminución gradual de la humedad. Esto es debido a la fricción en los cilindros de rotura y reducción, como así también al efecto de secado producido en el transporte neumático.

2.2.- Contenido de cenizas

La siguiente tabla muestra el resultado de la determinación de cenizas de las diferentes fracciones de harina. Cabe mencionar aquí que el contenido de cenizas fue considerado el parámetro por el cual se tipificaron, de acuerdo al CAA, las harinas obtenidas.

MUESTRA	CENIZAS (g / 100 g) B.S.
FRACCIÓN B1	0,528
FRACCIÓN B2	0,569
FRACCIÓN B3	0,906
FRACCIÓN C1	0,476
FRACCIÓN C2	0,705
FRACCIÓN C3	1,043



Tal como se observa en la tabla y el gráfico, el contenido de cenizas aumenta de B1 a B3 y de C1 a C3, generando harinas de diferentes tipos.

† Análisis de la acción de los cilindros de rotura

Al aumentar la extracción de endospermo de las partes periféricas del grano también aumenta la fragmentación de las partículas de salvado y por consiguiente el contenido de cenizas.

Se observa que la fracción B1 no difiere mucho de la fracción B2. Esto se debe a que la harina de la primera rotura está más expuesta a las impurezas que pueden haber quedado en el grano de trigo, especialmente en el surco. A partir de la segunda rotura (fracción B2) el contenido de cenizas aumenta claramente.

† Análisis de la acción de los cilindros de reducción

Estos cilindros tienen como finalidad reducir las partículas finamente. A medida que la harina va pasando a través de los sucesivos bancos de reducción se generan partículas más pequeñas de endospermo y también de salvado que no puede ser retenido por los tamices.

La harina más blanca, es decir la de más bajo contenido de cenizas se obtiene en el primer par de cilindros de reducción, también llamados «cabeza del molino».

Las tablas siguientes clasifican las diferentes fracciones de harina obtenidas según el CAA, en base al contenido de cenizas:

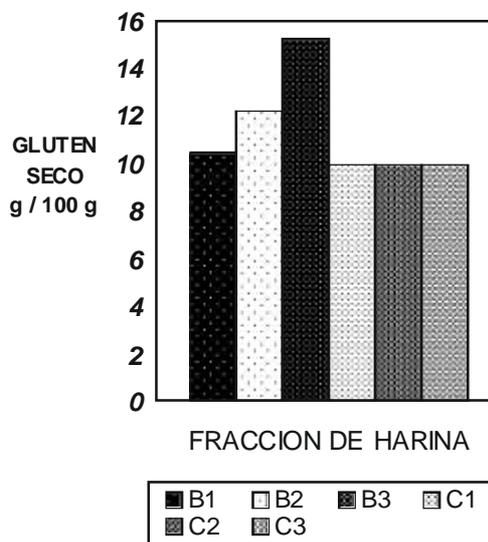
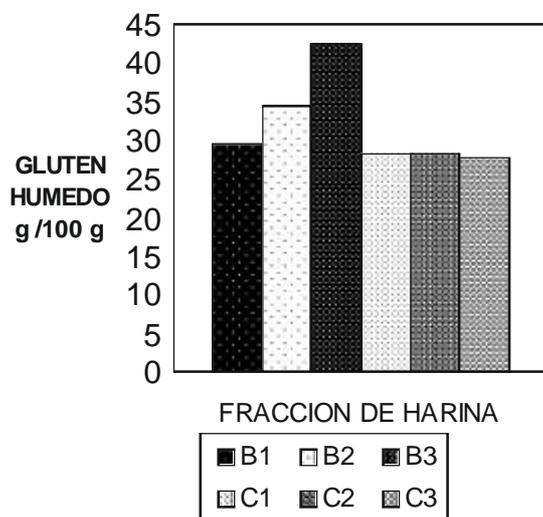
MUESTRA	CENIZAS B.S. (g/100g)	HARINA TIPO (Según CAA)
FRACCIÓN B1	0,528	000
FRACCIÓN B2	0,569	000
FRACCIÓN B3	0,906	½ 0

MUESTRA	CENIZAS B.S. (g/100g)	HARINA TIPO (Según CAA)
FRACCIÓN C1	0,476	0000
FRACCIÓN C2	0,690	0
FRACCIÓN C3	1,043	½ 0

2.3.- Contenido de gluten

Se realizaron las determinaciones de gluten húmedo y gluten seco de las fracciones de harina obtenidas. Los resultados se detallan a continuación:

MUESTRA	GLUTEN HUMEDO (g/100g) base 14%	GLUTEN SECO (g/100g) base 14%
FRACCIÓN B1	29,6	10,4
FRACCIÓN B2	34,5	12,2
FRACCIÓN B3	42,5	15,2
FRACCIÓN C1	28,2	9,9
FRACCIÓN C2	28,3	9,9
FRACCIÓN C3	27,6	9,9



El contenido de gluten húmedo y seco se incrementa sustancialmente en las fracciones B y permanece prácticamente constante en las fracciones C.

El contenido de proteína del grano de trigo aumenta del centro a la periferia del grano y como consecuencia la formación de gluten durante el amasado. La acción de cada uno de los rodillos del molino experimental se explica:

‡ **Análisis de la acción de los cilindros de rotura**

El aumento significativo de gluten de las diferentes fracciones de harina de los cilindros de rotura evidencian claramente de que parte del grano provienen. La fracción B1 es la que menor contenido de gluten contiene (harina proveniente del centro del grano con alto porcentaje de almidón), le sigue la fracción B2 y por último la fracción B3, que posee el mayor contenido de gluten (gránulos de almidón pequeños con un alto porcentaje de recubrimiento o matriz proteica). Este resultado se observa tanto para el gluten húmedo como para el seco.

‡ **Análisis de la acción de los cilindros de reducción**

El resultado de gluten húmedo en las fracciones de reducción prácticamente se encuentra dentro del error aceptado por el método.

En las tres fracciones de harina obtenidas en los cilindros de reducción el contenido de gluten seco es el mismo. Esto se debe a que se parte de una misma muestra proveniente de los cilindros de rotura (los fragmentos que no logran pasar los segundos tamices de los cilindros de rotura son guiadas por el sistema neumático a los cilindros de reducción).

2.4.- Actividad de alfa-amilasa (Número de caída, Falling number)

La actividad alfa-amilásica tiene una gran influencia sobre la calidad de los productos horneados, pastas y fideos. La alfa-amilasa es una enzima natural en el grano.

El método FN es el estándar mundial para medir la actividad de esta enzima en trigo y en las harinas de dichos granos. La harina producida a partir de granos germinados dará un valor de número de caída muy bajo.

Con número de caída entre 140 – 180 s, es difícil la panificación (trigos germinados). La actividad enzimática es muy importante, con la consiguiente producción de gran cantidad de azúcares libres, que en panificación genera una alta cantidad de CO₂. Si la red de gluten no es lo suficientemente fuerte para soportar esta presión el pan pierde volumen, se obtienen panes de miga pegajosa debido a la presencia de los azúcares libres, que no absorben agua en la misma proporción que el almidón.

Números de caída entre 200 y 300 s, representan trigos sin germinación (actividad amilásica normal).

A partir de número de caída de 300 s, se consideran trigos no germinados y por consiguiente baja actividad amilásica.

Con números de caída superiores a 350 s, se vuelve difícil la panificación; existe el riesgo de obtener panes con escaso volumen y miga demasiado seca.

Los resultados de este ensayo sobre las diferentes fracciones de harina obtenidas fueron:

MUESTRA	FALLING NUMBER (segundos)
FRACCIÓN B1	386
FRACCIÓN B2	382
FRACCIÓN B3	423
FRACCIÓN C1	391
FRACCIÓN C2	421
FRACCIÓN C3	402

Estos valores representan harinas con baja actividad enzimática.

Los valores de FN de las fracciones obtenidas se encuentran prácticamente dentro del 5% del valor aceptado por el método, por lo que se deduce que las amilasas se encuentran uniformemente distribuidas en todo el grano.

2.5.- Índice de sedimentación (Zeleny)

Un contenido elevado de gluten, como así también una mejor calidad del mismo, producen como resultado un índice de sedimentación mayor.

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron:

MUESTRA	ÍNDICE DE SEDIMENTACIÓN (ml)
FRACCIÓN B1	30,0
FRACCIÓN B2	36,0
FRACCIÓN B3	38,0
FRACCIÓN C1	34,0
FRACCIÓN C2	33,0
FRACCIÓN C3	19,0

‡ Análisis de la acción de los cilindros de rotura

El aumento en el contenido de gluten desde la fracción B1 a B3 es el responsable del aumento en el índice de sedimentación.

MUESTRA	ÍNDICE DE SEDIMENTACIÓN (ml)	GLUTEN SECO(g / 100 g) B14%
FRACCIÓN B1	30,0	10,4
FRACCIÓN B2	36,0	12,2
FRACCIÓN B3	38,0	15,2

‡ Análisis de la acción de los cilindros de reducción

El contenido de gluten de las fracciones de harinas obtenidas en los pasajes de reducción permanece constante, sin embargo el índice de sedimentación disminuye considerablemente de C1 a C3 debido al aumento de cenizas de las fracciones de harina: Cabe mencionar aquí que los polisacáridos no feculentos absorben grandes cantidades de agua y de este modo forman soluciones altamente viscosas.

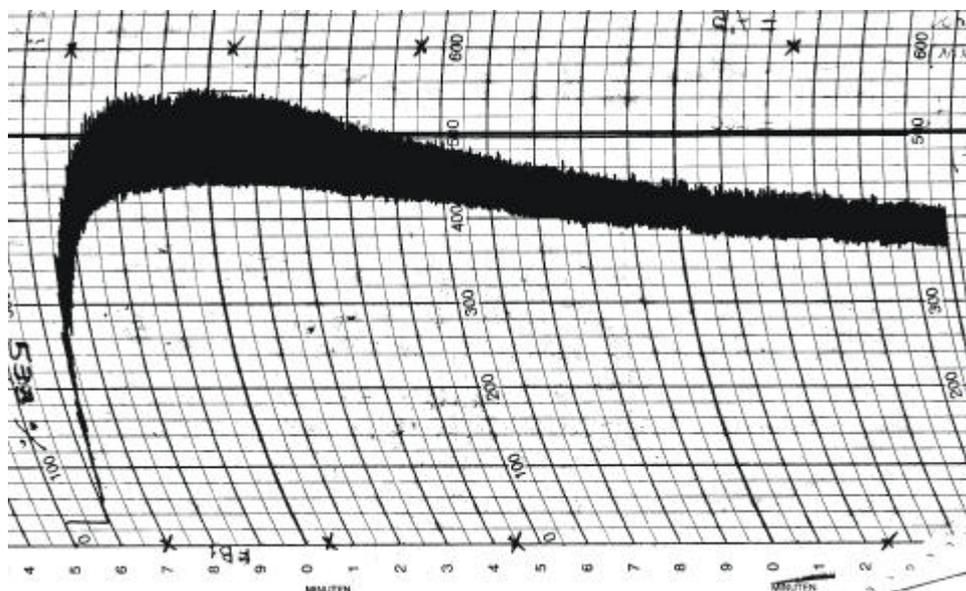
MUESTRA	ÍNDICE DE ZELENY (ml)	CENIZAS BS(g/ 100 g)
FRACCIÓN C1	34	0,476
FRACCIÓN C2	33	0,690
FRACCIÓN C3	19	1,043

2.6.- Absorción de agua y propiedades reológicas (Farinograma)

El farinógrafo mide el volumen de agua absorbido por la harina a fin de conseguir una masa de consistencia predeterminada. Se realiza la representación gráfica de la consistencia de la masa frente al tiempo.

Además de la absorción de agua, la forma del farinograma sirve para caracterizar la harina por medio del tiempo de desarrollo, estabilidad y aflojamiento. Este método se aplica para determinar el comportamiento durante el amasado de una harina de trigo.

La curva típica de un farinograma representa la evolución de la calidad viscoelástica de una masa. Esta calidad depende de muchos factores, algunos de ellos son: la naturaleza de la harina, el trigo del que provino, las características físicas y químicas de la harina, el grado de extracción, la madurez y los tratamientos que hubiera recibido.



Las diferentes fracciones de harina obtenidas muestran los siguientes valores típicos de los resultados de los correspondientes farinogramas:

MUESTRA	ABSORCIÓN DE AGUA (ml/100 g)	TIEMPO DE DESARROLLO (minutos)	ESTABILIDAD (minutos)	AFLOJAMIENTO (UF)
FRACCIÓN B1	54,0	4,5	7,5	100
FRACCIÓN B2	56,1	6,0	9,0	60
FRACCIÓN B3	59,9	8,0	10,5	70
FRACCIÓN C1	59,1	2,5	7,5	60
FRACCIÓN C2	63,1	3,0	7,0	70
FRACCIÓN C3	66,7	3,5	6,5	100

† La cantidad de agua absorbida por las fracciones de harina aumenta de B1 a B3 y de C1 a C3.

† El tiempo de desarrollo de la masa aumenta de B1 a B3 y de C1 a C3.

† La estabilidad de la masa frente al amasado aumenta de B1 a B2 y disminuye de C1 a C3.

† El aflojamiento disminuye de B1 a B3 y aumenta de C1 a C3.

† Análisis de la acción de los cilindros de rotura

El aumento de la absorción de agua de las fracciones de harina de los cilindros de rotura al pasar de B1 a B3 es consecuencia del aumento del contenido de gluten de dichas fracciones de harinas. Un mayor contenido de gluten implica necesariamente un mayor tiempo de amasado (tiempo de desarrollo) para el óptimo desarrollo de la masa. Un contenido más elevado de gluten confiere a la masa mayor estabilidad frente al amasado, y menor aflojamiento de la masa.

† Análisis de la acción de los cilindros de reducción

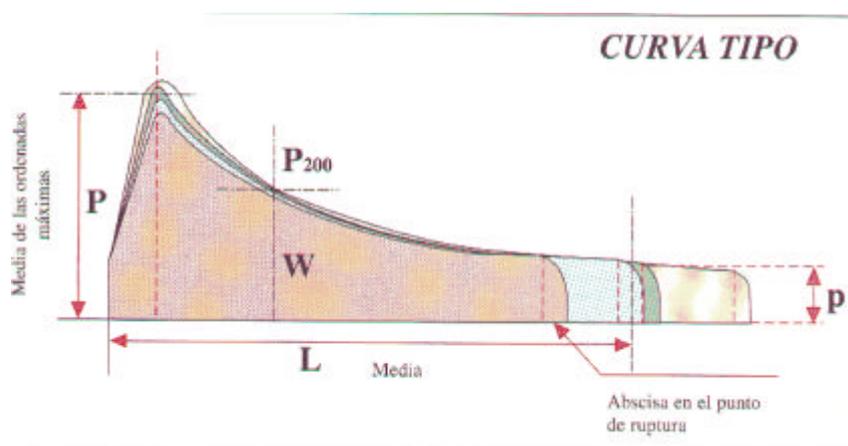
El aumento significativo de absorción de agua de las fracciones de harina de los cilindros de reducción al pasar de C1 a C3 no es en este caso debido al gluten, el cual permanece constante en las tres fracciones, sino al aumento del contenido de los polisacáridos no feculentos los cuales absorben grandes cantidades de agua. Estos aumentan la viscosidad de la masa y en consecuencia aumenta el tiempo óptimo de desarrollo de la misma. A medida que el amasado progresa los polisacáridos no feculentos se van alineando al movimiento de los brazos de la amasadora generando una disminución de estabilidad en función del contenido de polisacáridos no feculentos. Del mismo modo el aflojamiento de la masa aumenta a medida que aumenta el contenido de polisacáridos no feculentos.

2.7.- Propiedades reológicas de las harinas (Alveograma)

El principio del alveógrafo consiste en reproducir a escala conveniente y en condiciones experimentales definidas el alveolo panario. Este método reproduce la deformación de la masa bajo la influencia de un impulso gaseoso de origen biológico o químico.

Las dimensiones y la forma de la curva alveográfica obtenida y el volumen del alveolo en el momento de la ruptura son una guía de las características de panificación de una harina.

La siguiente figura muestra un alveograma típico:



Cuando una harina presenta valores de tenacidad (P) muy altos (correspondientes a gluteninas), esto reflejaría cierta dificultad para retener el CO₂ producido por las levaduras durante la fermentación de una masa para elaborar pan, es decir que la red o malla formada por el gluten es demasiado cerrada o tenaz, se diría que no es estable a la fermentación.

Cuando son muy altos los valores de hinchamiento (G) o extensibilidad (L) (correspondientes a gliadinas), se estaría ante una masa muy extensible que podría retener CO₂, no tendría estructura y se deformaría fácilmente.

En realidad debe existir un equilibrio entre el valor de P y G o L. La relación óptima se mide a través de la relación P/L.

Los resultados experimentales de este ensayo fueron:

MUESTRA	P (mm H ₂ O) (Tenacidad)	L (mm) L (Extensibilidad)	G (Hinchamiento)	W (10 ⁴ J) (Fuerza)	P/L	IE (Elasticidad)
FRACCIÓN B1	41	136	25,9	166	0,30	54,9
FRACCIÓN B2	49	180	29,8	242	0,27	56,0
FRACCIÓN B3	52	204	31,7	272	0,25	55,0
FRACCIÓN C1	90	69	18,5	223	1,30	53,0
FRACCIÓN C2	110	46	15,1	192	2,38	43,7
FRACCIÓN C3	125	36	13,3	181	3,46	0,0

† La tenacidad (presión aplicada a la masa, medida en mm H₂O) aumenta de B1 a B3 y de C1 a C3, aunque es evidente que el grupo B representa harinas de baja tenacidad, mientras que las del grupo C representan harinas de alta tenacidad.

† La extensibilidad (longitud de la curva desde el comienzo de la experiencia hasta el momento de ruptura) aumenta de B1 a B3 y disminuye de C1 a C3. Se observa que los valores indican que las harinas del grupo B son mucho más extensibles que las otras.

† El hinchamiento (representativo del volumen de gas insuflado a la probeta de masa), aumenta de B1 a B3 y disminuye de C1 a C3, por la misma razón que la extensibilidad.

† La fuerza panadera (representada por el área bajo la curva tenacidad vs. extensibilidad) aumenta de B1 a B3 y disminuye de C1 a C3.

† El índice de elasticidad (relación de la tenacidad medida después de 4 cm del comienzo de la curva y la tenacidad máxima, P₂₀₀/P), aumenta de B1 a B3 y disminuye de C1 a C3.

† Análisis de la acción de los cilindros de rotura

El aumento en el contenido de gluten desde la fracción B1 a B3 se refleja en un incremento de todos los parámetros analizados por medio del alveógrafo.

Dichas fracciones, a pesar de contener un alto valor de gluten, son harinas de baja tenacidad (valores de P muy bajos), lo que refleja un bajo contenido de gluteninas.

Por el otro lado, estas fracciones son harinas de alta extensibilidad e hinchamiento (valores altos de G y L), que demuestra un alto contenido de gliadinas.

† Análisis de la acción de los cilindros de reducción

En estas fracciones se observa una alta tenacidad que podría deberse a un alto contenido de gluteninas.

A pesar de que estas fracciones provienen de un mismo «pool» de harinas, se observa un incremento de la tenacidad de C1 a C3. Al mismo tiempo ocurre una disminución de todos los otros parámetros analizados.

La fracción de harina C1 muestra una relación P/L cercana a uno (1), lo que indica que sería una harina apropiada para panificación.

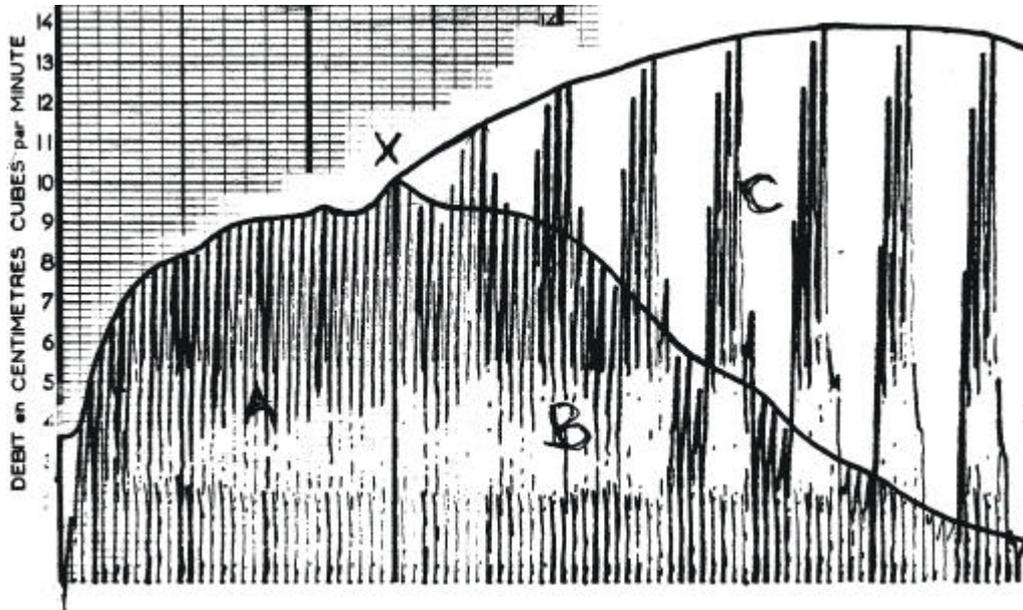
2.8.- Control de fermentación (Zymotaquígrama)

El zymotaquígrafo mide el caudal de la corriente gaseosa que sale de una cuba de fermentación y efectúa, además, constantemente el análisis de la proporción de gas carbónico en dicha corriente, permitiendo así registrar la retención gaseosa de las masas de harina fermentadas.

El simple aspecto de la gráfica da las instrucciones más útiles sobre el comportamiento de las masas durante la panificación. Lo que importa más desde el punto de vista práctico, es reconocer si una masa será capaz de producir un escape gaseoso conveniente, acompañado de la retención de estos gases dentro de la masa durante las operaciones esenciales de la formación de los panes.

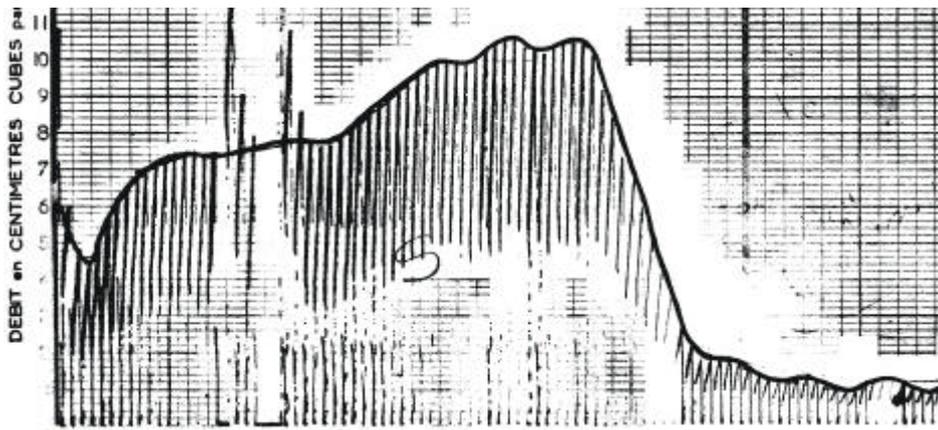
La liberación de gas carbónico (punto X del zymotaquigrama, donde se observa la bifurcación de la curva en dos), se produce después de una duración de fermentación muy variable según las harinas y depende también de la actividad de la levadura.

El volumen de gas retenido a partir del punto X es la cantidad de gas retenido en la masa fermentada y se encuentra representada en la grafica por la curva B; mientras que el volumen de gas total se representa por la curva total.



La pendiente de la curva B representa la estabilidad de la masa fermentada. Si es casi inmediata la caída, resultan muy difícil la panificación.

Cuando la cocción de los panes tiene lugar antes del punto de liberación del gas carbónico (punto X), el pan tiene un desarrollo inferior a lo que podría ser en la zona de estabilidad. Cuando se realizan esta operación durante la caída de la curva de retención de gas (curva B), el pan tiene también falta de desarrollo y presenta desgarrones.



Una curva zymotaquigráfica de este tipo donde no se observa el punto donde se comienza a liberar dióxido de carbono, indica que existe una baja actividad de la levadura en función del tiempo.

Los resultados de esta experiencia se encuentran en la siguiente tabla:

MUESTRA	Volumen total S (ml)	Tiempo de aparición de CO ₂ (h)	Volumen de gas retenido a partir del punto	Volumen de CO ₂ perdido C (ml)	Coefficiente de retención de masa R (%)
FRACCIÓN B1	1338	-	0	0	100
FRACCIÓN B2	1382	-	0	0	100
FRACCIÓN B3	1397	1:55	338	147	89,5
FRACCIÓN C1	1896	1:57	426	515	72,9
FRACCIÓN C2	2381	1:53	573	956	59,9
FRACCIÓN C3	2646	1:20	809	1205	54,4

El volumen total de gas producido durante la fermentación en el curso del ensayo (S) aumenta de B1 a C3. A medida que progresa la molienda se genera mayor cantidad de almidón dañado el cual es utilizado más eficientemente por las levaduras para la generación de gas.

El comienzo de la liberación de CO₂ (punto X) disminuye de C1 a C3. Las fracciones B1 y B2 no lo presentan.

La cantidad de gas retenida en la masa fermentada (volumen de retención, curva B) aumenta de B3 a C3.

La cantidad de gas carbónico que la masa ha dejado escapar después del punto X (volumen de CO₂ perdido) es mínima o nula en las fracciones B1 y B2 y aumenta de B3 a C3.

El coeficiente de retención (R), que representa la relación del volumen de retención con respecto al volumen total disminuye de B1 a C3.

Las fracciones B1 y B2 no muestran el tiempo de aparición de CO₂ (punto X). Esto se debe a que la levadura ha reducido su actividad por falta de sustrato. La escasa generación de gas no permite apreciar el punto en el cual la masa comienza a perder CO₂.

2.9.- Producción de pan de molde

Este ensayo complementa todos los anteriores y muestra fehacientemente la calidad panificadora de las harinas.

Esta operación fue realizada según el método EL DASH; que indica el procedimiento a seguir: a la harina se le agrega levadura, azúcar y sal dispersos o diluïdos en agua, luego se agrega la materia grasa y por último se completa con el resto de agua. Se amasa, se divide y se da forma de cilindros. Se depositan los bollos en moldes previamente aceitados, se deja reposar y se hornea.

Los resultados de este ensayo fueron:

MUESTRA	PESO DE LOS PANES (g)	(g) VOLUMEN DE LOS PANES (ml)	HARINA TIPO (Según CAA)
FRACCIÓN B1	252,60	1192	000
FRACCIÓN B2	255,40	1155	000
FRACCIÓN B3	249,10	1054	0/2
FRACCIÓN C1	252,50	992	0000
FRACCIÓN C2	250,40	1013	0
FRACCIÓN C3	255,40	930	0/2

Las fracciones de harina B1 y B2, que corresponden a harina 000 producen los mayores volúmenes de pan de las seis fracciones de harinas analizadas.

La fracción B3 junto con la fracción C3 corresponden a harinas ½ 0, sin embargo el alto contenido de gluten de la fracción B3 facilita un mejor desarrollo de los panes, generando un volumen superior (1054 ml para la fracción B3 contra 930 ml para C3). La fracción de harina C3 genera el volumen más bajo de todas las fracciones analizadas.

La fracción de harina C1 corresponde a una harina 0000, típicamente destinada a productos de pastelería.

La fracción C2, a pesar de no ser una harina típica de panificación dio un volumen bastante apreciable.

3.- Resumen

Todos los ensayos realizados indican que a partir de una única muestra de grano de trigo pan destinada a la industria panificadora se obtienen diferentes tipos de harinas, tal como se observa de los resultados de los ensayos de determinación de cenizas. Las fracciones obtenidas cubren prácticamente todo el espectro de harinas tipificadas por el Código Alimentario Argentino, con excepción de la harina 00.

Los ensayos también indican que las características reológicas de las fracciones obtenidas son marcadamente diferentes, esto se puede deducir de los ensayos realizados con el farinógrafo y en el alveógrafo.

El conjunto de los resultados indican que no se debe realizar un solo ensayo para determinar la calidad de una harina, sino que se realizar ensayos complementarios, que en su conjunto establecerán sus características de aptitud panificadora.

Los ensayos individuales aquí realizados sobre las diferentes fracciones de harina permiten la formulación de mezclas destinadas a diferentes fines: harinas para la industria galletera, panificadora o repostería.

Las harinas 0000 son más apropiadas para productos leudados químicamente: tortas, galletitas, budines, magdalenas. La harina comúnmente conocida como leudante generalmente se formula con harina 0000

Las harinas 000 son más oscuras y apropiadas para productos leudados con levadura natural, como panes y pizzas.

También el conjunto de ensayos realizados permiten un mayor control de los procesos a los que serán sometidos las harinas obtenidas.

El resumen de todos los ensayos realizados en este trabajo se muestra a continuación:

RESULTADOS OBTENIDOS							
MUESTRA		B1	B2	B3	C1	C2	C3
HUMEDAD (g / 100 g)		14,70	14,72	13,91	13,83	13,19	12,75
CENIZAS (BS) (g / 100 g)		0,528	0,569	0,906	0,476	0,705	1,043
GLUTEN (g / 100 g) (B 14 %)	HUMEDO	29,6	34,5	42,5	28,2	28,3	27,6
	SECO	10,4	12,2	15,2	9,9	9,9	9,9
ZELENY (ml)		30	36	38	34	33	19
FARINO- GRAMA	ABSORCION (ml / 100 g) (B 14 %)	54,0	56,1	59,9	59,1	63,1	66,7
	TIEMPO DESARROLLO (min)	4,5	6,0	8,0	2,5	3,0	3,5
	ESTABILIDAD (min)	7,5	9,0	10,5	7,5	7,0	6,0
	AFLOJAMIENTO (UF)	100	60	70	60	70	100
ALVEO- GRAMA	TENACIDAD P (mm H ₂ O)	41	49	52	90	110	125
	LONGITUD L (mm)	136	180	204	69	46	36
	HINCHAMIENTO G	25,9	29,8	31,7	18,5	15,1	13,3
	RELACION P/L	0,3	0,27	0,25	1,3	2,38	3,46
	RELACION P/G	1,58	1,64	1,64	4,86	7,28	9,4
	TRABAJO DEFORMACION	166	242	272	223	192	181
	INDICE ELASTICIDAD	54,9	56,0	55,0	53,0	43,7	0
ZYMOTA- QUIGRAMA	Volumen de gas hasta el punto X A (ml)	.....	.....	912	956	853	632
	Volumen de gas retenido a partir del punto X B (ml)	.....	.....	338	426	573	809
	Volumen CO ₂ perdido C (ml)	.....	.....	147	515	956	1205
	Volumen total S (ml)	1338	1382	1397	1896	2381	2646
	Tiempo de aparición de CO ₂ X			1:55	1:57	1:53	1:20
	Coefficiente de retención de masa R (%)	100	100	89,5	72,9	59,9	54,4
PANIFICACION	PESO (g)	252,6	255,4	249,1	252,5	250,4	255,4
	VOLUMEN (ml)	1192	1155	1054	992	1013	930
	RENDIMIENTO VOLUMEN (%)	633	623	581	540	565	527
FALLING NUMBER (seg)		386	382	423	391	421	402
CLASIFICACION HARINA		000	000	0/2	0000	0	0/2

Conclusiones

El conocimiento de la distribución de los distintos componentes del grano de trigo por medio de los ensayos realizados en este trabajo, en especial la determinación del contenido de gluten y cenizas, es de gran utilidad para predecir y optimizar el rendimiento de un molino.

Además, teniendo en cuenta que las harinas siguen la ley de las mezclas, el conocimiento de la composición y del comportamiento reológico de cada fracción de harina posibilita la formulación simultánea de diversas calidades de harina.

El análisis de los datos obtenidos permite observar claramente el cumplimiento de los objetivos de cada sección del molino, como así también confirmar la estructura y composición del grano de trigo.

Anexo

1.- ACONDICIONAMIENTO PARA LA MOLIENDA EXPERIMENTAL METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15854 parte 1

1.1- PROCEDIMIENTO

1.1.1- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Se determina el contenido de humedad del trigo limpio, según Norma IRAM 15850

1.1.2- ACONDICIONAMIENTO

La humedad final del grano acondicionado será de 15,0 % a 15,5 %, para ello:

- Se pesa una cantidad suficiente como para obtener, después del acondicionamiento, la masa deseada de trigo.
- Se coloca la muestra en recipientes de acondicionamiento.
- Se calcula el volumen de agua, en centímetros cúbicos, que debe agregarse según el contenido de humedad original y la humedad deseada para el acondicionamiento, con la formula siguiente.

$$A \% = \frac{100 - h_1}{100 - h_2} - 1 \quad \times m$$

Siendo:

A: El volumen de agua que debe agregarse, en centímetros cúbicos.

h_1 : El contenido de humedad original de la muestra, en por ciento.

h_2 : El contenido de humedad deseado para el acondicionamiento, en por ciento.

m: La masa de muestra a acondicionar, en gramos.

- Se agrega a la muestra el volumen de agua calculado, distribuyéndolo uniformemente y agitando bien la mezcla en el Mezclador CHOPIN MR 10 L, inmediatamente.
- Se deja reposar el recipiente durante 24 h, agitando a intervalos regulares, las veces necesarias hasta que los granos de trigo no queden adheridos a las paredes.

2.- MOLIENDA EXPERIMENTAL METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15854 parte 2

2.1- OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Establecer las condiciones de molienda experimental y los parámetros de ajuste del molino Bühler para obtener harinas en condiciones normalizadas

El método es aplicable a trigo pan.

2.2- INSTRUMENTAL

Molino de laboratorio semiautomático, modelo de canjilones o neumático, fabricado por Bühler – Miag, Uzwil, Suiza.

Rodillos de rotura			Rodillos de reducción			Material del tamiz		
I	II	III	1	2	3	Designación del tamiz		
450 mm	450 mm	450 mm	355 mm	355 mm	315 mm	Telas de alambre.		
140 mm	125 mm	125 mm	125 mm	140 mm	125 mm	125 mm	Telas de seda o	
		140 mm	125 mm	125 mm	de fibras sintética			

2.3- PROCEDIMIENTO

2.3.1- PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Se realiza según la norma IRAM 15854 parte 1

2.3.2- AMBIENTE ACONDICIONADO

El ensayo se realiza en un ambiente a 23° C +- 3° C con una humedad relativa comprendida entre 60 % y 70 %.

2.3.3- MOLIENDA

- Se pesan 3,000 kg, asegurando el 1 g, de trigo acondicionado según la norma IRAM 15854 parte 1, que se colocan en la tolva.
- Se hace pasar toda la muestra y cuando termina el pasaje por el primer rodillo de rotura se inicia la limpieza por secciones.

Para la limpieza se cepilla las paredes que alimentan los rodillos y los planos inclinados que conducen los productos a los tamices, y se golpetean las paredes exteriores de los cernidores con una maza de caucho, tantas veces como sea necesario. Se continua hasta lograr la limpieza total del molino.

Se pesan los 6 pasajes de harina al 0,1 g, la semita y el afrecho.

Se determina el contenido de humedad de la harina obtenida, según la norma IRAM 15850.

Se calcula el grado de extracción de la harina, con la formula siguiente:

$$EH = \frac{m_I + m_{II} + m_{III} + m_1 + m_2 + m_3}{m} \times \frac{86}{100 - H} \times 100$$

Siendo:

EH: El grado de extracción de harina en base al 14 % de humedad en gramos / 100 g de trigo acondicionado.

m_I, m_{II}, m_{III} : Las masas de los pasajes por el primer, segundo y tercer rodillo de rotura, respectivamente en gramos.

m_1, m_2, m_3 : Las masa de los pasajes por el primer, segundo y tercer rodillo de reducción, respectivamente, en gramos.

m: La masa de trigo acondicionado, tomada para la molienda, en gramos.

H: La humedad de la harina, en gramos / 100 g.

3.- HUMEDAD

METODOLOGÍA APLICADA: Norma IRAM 15850, Método de ensayo acreditado UKAS (Unit Kingdom Accreditation Service)

3.1- FUNDAMENTO

El contenido de humedad es la perdida de masa, expresada en gramos por 100 gramos, que sufre el producto cuando este se seca en una estufa durante 1 hora a 130 °C ± 3 °C.

3.2- MATERIALES

- Cápsula de aluminio
- Balanza analítica que asegure el 0,1 mg
- Estufa eléctrica con circulación de aire forzado, regulada de manera que la temperatura del aire sea de 130 °C ± 3 °C, en la vecindad de la muestra
- Desecador

3.3- REACTIVOS

Gel de sílice

3.4- PROCEDIMIENTO

3.4.1- Se pesa una cantidad ligeramente mayor a 3,5 g de la muestra de ensayo en el recipiente previamente secado y tarado, junto con su tapa. Las pesadas se realizan asegurando el 1 mg.

3.4.2- Se coloca el recipiente que contiene la porción de ensayo abierta, junto con su tapa, en la estufa y se deja 60 minutos contado este tiempo desde el momento en el que la temperatura de la estufa alcanza los $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

3.4.3- Se saca el recipiente de la estufa, se lo tapa y se lo coloca en el desecador.

3.4.4- Cuando el recipiente se ha enfriado a la temperatura del laboratorio (40 minutos después que se la ha colocado en el desecador), se pesa asegurando el 1 mg.

3.5- CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El contenido de humedad, expresado como porcentaje en masa del producto tal cual se recibe, está dado por la fórmula siguiente.

$$H = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

Siendo:

H: El contenido de humedad del producto tal cual, en gramos por cien gramos.

m_0 : La masa de la porción de ensayo, en gramos.

m_1 : La masa de la porción de ensayo después del secado, en gramos.

Se toma como resultado la media aritmética de los dos valores obtenidos, si se satisface el requisito de repetibilidad. Si este requisito no se cumple, se repite la determinación.

El resultado se expresa con dos cifras significativas.

3.6- REPETIBILIDAD

La diferencia entre los valores obtenidos de dos determinaciones llevadas a cabo simultáneamente, o en rápida sucesión, por el mismo analista, no deben diferir en más de 0,15 g de humedad por 100 g de muestra.

4.- DETERMINACIÓN DE CENIZAS

METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15851, Método de Ensayo acreditado por UKAS (Unit Kingdom Accreditation Service)

4.1- DEFINICION

Cenizas: Residuo obtenido por incineración de la muestra, en las condiciones establecidas en la presente norma.

4.2- RESUMEN

La muestra se incinera a $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ en una mufla, hasta masa constante. Las cenizas se expresan en porcentaje de muestra seca; se determina la humedad de la muestra según la norma IRAM 15850

4.3-INSTRUMENTAL

- Mufla eléctrica, provista de termostato, pirómetro y circulación de aire suficiente para mantener durante el ensayo una temperatura de $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$.
- Cápsula de porcelana, platino o platino-oro, de aproximadamente 20 cm^2 de superficie y no más de 2 cm de altura, con tapa.
- Desecador, con una placa de porcelana o de aluminio perforada
- Placa de amianto
- Balanza analítica, que asegure el 0,1 mg.
- Placas de acero, resistentes a la temperatura de la mufla.

4.4- REACTIVOS

Gel de sílice

4.5- PROCEDIMIENTO

4.1- Se pesa una cantidad ligeramente mayor a 2,5 g de la muestra de ensayo en el crisol previamente secado y tarado. Las pesadas se realizan asegurando el 1 mg.

4.2- Se coloca el crisol que contiene la porción de ensayo, en la manta calefactora y se la deja hasta que

la muestra termine de arder y no se produzcan más proyecciones.

4.3- Se retira el crisol de la manta calefactora y se lo coloca en el interior de la mufla. Se calcina hasta que se obtenga un residuo prácticamente blanco, 2 horas a una temperatura de $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.4- Se seca el crisol de la mufla y se lo coloca en el desecador.

4.5- Cuando el recipiente se ha enfriado a la temperatura del laboratorio (1 hora después que se la ha colocado en el desecador), se pesa asegurando el 1 mg.

4.6- CALCULO

Se calcula el contenido de cenizas en la muestra seca mediante la formula siguiente:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{M} \times \frac{100}{100 - H} \times 100$$

Siendo:

C: Las cenizas, en gramos por cien gramos de muestra seca.

M: La masa de la muestra, en gramos.

M_1 : La masa del crisol vacío, en gramos.

M_2 : La masa del crisol con las cenizas, en gramos.

H: La humedad de la muestra, en gramos por cien gramos.

4.7- EXPRESIÓN Y CONCORDANCIA DE LOS RESULTADOS

Se expresan los valores obtenidos, con tres cifras significativas.

✂ Valores de cenizas no mayores que 1 g / 100 g.

Si la diferencia entre los valores hallados no fuese mayor que el 3 % del menor de esos valores se calcula su media aritmética y se redondea al 0,005.

✂ Valores de cenizas mayores que 1 g / 100 g.

Si la diferencia entre los valores hallados fuese menor en 2 % del menor de estos valores, se calcula la media aritmética y se redondea al 0,005.

5- DETERMINACION DE GLUTEN

METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15864.

5.1- DEFINICIONES

Gluten húmedo: Producto viscoelástico constituido principalmente por agua y proteínas insolubles en agua, que se obtiene según las condiciones establecidas en esta norma.

Gluten seco: Producto obtenido por secado del gluten húmedo según las condiciones especificadas en esta norma.

5.2- RESUMEN

- Se prepara una masa a partir de harina y agua, utilizando el aparato «Glutomatic»
- Se obtiene el gluten húmedo por lavado de esta masa con agua. Se separa el agua adherida por centrifugación y se pesa el gluten obtenido.
- Se seca el gluten en el equipo «Glutork» y se obtiene la masa de gluten seco.

5.3- REACTIVOS

Agua para análisis.

5.4- INSTRUMENTAL

- Equipo Glutomatic: programado para la separación automática del gluten. Consiste en:
 - ✂ Pipeta automática, una amasadora y un recipiente con soporte de 60 mm de diámetro sobre el cual se coloca una tela para tamiz IRAM 80 μm (IRAM 1501-2).
 - ✂ Centrifuga de 6000 v/min, programada para un tiempo de marcha de 1 min, que incluye dos placas metálicas desmontables con perforaciones de 500 μm
 - ✂ Recipiente colector del agua de lavado, de plástico
- Balanza, que permita pesar asegurando el 0,01g.

- Equipo «Glutork» para el secado del gluten. La superficie de cada disco de poli- tetrafluoroetileno es de 163 cm³.

5.5- PROCEDIMIENTO

Duplicado. Las determinaciones se realizan por duplicado.

5.5.1- Para la determinación se pesan 10,00 g ± 0,01 g de harina y se pasan cuantitativamente al recipiente del Glutomatic. Se cuidara que el fondo del recipiente con el soporte para la tela metálica esté húmedo. Después de cada determinación se limpia la tela metálica con un fuerte chorro de agua.

5.5.2- Se agrega el agua a una temperatura comprendida entre 22 °C y 25 °C. El volumen de agua para cada determinación es de 4,9 ml ± 0,1 ml.

5.5.3- Se acciona el arranque del «Glutomatic» y se amasa durante 30 s.

5.5.4- A continuación automáticamente, se efectúa el proceso de lavado durante 8 min.

Finalizado el proceso de lavado se retira la bola de gluten del recipiente.

5.5.5- Obtención de gluten húmedo: Se divide la bola de gluten en dos partes, las que se colocan en las piezas metálicas que se encuentran en la centrífuga durante 1 min para separar el agua adherida.

Se retira el gluten húmedo de la centrífuga.

5.5.6- Se pesa el gluten húmedo, asegurando el 0,01 g, para obtener la masa de gluten húmedo (m_1).

5.5.7- Obtención del gluten seco: Se seca durante 5 min en el equipo Glutork a una temperatura de 150 °C ± 3 °C, colocando la bola de gluten en el centro del disco de poli tetrafluoroetileno.

5.5.8- Se pesa la masa de gluten seco (m_2) asegurando el 0,01 g.

5.6- CALCULOS

5.6.1- Gluten Húmedo:

$$GH = \frac{m_1}{m} \times 100 \times \frac{86,0}{100 - h}$$

Siendo:

GH: El contenido de gluten húmedo, en gramos por cien gramos, referido a la harina de 14,0 % de humedad.

m_1 : La masa de gluten húmedo determinada.

m : La masa de la muestra, en gramos.

h : La humedad de la harina.

El resultado se expresa con una cifra decimal.

5.6.2- Gluten seco:

$$GS = \frac{m_2}{m} \times 100 \times \frac{86,0}{100 - h}$$

Siendo:

GS: El contenido de gluten seco, en gramos por cien gramos.

m_2 : La masa de gluten seco determinada.

m : La masa de muestra, en gramos.

h : La humedad de la harina.

El resultado se expresa con una cifra decimal.

5.7- REPETIBILIDAD

5.7.1- Gluten húmedo: Si la diferencia entre los valores hallados en dos determinaciones realizadas simultáneamente o en rápida sucesión por el mismo analista y usando el mismo aparato, no es mayor del 2 % del menor de esos valores, se promedian dichos valores. En caso contrario se repite la determinación.

5.7.2- Gluten seco: Se adopta el mismo criterio que en el indicado para el gluten húmedo, pero, en este caso cuando las diferencias no sean mayores del 3 % del menor de esos valores.

6- DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA ALFA – AMILASA (número de caída) según HAGBERG –PERTEN.

METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15862

6.1- DEFINICIÓN:

Número de caída (NC): Tiempo, en segundos requerido para agitar y permitir que el émbolo agitador,

recorra una distancia determinada a través de un gel acuoso, preparado con harina, contenido en el tubo viscosimétrico y sumergido en un baño de agua mantenido a 100 °C, en las condiciones especificadas en la presente norma.

6.2- FUNDAMENTO

Se produce la gelatinización rápida de una suspensión acuosa de harina en un baño de agua mantenido a 100 °C. La acción de la alfa-amilasa sobre el almidón de la muestra cataliza la licuefacción del gel, midiéndose el tiempo de caída del émbolo agitador.

La licuefacción afecta la fuerza del gel de almidón y, por consiguiente, la resistencia al movimiento del émbolo agitador y el tiempo empleado por éste para caer desde una distancia establecida.

6.3- REACTIVOS

Agua para análisis.

6.4- INSTRUMENTAL

- Equipo FALLING NUMBER 1600, compuesto por:
 - ✍ baño de agua mantenido a 100 °C, de 15 cm de diámetro y 20 cm de altura provisto de una tapa con un sostén para el tubo viscosimétrico
 - ✍ una pinza para sujetarlo después de la inserción
 - ✍ un baño refrigerante para disminuir la pérdida de vapor.
 - ✍ Calentador eléctrico, de 600 W, cuyo diámetro no exceda el del baño de agua
 - ✍ Émbolo agitador, que consiste en una varilla y que tiene en su extremo inferior un disco. Se mueve suavemente a través de un tapón de material sintético y su masa, sin el tapón, es de 25,00 g ± 0,05 g
- Tubos viscosimétricos de vidrio, de las medidas siguientes: diámetro interno 21,00 mm ± 0,02 mm; diámetro externo 23,80 mm ± 0,25 mm; longitud 220,00 mm ± 0,3 mm.
- Tapones de caucho, para los tubos.
- Pipeta, de 25,0 ml ± 0,2 ml.
- Balanza, que permita pesar asegurando el 0,01g.

6.5- PROCEDIMIENTO

Se determina la humedad de la muestra de harina.

6.5.1- Se calcula la masa m de muestra que se debe pesar, según sea su contenido de humedad, con la fórmula siguiente:

$$m = \frac{100 - 14}{100 - h} \times m_1$$

Siendo:

m : La masa de la muestra, en gramos.

h : La humedad de la muestra, en gramos por cien gramos.

m_1 : La masa nominal de la muestra, en gramos.

6.5.2- Se pesa, asegurando el 0,001 g.

Se lleva a cabo dos determinaciones sobre la misma muestra de ensayo.

6.5.3- Se llena el baño de ebullición con agua para análisis y se la mantiene hirviendo vigorosamente durante todo el período del ensayo.

6.5.4- Se transfiere la porción de ensayo al tubo del viscosímetro

6.5.5- Se agregan 25 ml del agua para análisis a 20 °C ± 5 °C usando la pipeta.

6.5.6- Inmediatamente se coloca un tapón de caucho y se agita vigorosamente, en forma manual, durante 30 veces, para obtener una suspensión homogénea.

6.5.7- Se retira el tapón y con el agitador se limpian las partículas adheridas a las paredes del tubo. Toda la operación no debe demorar más de 30 s.

6.5.7- Se coloca el tubo del viscosímetro con el agitador en el baño de agua hirviendo, pasándolo por la abertura del sostén. Esta operación no debe demorar más de 5 s.

6.5.8- Se conecta el agitador con el cabezal del aparato.

6.5.9- Se pone en funcionamiento el contador automático en el momento en que el tubo toca el fondo del baño de agua. Se asegura el tubo y el aro de material sintético con una mordaza giratoria.

A partir de este momento el aparato puede efectuar, automáticamente, las diversas etapas de la determinación, a saber:

- ✘ A los 5 s de ponerse en marcha, el contador automático comienza la agitación a un ritmo de 2 agitacion- nes por segundo.
 - ✘ Transcurrido 60 s se detiene el motor en posición elevada, y el agitador viscométrico queda liberado del sistema automático, descendiendo por sí mismo, dentro de la suspensión
 - ✘ Una vez que el agitador viscométrico haya recorrido su trayecto, se detiene el contador
 - ✘ Se indica el final de la determinación mediante una señal sonora y el encendido de una luz roja
- 6.5.10- Finalizado el proceso se leen, en el equipo, los segundos que corresponden al número de caída de la muestra.

6.6- REPETIBILIDAD

La diferencia entre los valores obtenidos en las dos determinaciones no debe ser superior al 5 % de su valor medio.

7- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SEDIMENTACIÓN (ZELENY)

METODOLOGÍA APLICADA: NORMA IRAM 15875

7.1- DEFINICIONES

Índice de sedimentación: El número que indica el volumen, expresado en mililitros, del sedimento obtenido bajo condiciones especificadas a partir de una suspensión de la muestra de harina, preparada a partir de trigo, en una solución de ácido láctico.

7.2- RESUMEN

- Se suspende, en una solución de ácido láctico y en presencia de azul de bromofenol, la muestra de harina.
- Luego de una agitación y tiempos de reposo fijados, se determina el volumen del depósito resultante de la sedimentación de las partículas de la harina.

7.3- INSTRUMENTAL

- Cilindros, de fondo plano, de 100 ml de capacidad, graduados en mililitros, con una distancia de 180 mm a 185 mm entre el fondo y la marca de 100 ml, y equipado con tapones de plástico o vidrio.
- Agitador cilíndrico, adecuado, con un interruptor de tiempo y con una frecuencia de agitación, de 2400 Hz ciclos por minuto, cada ciclo comprenderá 60° (30° arriba y 30° debajo de la horizontal).
- Pipetas, aforadas de 25 ml y 50 ml
- Cronómetro
- Balanza, que asegure el 0,01 g.

7.4- REACTIVOS

- Agua para análisis, que contenga menos que 2 mg / Kg de materia mineral.
- Solución de ácido láctico: Se prepara una solución de ácido láctico concentrada de 85 ml / 100 ml que no contenga más que 40 mg / Kg de materia mineral. Se diluyen 250 ml de la solución concentrada a 1 con agua. Se hierve la solución diluida bajo reflujo durante 6 horas. (El ácido láctico concentrado contiene moléculas asociadas las cuales, en dilución, se disocian lentamente hacia un cierto equilibrio. La ebullición acelera este proceso de disociación, el cual es esencial para así obtener valores de sedimentación reproducibles). Se titula una porción de alícuota de esta solución con hidróxido de potasio (para 5 ml de la solución de ácido láctico pueden ser necesarios 28 ml de la solución de hidróxido de potasio 0,5 mol / litro, la concentración final será entre 2,7 mol / litro y 2,8 mol / litro).
- Reactivo para el ensayo: Se mezclan, completamente, 180 ml de la solución de ácido láctico con 200 ml de propan – 2 ol de 99 % a 100 % (v/v) que no contenga más que 40 mg / kg de materia mineral y se lleva a volumen de 1000 ml con agua. Se mantiene en un recipiente tapado y no se usa el reactivo hasta que haya transcurrido 48 horas.
- Solución de azul de bromofenol: Se disuelven 4 mg de azul de bromofenol en 1000 ml de agua.

7.5- PROCEDIMIENTO

7.5.1- Se pesan, asegurando el 0,05 g, 3,2 g de la muestra de harina.

7.5.2- Se coloca la porción de la muestra en un cilindro graduado.

7.5.3- Se agregan 50 ml de la solución de azul de bromofenol a una porción del ensayo.

7.5.4- Se cierra el cilindro con un tapón y, sosteniéndolo en una posición horizontal, se lo agita de izquierda a derecha, a través de, aproximadamente 18 cm, 12 veces en cada dirección durante, por lo menos 5 segundos.

7.5.5- Se ubica el cilindro en un agitador y se pone en marcha el cronometro y el agitador.

7.5.6- Luego de 5 minutos, se retira el cilindro del agitador y se agrega, a su contenido, 25 ml del reactivo del ensayo de sedimentación.

7.5.7- Se vuelve a colocar el cilindro y se continúa con la agitación.

Luego de un tiempo total de 10 minutos, se retira el cilindro del agitador y se lo ubica en posición vertical.

7.5.8- Se deja el cilindro en reposo durante, exactamente, 5 minutos y luego se anota el volumen del depósito, con una aproximación de 0,5 ml.

El número que indica el volumen, expresado en mililitros, del depósito registrado representa el índice de sedimentación.

7.6. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se toma, como resultado, la media aritmética de los resultados de dos determinaciones teniendo en cuenta que su diferencia no exceda 2 unidades.

Si esta diferencia excede las 2 mitades se descartan los resultados de las dos determinaciones y se repite el ensayo.

Se informa el resultado como un número entero.

7.7- REPETIBILIDAD

La diferencia absoluta entre dos resultados de ensayos independientes, obtenidos usando el mismo método sobre un material de muestra idéntico en el mismo laboratorio y efectuado por el mismo operador (usando el mismo equipo y en un intervalo corto de tiempo) no será mayor que 2 unidades.

7.8- REPRODUCIBILIDAD

La diferencia absoluta entre resultados de ensayo, obtenidos usando el mismo método y material idéntico en laboratorios diferentes usando equipos diferentes no será mayor que:

≅ 2 (valor absoluto) para un índice de sedimentación menor que 20.

≅ 10 % (valor relativo) del valor medio para un índice de sedimentación mayor que 20

8-FARINOGRAMA

METODOLOGÍA APLICADA: Norma IRAM 15855

8.1- DEFINICIONES

- **Absorción de agua** (de una harina): Volumen de agua necesario para obtener, en el farinógrafo, una masa con una consistencia máxima de 500 UF (Unidades Farinográficas). Se expresa en mililitros por 100 g de harina, con un contenido de humedad de 14 g / 100 g.
- **Consistencia:** La resistencia de una masa a ser amasada en el farinógrafo a una velocidad constante establecida. Se expresa en unidades arbitrarias (Unidades Farinográficas o UF).
- **Curva de absorción:** Curva obtenida en el farinógrafo, previamente a la normal, con el fin de determinar la cantidad de agua que necesita absorber la harina para que se obtenga en el farinógrafo una masa de una consistencia de 500 UF \pm 20 UF, es decir que pase por el centro de la porción de la curva que tiene pendiente cero, la línea de 500 UF.
- **Curva normal o farinograma:** Curva obtenida en el farinógrafo al agregar, de una sola vez, la cantidad de agua determinada en la curva de absorción a la cantidad de harina especificada. Incluye el tramo de la curva obtenido durante 12 minutos, luego que comienza a disminuir la consistencia de la masa.
- **Tiempo de desarrollo de la masa:** Tiempo transcurrido entre el instante en que comienza el agregado de agua y el instante en que se alcanza la consistencia máxima. Se expresa en minutos.
- **Estabilidad:** Diferencia de tiempo entre el punto en que la parte superior de la curva alcanza, por primera vez, la línea de 500 UF y el punto en que la deja. Se expresa en minutos, con aproximación de 0,5 minutos.
- **Aflojamiento de la masa:** Diferencia entre el centro de la curva en el punto en que comienza la declinación y el centro de la curva 12 minutos después de éste. Se expresa en Unidades Farinográficas. Si aparecen 2 picos se considera a partir del segundo.
- **Unidad Farinográfica (UF):** Corresponde a un momento de torsión de 100 g x cm, medido en el eje de la amasadora.

8.2- RESUMEN

Se mide y se registra, mediante el uso de un farinógrafo, la consistencia de una masa que se forma a partir de harina y agua, cómo se desarrolla y cómo se va modificando con el transcurso del tiempo.

Una vez obtenido el farinograma, éste muestra la resistencia que opone la masa a un trabajo mecánico continuo en función del tiempo, en condiciones constantes de ensayo. Dicho farinograma permite extraer conclusiones acerca de la aptitud industrial de la harina.

La consistencia máxima de la masa se ajusta a un valor establecido adaptando la cantidad de agua agregada. Este volumen de agua se denomina absorción de agua y se usa para obtener una curva de amasado completa (farinograma) y cuyas partes son una guía para conocer las propiedades reológicas de la harina.

8.3- REACTIVOS

Agua destilada.

8.4- INSTRUMENTAL

Equipo habitual de laboratorio y, en particular, los siguientes.

- Equipo farinógrafo constituido por:
 - Con un termostato un baño de agua circulante a temperatura constante. Una amasadora de 300 g
 - Bureta: Graduada desde 135ml hasta 225 ml, con divisiones cada 0,2 ml, para una amasadora de 300 g.
- Balanza: Para pesar con una aproximación de +- 0,1 g.
- Espátula: De material plástico flexible.

8.5- PROCEDIMIENTO

8.5.1- Se determina el contenido de humedad de la harina usando el método especificado en la norma IRAM 15850.

8.5.2- Se enciende el termostato y se hace circular agua. La temperatura de la amasadora debe ser de $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8.5.3- Se llena la bureta con agua destilada a una temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8.5.4- Se pesa, con una precisión de 0,1 g, el equivalente de 300 g de harina que tenga un contenido de humedad de 14 g / 100 g. Se considera esta masa, en gramos, como m.

$$m = m_1 \times \frac{(100 - 14)}{100 - H}$$

Siendo:

m: La masa de harina con un contenido de 14 %.

m_1 : La masa de harina con el contenido actual de humedad.

H: La humedad de la harina.

8.5.5- Se coloca la harina en la amasadora. Se tapa y se la mantiene tapada hasta el final del amasado, excepto durante el tiempo necesario para el agregado de agua y para la incorporación de la masa no totalmente formada que será lo más breve posible.

8.6- DETERMINACIÓN

8.6.1- Se mezcla la harina sola durante 1 min . A continuación se comienza a agregar el agua desde la bureta, en el ángulo delantero derecho de la amasadora.

8.6.2- Se agrega un volumen de agua cercano al esperado para producir la consistencia máxima de 500 UF. Cuando se forma la masa se raspan, con la espátula, las paredes internas de la amasadora para incorporar a la masa cualquier partícula aún no mezclada. Si la consistencia es muy alta, se agrega un poco más de agua para obtener la consistencia máxima de aproximadamente 500 UF. Se detiene el amasado y se limpia la amasadora.

8.6.3- Se efectúan tantos amasados como sea necesario hasta que se disponga de dos amasados que reúnan las condiciones siguientes:

- ☒ La adición de agua ha sido completada en un lapso de 25 segundos.
- ☒ Las consistencias máximas se encuentran entre 480 UF y 520 UF
- ☒ El registro se debe continuar por lo menos 12 minutos después de finalizado el tiempo de desarrollo en el caso que deba informarse el aflojamiento de la masa.

8.6.4- Se detiene el amasado y se limpia la amasadora.

8.7- RESULTADOS

8.7.1- ABSORCIÓN DE AGUA

De cada uno de los amasados, con consistencia máximas entre 480 UF y 520 UF, se obtiene el volumen corregido V_c , en milímetros, de agua correspondiente a una consistencia máxima de 500 UF, por medio de la siguiente fórmula:

$$V_c = V + 0,096 (C - 500)$$

Donde:

V: Es el volumen de agua agregada, en mililitros.

C: Es la consistencia máxima, en unidades Farinográficas dada por:

$$C = (C_1 + C_2) / 2$$

Donde:

C1: Es la altura máxima del contorno superior de la curva, en unidades farinográficas.

C2: Es la altura máxima del contorno inferior de la curva, en unidades farinográficas

Para el cálculo se usa el valor medio de las determinaciones duplicadas de V_c , teniendo en cuenta que la diferencia entre ellas no exceda de 2,5 ml para una amasadora de 300 g.

La absorción de agua, expresada en mililitros por 100 g de harina de 14 g / 100 g de contenido de humedad, es igual a:

$$(V_c + m - 300) / 3 \quad \text{para una amasadora de 300 g.}$$

Donde:

V_c : Es el valor numérico de la media de las determinaciones duplicadas del volumen de agua corregido, correspondiente a una consistencia máxima de 500 UF, en mililitros.

m: Es el valor numérico de la masa, de la porción de ensayo, en gramos.

Se informa el resultado con aproximación de 0,1 ml por 100 g

8.7.2- TIEMPO DE DESARROLLO DE LA MASA

El tiempo de desarrollo de la masa es el que transcurre desde el comienzo del agregado de agua hasta el punto superior o máximo de la curva, que es inmediatamente anterior a los primeros signos de la disminución de la consistencia.

8.7.3- ESTABILIDAD

La estabilidad se define como la diferencia, en tiempo y con aproximación de 0,5 minutos, entre el punto en el cual el borde superior de la curva alcanza, por primera vez, la línea de 500 UF y el punto donde dicho borde deja la línea de 500 UF. Este valor, en general da alguna indicación de la tolerancia de la harina al amasado.

8.7.4- AFLOJAMIENTO

El aflojamiento es la diferencia en altura entre el centro de la curva al final del tiempo de desarrollo de la masa y el centro de la curva 12 minutos después de este punto.

9- ALVEOGRAMA

METODOLOGÍA APLICADA: Norma IRAM 15857

9.1- OBJETO

Establecer el método para determinar las características reológicas de la masa de harina de trigo, utilizando el alveógrafo de Chopín.

Las características reológicas que se determinan son:

- Tenacidad, simbolizada como «P».
- Hinchamiento, expresado como «G».
- Longitud de la curva, expresada como «L».
- Relación «P/L».
- Trabajo de deformación, expresado como «W».

9.2- DEFINICIONES

Tenacidad: Presión máxima que se registra durante la deformación de la burbuja.

Hinchamiento: Raíz cuadrada del volumen de aire insuflado en la burbuja hasta el momento de la ruptura.

Longitud de la curva del alveograma: Abscisa del punto de la curva promedio que corresponde a la ruptura de la burbuja, referido a 1g de masa. Se expresa en 10^{-4} Joule.

9.3- FUNDAMENTO

El método consiste en obtener un diagrama de la resistencia que opone la masa a una cierta deformación. La superficie y forma de la curva promedio y el hinchamiento obtenido dan una indicación de las características reológicas de la harina.

9.4- RESUMEN

Bajo condiciones normalizadas se prepara una masa de harina, cloruro de sodio y agua, con la que se obtienen cinco piezas en forma de disco. Después de un período de tiempo especificado se forma una burbuja con cada una de las piezas y se trazan las curvas registrando la presión dentro de la burbuja, la cual esta relacionada con la resistencia de la masa a la deformación.

9.5- REACTIVO

- Solución de 2,5 g/100 cm³ de cloruro de sodio.
- Vaselina líquida medicinal.

9.6- INSTRUMENTAL

Alveógrafo de Chopin. Modelo NG se compone de tres elementos:

1. Amasadora extrusora
2. Alveógrafo para la deformación de la masa
3. Registrador de la curva (manómetro estándar o Alveolink NG)

9.7- PROCEDIMIENTO

Preparación de la muestra: La muestra debe estar a la temperatura del ambiente donde se va a realizar el ensayo. Se homogeniza bien la muestra y se determina el contenido de humedad, según la norma IRAM 15850.

Regulación de la temperatura: La temperatura de la amasadora deben mantenerse a $24^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y la de la cámara de descanso a $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Regulación del manómetro registrador: Se nivela el aparato por medio de los tornillos de ajuste que posee. La máxima se ajusta a 92 mm H₂O y la mínima a 60 mm H₂O.

AMASADO

Se coloca en la amasadora 250 g \pm 0,5 g de la harina a ensayar. Al mismo tiempo se pone en marcha el motor de la amasadora con las paletas girando en sentido contrario al de las agujas del reloj, también al mismo tiempo y en 20 segundos, se agrega la solución de cloruro de sodio desde la bureta y sobre el eje de las paletas.

Después de un minuto de amasado (1:00) se para la amasadora y se raspan las paredes con una espátula, esta acción se realiza durante 30 segundos (1:30). Se amasa durante 5 segundos más (hasta 1:35) y luego se vuelve a para el amasado con el fin de integrar toda la masa, este procedimiento se realiza hasta el minuto 2 (2:00). A los dos minutos se enciende nuevamente el amasado y se continua hasta el minuto 8 (8:00).

EXTRUSIÓN

A los 8 minutos de amasado se detiene el amasado, se abre la salida de extrusión y se vuelve a poner en marcha en sentido inverso, con las paletas girando en sentido de las agujas del reloj. Se desechan los primeros 2 cm de masa extrudada y cuando la masa alcanza el nivel de las muescas de la plataforma se corta la misma con un rápido movimiento contra las guías. Se desliza la pieza de masa sobre la placa de laminación previamente untada con vaselina.

LAMINADO

Se pasa el rodillo bien untado con vaselina a lo largo de los rieles, 6 veces en cada dirección alternadamente.

CORTADO

Se corta un círculo de pasta con el cortapasta y se coloca sobre la placa con vaselina dentro de la cámara de reposo. Se repite la operación hasta obtener 5 discos de masa.

DESCANSO Y FORMACIÓN DE LAS CURVAS.

A los 28 minutos de iniciado el amasado y con la llave central en posición I, se levanta la platina móvil dando al anillo dos vueltas completas, se retiran el anillo de cierre y la tapa. Se retira de la cámara de reposo el primer disco de masa y se coloca sobre el centro de la platina fija. Se coloca el tapón y se ajusta el anillo. Se hace girar la platina móvil de forma de aplastar la masa. Se retira el cierre y la tapa. Se coloca la llave central en posición II. Cuando se rompe la burbuja se lleva la llave nuevamente a la posición I. El Alveolink registra las curvas en una pantalla.

RESULTADOS

En el caso de que una de las burbujas o de las curvas obtenidas presente un aspecto anormal se descarta la curva correspondiente. En ningún caso puede anularse más de una curva, es decir el promedio debe hacerse sobre 4 curvas por lo menos.

10- Zymotaquígrama

METODOLOGÍA APLICADA: Método según fabricante

10.1- FORMULACIÓN

MATERIAS PRIMAS	PARTES EN PESO
Harina	100
Sal	2
Levadura fresca	2

10.2- REACTIVO

Solución de potasa cáustica (200 g de potasa por 1000 cc de agua)

10.3- INSTRUMENTAL

Equipo farinógrafo constituido por:

- Con un termostato un baño de agua circulante a temperatura constante. Una amasadora de 300 g
- Bureta: Graduada desde 135ml hasta 225 ml, con divisiones cada 0,2 ml, para una amasadora de 300 g.
 - Balanza: Para pesar con una aproximación de +- 0,1 g.
 - Espátula: De material plástico flexible.

Zimotaquígrafo Marca Chopín constituido por:

Una cuba de fermentación

Un registrador

Un vaso de absorción del CO₂

10.4- PROCEDIMIENTO

10.4.1 Encender los equipos y llevar a temperatura de trabajo (farinógrafo 30 °C y zimotaquígrafo 27 °C)

10.4.2- AMASADO

10.4.2.1- Se coloca la harina en la amasadora del farinógrafo Brabender de capacidad de 300 g de harina, termostatzado a 30 °C y se la mezcla durante 1 minuto a baja velocidad (posición 1) y luego se mezcla a alta velocidad (posición 2) durante 3 minutos.

10.4.2.2- Cumplidos el minuto, se agregan en el siguiente orden:

1. Levadura disuelta en agua en un vaso de precipitados.
2. sal disuelta en agua en un vaso de precipitados.
3. El agua desde la bureta (se colocó a 34 °C).

La cantidad de agua agregada a cada uno de los ingredientes más la que se agrega sola debe ser suficiente como para llegar a las 500 U.F. (la primera vez se puede considerar como una titulación), cuando se realiza el ensayo en si, todos los ingredientes deben ser agregados en un tiempo no mayor que 30 segundos.

10.4.2.3- Una vez alcanzadas las 500 U.F., se termina el amasado cuando se produce una caída de 10 U.F.

10.4.2.4- Terminado el amasado extraer la masa de la amasadora e introducirla en la cuba del zimotaquí-

grafo. Proceder a cerrar la cuba progresiva y alternativamente con las cuatro tuercas correspondientes a la tapa de la cuba.

10.4.2.5 Poner en marcha el zimotaquígrafo.

El registro se produce de inmediato y automáticamente, cada dos minutos y medio, en forma de trazos paralelos, cuya longitud da la media del caudal gaseoso en ese momento.

11- PAN DE MOLDE

METODOLOGÍA APLICADA: Método de EL-DASH

11.1- FORMULACIÓN

MATERIAS PRIMAS	PARTES EN PESO
Harina	100
Levadura prensada	3,0
Sal	1,75
Azúcar	5,0
Grasa	3,0
Agua	Según absorción farinográfica

11.2- PROCEDIMIENTO

11.2.1-AMASADO

11.2.1.1- Se coloca la harina en la amasadora del farinógrafo Brabender de capacidad de 300 g de harina, termostatizado a 30 °C y se la mezcla a baja velocidad, interruptor en posición 1 durante 30 segundos, se pasa el interruptor a posición 2 (la velocidad alta), durante 3 minutos, se sigue amasando a esta velocidad 1,5 minutos más, en total 5 minutos.

11.2.1.2- Cumplidos los 5 minutos, se agregan en el siguiente orden:

4. Levadura disuelta en agua agregada desde la bureta.
5. Azúcar y sal en el mismo vaso, disueltos en agua agregada desde la bureta,.
6. El agua desde la bureta (se colocó a 33 °C).
7. Grasa.

La cantidad de agua agregada a cada uno de los ingredientes más la que se agrega sola debe ser suficiente como para llegar a las 500 U.F. (la primera vez se puede considerar como una titulación), cuando se realiza el ensayo en si, todos los ingredientes deben ser agregados en un tiempo no mayor que 30 segundos.

11.2.1.3- Una vez alcanzadas las 500 U.F., se termina el amasado cuando se produce una caída de 10 U.F..

11.2.1.4- Se toma el tiempo para la fermentación.

11.2.2- ARMADO

11.2.2.1- Se pesa la masa total y se divide 2 (dos) porciones de 150 g cada una

11.2.2.2- Se abollan con el contrapeso y se cuentan 20 vueltas del disco metálico del extensógrafo

11.2.2.3- Cada uno de los bollos (con base mirando al operador) se somete a la acción del rodillo mecánico, donde se forman

11.2.2.4- Se colocan en moldes previamente engrasados.

11.2.3- FERMENTACIÓN

Se realiza durante 105 minutos a partir de la finalización del amasado a 32 °C de temperatura y 80 % de humedad relativa.

11.2.4- HORNEADO

Se realiza con inyección de vapor al comienzo, a 220 °C de temperatura durante 20 minutos.

11.2.5- Una hora después se pesan los panes.

11.2.5- VOLUMEN DEL PAN

El volumen se determina, por desplazamiento de semillas de colza.

Bibliografía

1. Kugler W.F., Godoy E.F. Cereales Mayores. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires 1964.
2. Randle, N. Informe preliminar sobre la calidad de los trigos 2001/2002. Centro Tecnológico GRANOTEC. Buenos Aires Argentina. GRANOTEC 2002.
3. Clavel R. La panadería moderna Editorial AMERICALEE.
4. Hosoney C.R. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial ACRIBIA. 1991.
5. Pomeranz. Wheat chemistry and technology. 2º edición. American Association of cereal chemists, St Poul (Minn), 1971.
6. Cheftel J.C., Cheftel H. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen 1 . 2º edición. Editorial ACRIBIA.
7. Belitz, H. D., Grosch, W. Química de los alimentos. 2º edición. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España 1988.
8. Tratado de molinería.
9. Tarabiono, C.; Manuale pratico per la macinazione del grano. Editorial CHIRIOTTI 1979, Italia
10. Manual de Molinería, KSU, Department of Grain Science and Industry, Kansas State University EEUU.
11. Calaveras, J. Tratado de panificación y bollería 1º edición AMV Ediciones
12. Faridi, H. Rheology of wheat products. The American Association of Cereal Chemists, Inc. Editorial Hamed FARIDI. EEUU 1985.
13. Bühler, molino automático de laboratorio, Modelo MLU-202
14. Equipo Glutomatic - Gluten INDEX PERTEN; manual de instrucciones
15. Alveógrafo CHOPIN; manual de instrucciones.
16. Zimotaquígrafo CHOPIN; manual de instrucciones.
17. FALLING NUMBER 1600; manual de instrucciones.
18. Farinógrafo BRABENDER; manual de instrucciones
19. Locken, L; Loska, S. y Shuey, W. The farinograph Handbook. 2º Edición. Editado por la American Association of Cereal Chemists. Minnesota, EEUU
20. Sultan, William. Practical Baking. 4º Edición. Editorial Van Nostrand Reinhold, New York, EEUU
21. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15850. Determinación del contenido de humedad en trigo, productos y subproductos. IRAM Buenos Aires.
22. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15854- Preparación de la muestra y acondicionamiento para la molienda experimental – parte I. IRAM Buenos Aires
23. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15854- Molienda experimental – parte II. IRAM Buenos Aires
24. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15851 Determinación de cenizas en cereales, trigo y subproductos de la molienda. IRAM Buenos Aires.
25. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15864 Método de determinación del gluten mediante el empleo del GLutomatic. IRAM Buenos Aires.
26. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) Norma 15862 Método de determinación para la actividad de la alfa amilasa (número de caída) según Harberg- Perten. IRAM Buenos Aires.
27. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15875 Determinación del Índice de Sedimentación: Ensayo de Zeleny. IRAM Buenos Aires.
28. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15855 Determinación de la absorción de agua y las propiedades reológicas utilizando el Farinógrafo BRABENDER. IRAM Buenos Aires.
29. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15857 Método de determinación de las características reológicas de la masa utilizando el Alveógrafo de CHOPIN. IRAM Buenos Aires.
30. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15856 Método de determinación de la energía de la masa, resistencia a la extensibilidad, extensibilidad y cifra de proporción con el extensógrafo BRABENDER. IRAM Buenos Aires
31. Zimotaquígrama
32. Método el Dash
33. Sultán, W. Practical Baking. 2º edición. Editorial AVI, Westport, Connecticut, Inc. EEUU. 1969
34. Pomeranz, Y., Schellenberger, J. Bread, science and technology. Editorial AVI, Westport, Connecticut, Inc. EEUU 1971
35. Dizionario di tecnica molitoria. Editorial CHIRIOTTI 1980, Italia