



16
2g

**Universidad Nacional Autónoma
de México**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL TRIGO, SUS HARINAS.
EVALUACION DE TRES VARIEDADES DE TRIGO
(Triticum aestivum.)”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A N :
EDMUNDO RIVERA LOPEZ
JORGE ROMERO BAUTISTA

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. SARA ESTHER VALDEZ MARTINEZ

Cuautitlán Izcalli, Edó. de Méx.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT·N:

Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F. E. S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Estudio de la Calidad del Trigo, sus harinas. Evaluación de tres variedades de Trigo (Triticum aestivum),"

que presenta al pasante: Jorge Romero Bautista
con número de cuenta: 8009852-8 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos ; en colaboración con :
Edmundo Rivera López.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 29 de Febrero de 1996

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Fernando Beristain</u>	
VOCAL	<u>M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. Sara E. Valdés Martínez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. Patricia Muñoz Aguilar</u>	



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N:
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Estudio de la Calidad del Trigo, sus harinas. Evaluación de tres variedades de Trigo (*Triticum aestivum*)."

que presenta el pasante: Edmundo Rivera López

con número de cuenta: 8033882-0 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos ; en colaboración con :
Jorge Romero Bautista,

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 29 de Febrero de 1966

PRESIDENTE I.B.Q. Fernando Beristain

VOCAL M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela

SECRETARIO Dra. Sara E. Valdés Martínez

PRIMER SUPLENTE M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar

[Firmas manuscritas de los miembros del jurado]

DEDICATORIA.

A MIS PADRES;

**LUCIA LOPEZ Y EDMUNDO RIVERA CH.
POR SER POR SIEMPRE LOS MEJORES MAESTROS,
OTORGANDOME CON CARINO Y EJEMPLO,
LA MEJOR HERENCIA DE LA VIDA;
MI EDUCACION Y PREPARACION.**

A MI ADORADA ESPOSA;

**LUPITA.
POR SU AMOR, APOYO Y PACIENCIA.**

A MIS HIJOS;

**EDMUNDO Y MITZI.
POR EL AMOR Y ENERGIA QUE HAN GENERADO
EN MI DESDE SU LLEGADA.**

A MIS HERMANAS;

**ROSA, SANDRA Y MIRIAM.
POR SU APOYO Y ALEGRIAS EN TODO
MOMENTO A LO LARGO DE NUESTRAS
VIDAS.**

**A MIS FAMILIARES, AMIGOS Y TODAS AQUELLAS PERSONAS;
QUE SON PARTE DE MIS SUEÑOS.**

DEDICATORIA.

A MIS PADRES;

**JOSE MARIA Y ANGELA
POR QUE CON SU ESFUERZO, EJEMPLO, APOYO Y
SACRIFICIO HAN LOGRADO DARME LA MEJOR
HERENCIA QUE PODRIA ESPERAR; LA PREPARACION.**

A NOHEMI;

**MI ESPOSA;
POR QUE HA SABIDO SER PACIENTE Y CARIÑOSA
CONMIGO Y UNA EXCELENTE MADRE PARA MIS
HIJAS.**

A PAOLA Y GIOVANA;

**MIS HIJAS;
POR QUE DESDE QUE EXISTEN EN MI VIDA HAN SIDO
EL MOTIVO PARA LUCHAR CON MAS FUERZA.**

A MIS HERMANOS;

**ALBERTO, JOSE LUIS, LUPITA Y LETICIA;
POR LO QUE COMPARTIMOS DESDE NIÑOS Y
CONSERVAMOS COMO ADULTOS, CARIÑO Y RESPETO.**

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS;

POR QUE TODOS ELLOS FORMAN PARTE DE MI MUNDO.

AGRADECIMIENTOS.

A LA DRA. SARA ESTHER VALDEZ M. POR SU INVALUABLE APOYO Y PACIENCIA PARA LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO.

AL MOLINO LA ESPIGA, EN ESPECIAL A LOS INGENIEROS IGNACIO GIL Y MIGUEL ANGEL VELASCO POR LAS FACILIDADES OTORGADAS.

AL LOS DOCTORES ARNOLDO AMAYA Y JAVIER PEÑA DEL CIMMYT POR SU ORIENTACION Y COMPRESION.

A LOS CUATES, CON QUIENES COMPARTIMOS NUESTRAS VIVENCIAS MES A MES.

A LA FES - CUAUTITLAN (UNAM).

INDICE

INTRODUCCION.	
I.- GENERALIDADES.	
I.1 HISTORIA DEL TRIGO.....	1
I.2 CONDICIONES DE CULTIVO.....	2
I.3 FITOMEJORAMIENTO.....	5
I.4 CLASIFICACION DEL TRIGO.....	5
I.5 PRODUCCION.....	8
I.6 USOS QUE SE LE DAN AL TRIGO.....	12
II.- EL GRANO DE TRIGO.	
II.1 ESTRUCTURA Y COMPOSICION DEL GRANO DE TRIGO.....	13
II.2 EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL GRANO DE TRIGO EN RELACION A SU CALIDAD MOLINERA.....	17
II.3 ANALISIS BROMATOLÓGICOS.....	24
III.- PARAMETROS DE CALIDAD Y COMPOSICION DE EL HARINA EN RELACION A SU USO INDUSTRIAL.	
III.1 PARAMETROS DE CALIDAD.....	28
III.2 COMPOSICION Y FUNCIONALIDAD.....	28
III.2.1 HUMEDAD.....	28
III.2.2 PROTEINAS.....	29
III.2.3 CARBOHIDRATOS.....	32
III.2.4 LIPIDOS.....	34
III.2.5 ENZIMAS.....	35
III.2.6 COLDR.....	37
III.2.7 MINERALES.....	38
III.2.8 GRANULACION.....	38
III.2.9 MICROBIOLÓGICOS.....	39
III.2.10 MEJDRADORES DE HARINA.....	39
IV.- FUNDAMENTOS DE LA REOLOGIA DE LA MASA DE HARINA DE TRIGO.	
IV.1 ANTECEDENTES.....	42
IV.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICION DE LA MASA.....	47
IV.3 FUNDAMENTOS DE LA MEDICION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LAS MASAS.....	53
IV.4 FACTORES FISICOS Y QUIMICOS QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS.....	72
IV.5 PROPIEDADES REOLOGICAS DE DIFERENTES TIPOS DE HARINA.....	74
V.- OBJETIVOS.....	76
VI.- METODOLOGIA.....	77
VII.- RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.	
VII RESULTADOS.....	82
VIII.- CONCLUSIONES.....	103
IX.- RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA.	
APENDICE.	

INDICE DE FIGURAS.

01 ZONAS PARA LA PRODUCCION DE TRIGO.....	2
02 EL GRANO DE TRIGO.....	13
03 DIAGRAMA DE MOLIENDA.....	21
04 PROTEINAS DE LA HARINA.....	31
05 DIAGRAMA REOLOGICO.....	46
06 CLASIFICACION REOLOGICA DE LOS MATERIALES.....	47
07 PORCENTAJE DE PROTEINAS vs USOS DEL HARINA.....	50
08 MOVIMIENTO BROWNIANO.....	52
09 DIAGRAMA REOLOGICO DEL HARINA.....	54
10 EL FARINOGRAFO.....	59
11 CURVA DEL FARINOGRAMA.....	60
12 CURVA DEL FARINOGRAMA.....	61
13 EL AMILOGRAFO.....	62
14 CURVA DEL AMILOGRAFO.....	63
15 FALLING NUMBER.....	65
16 GRAFICA PARA EL FALLING NUMBER.....	65
17 EL ALVEOGRAFO.....	66
18 CURVAS DEL ALVEOGRAFO.....	67
19 EL EXTENSOGRAFO.....	70
20 CURVA DEL EXTENSOGRAFO.....	71
21 SISTEMA DE TRES FASES.....	72
22 DIAGRAMA METODOLOGICO.....	77

INDICE GRAFICAS.

01 OFERTA TDAL DE TRIGO DE 1960-1990.....	11
02 RELACION DEL GRADO DE EXTRACCION CON EL COLOR Y % CENIZA.....	37
03 FARINOGRAMA.....	87
04 ALVEOGRAMA.....	92
05 EXTENSOGRAMA vs. ALVEOGRAMA.....	97
06 RELACION ENTRE PARAMETROS DE CALIDAD.....	101

INDICE DE TABLAS.

D1 CALENDARIO MUNDIAL DE COSECHA DE TRIGO.....	4
02 EPOCAS DE SIEMBRA EN MEXICO.....	4
03 CLASIFICACION BOTANICA DEL TRIGO SEGUN BOWDEN.....	6
04 CLASIFICACION BOTANICA DEL TRIGO SEGUN VAVILOV.....	7
05 CLASIFICACION DEL TRIGO EN MEXICO.....	8
06 CRECIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE CULTIVO.....	9
07 PRODUCCION MUNDIAL DE TRIGO POR PAISES.....	10
08 COMPOSICION DEL GRANO DE TRIGO EN SUS DIFERENTES PARTES.....	17
09 CLASES DE GLUTEN.....	69
10 PARAMETROS DE CALIDAD PARA LA EVALUACION DE HARINAS.....	75
11 PARAMETROS DE CALIDAD, NORMA OFICIAL MEXICANA.....	75
12 RESULTADOS FISICOQUIMICOS: GRANO ENTERO.....	82
13 RESULTADOS FISICOQUIMICOS: HARINA.....	84
14 RESULTADOS REOLOGICOS: HARINA.....	86

I.- GENERALIDADES.

I.1) HISTORIA DEL TRIGO.

Los datos más antiguos que se tienen acerca del grano de trigo datan de varios miles de años atrás. En el Royal Archeological Museum de Londres, se tienen figuras con una edad de 5 000 a 6 000 años y en las cuales se puede apreciar el uso del grano de trigo en el triturado y amasado para elaboración de pan, precisamente una de estas figuras se llama "Panadera amasando harina".

Estudios más recientes indican que en excavaciones hechas en el cercano Oriente se deduce que, al parecer, hubo dos clases de trigos silvestres en esa región hace aproximadamente 10 000 años. Dichas especies se cosechaban en un principio en forma silvestre, posteriormente fueron cultivadas por tribus nómadas de la región. Ambas especies se combinaron e hibridaron dando origen a un trigo con mejores características de cultivo, el cual prevaleció por varios miles de años dando origen, hace casi 2.000 años, a uno de los dos trigos más cultivados en la actualidad: el trigo durum⁽¹⁾.

Las especies silvestres llamadas Einkorn y Emmer, dieron lugar a los híbridos Einkorn y Emmer cultivados. La especie Emmer cultivada resulto mucho mejor que sus progenitores y permaneció dominante hasta dar origen al trigo Durum, que presenta propiedades aún mejores.

La especie Emmer cultivada se extendió a través del cercano Oriente, Africa del Norte, Europa y Asia Menor, donde se combinó con otro trigo de nombre Aegilops squarrosa, dando como resultado de esta hibridación el trigo Espelta, el cual presentó buenas características para la manufactura del pan. Este último no se adaptó bien a su región de origen, pero si a Europa, donde se convirtió en uno de los trigos más cultivados.

Del trigo Espelta se derivó el trigo común como resultado de una mutación natural, este trigo común fué denominado posteriormente por Bowden como Triticum aestivum, misma clasificación en que al Durum se le denomina Triticum durum^(1,2).

El trigo llegó a México traído por los españoles a principios de la década de los 20 del siglo XVI, desde entonces el cultivo del trigo fué ganando terreno

y en la actualidad ocupa el tercer lugar dentro de los 15 cultivos importantes en la economía del país^(1,2).

1.2) CONDICIONES DE CULTIVO.

Las condiciones climáticas que requiere el trigo para crecer se pueden generalizar de la siguiente manera: Se produce en regiones templadas y frías situadas desde 15° hasta a 60° de latitud norte y de 27° a 40° de latitud sur. El cultivo de trigo se extiende desde las regiones más meridionales de América hasta el Ártico, a altitudes que oscilan desde el nivel del mar hasta por encima de los 3 000 metros tal como se muestra en la Figura 1⁽³⁾.

FIGURA 1
ZONAS PARA LA PRODUCCION DE TRIGO



Los factores de mayor importancia para la producción agrícola de trigo con miras a la panificación son: a) el régimen de lluvias y su distribución por estaciones, y b) las condiciones climatológicas durante la siega y el desarrollo. Si no se dispone de riego artificial el trigo necesita como mínimo de 230 a 250 mm de lluvia anuales y como máximo de 760 mm. Las condiciones de temperatura varían considerablemente, pero se puede decir que las temperaturas para el mejor desarrollo del trigo van de los 10° a los 25°C. Durante el periodo de crecimiento es deseable que la temperatura sea baja y la humedad moderada, en contraste, en la recolección, se prefiere un ambiente seco

y caluroso (temperatura no menor a 13°C). para evitar crecimiento de hongos o germinación en la espiga ⁽³⁾.

Las variedades de trigo expresan su mejor potencial de rendimientos cuando la fertilidad del suelo es adecuada. El suelo tiene tres funciones importantes en la producción agrícola:

- a) asiento de la producción, dar lugar al cultivo.
- b) proporcionar los materiales nutritivos que el cultivo necesita.
- c) facilitar las fuerzas físicas, químicas y biológicas (considerando al suelo como un material que tiene vida y debe preservarse, para conservar la fertilidad).

La preparación física que se haga al suelo para la siembra es importante a fin de facilitar:

- el movimiento de gravitación y capilar del agua y circulación de aire.
- facilitar labores de preparación de terreno previo a la siembra.
- facilitar la siembra.

La preparación química del suelo se debe llevar a cabo con la finalidad de:

- incorporar materia orgánica o residuos de cosechas para favorecer su descomposición por reacciones químicas, lo que aumenta la fertilidad y productividad del suelo.

- fijación de macroelementos como N, P, K, S, C, Ca. y microelementos como Mg, Fe, Zn, Cu, Mo y Ba.

La preparación biológica se da cuando:

- por efecto de la descomposición de la materia orgánica, aumenta la actividad microbiana para acelerar la descomposición.
- el Nitrógeno de la materia orgánica se hace disponible en forma de nitratos con la preparación del suelo.

Los trigos a pesar del gran número de variedades se pueden clasificar de acuerdo a la época de cultivo:

De invierno y de primavera.

El trigo que es recolectado en invierno se siembra en otoño.

El trigo de primavera se siembra a inicios de la primavera y se recolecta antes de que comienzan las heladas de otoño. En la TABLA 1 se enlistan las diferentes épocas de siembra y cosecha en diferentes partes del mundo y en la TABLA 2 se presenta la fecha de siembra y cosecha en México por zonas⁽²⁾.

TABLA 1
(CALENDARIO MUNDIAL DE COSECHA DE TRIGO)

	SIEMBRA PRIMAVERA	SIEMBRA INVIERNO	RECOLECCION
RUSIA	MZO - MAY	AGO - NOV	JUL - SEP
U.S.A	MZO - MAY	AGO - OCT	JUL - SEP
FRANCIA	MZO - ABR	OCT - OIC	JUN - AGO
CANADA	ABR - MAY	AGO - SEP	JUL - SEP
AUSTRALIA		ABR - JUL	NOV - ENE
ALEMANIA	MZO - ABR	SEP - OCT	JUL - AGO
ITALIA	FEB - MZO	OCT - NOV	JUN - JUL
CHINA	ABR - MAY	SEP - OCT	MAY - AGO
INDIA	OCT - OIC		MZO - MAY
TURKIA		OCT - NOV	JUL - AGO
ARGENTINA		ABR - AGO	NOV - ENE
BRASIL		MZO - JUL	SEP - ENE
MEXICO	MAY	SEP - ENE	ABR - JUN

FUENTE: ⁽¹⁾ KENT JONES AÑOS, QUÍMICA MODERNA DE LOS CEREALES; ED. AGUILAR; pp.

TABLA 2
(EPOCAS DE SIEMBRA EN MEXICO)

ZONA	ESTADO	EPOCA DE SIEMBRA
I	SONORA, SINALOA, BAJA CALIFORNIA	10 NOV. - 31 OIC.
II	REGION LA LAGUNA	01 NOV. - 31 ENE.
III	MESA CENTRAL	10 OIC. - 31 OIC.
IV	ZACATECAS	15 ENE. - 30 ENE.
V	NAVIOAD, RAICES, NUEVO LEON	20 ENE. - 28 FEB.
VI	VALLE DE TOLUCA	20 OIC. - 05 ENE.

FUENTE: ⁽¹⁾ GAROLA, CHARLES, VICTOR; CEREALES I - NORMAS GENERALES DE CULTIVO; ED. : pp.

I.3) FITOMEJORAMIENTO.

Para el agricultor el margen de ganancia está en función de la productividad (rendimiento por hectárea) de la variedad cultivada de trigo. Con la finalidad de tener un buen margen, es necesario obtener un buen rendimiento en su cosecha y ofrecer una calidad de grano acorde con las necesidades específicas del mercado.

Para lograr esto, el agricultor recurre a los organismos de investigación (INIFAP en México), donde el fitomejorador busca obtener mejores variedades de trigo, utilizando las características hereditarias de la especie, logrando finalmente nuevas variedades que sean mejores en algunas características importantes.

De esta forma se pueden mencionar los objetivos generales del fitomejorador:

- a) Aumentar el rendimiento del grano, mejorando características tales como:
 - morfología o estructura de la planta y de la espiga.
 - resistencia al frío.
 - resistencia a los insectos.
 - resistencia a las enfermedades.
- b) Mejorar la calidad de molienda y panificación ⁽²⁾.

I.4) CLASIFICACIÓN DEL TRIGO.

La planta de trigo es un miembro de la familia de las GRAMINEAS, que comprende unos 600 géneros y más de 500 especies. Aunque las gramíneas tienen gran diversidad de aspectos, presentan gran número de similitudes en la estructura de las raíces, los tallos y las hojas.

La clasificación del trigo que se utiliza en la actualidad fue hecha por Bowden, de acuerdo al origen Botánico de este. La TABLA 3 muestra dicha clasificación que involucra el número de cromosomas, su fórmula, el sinónimo y su nombre común⁽¹⁾.

Otra clasificación es dada por Vavilov, y complementa la clasificación dada por Bowden, la TABLA 4 la muestra, en ésta se involucran el número de grupo a que pertenece cada especie, si el grano está cubierto o desnudo y si estos son cultivados o no^(1,3).

TABLA 3
(CLASIFICACION BOTANICA DEL TRIGO SEGUN BOWDEN)

	FORMULA	SINONIMO	NOMBRE COMUN
1. - DIPLOIDES T. monococcum L. Tipos silvestres	A	T. boeoticum T. thacudar T. monococum	Einkorn-silvestre Einkorn cultivado
2. - ALLOPOLOIDES a) Alotetraploides T. turgidum t. dicocoides (Kornl) B cultivados Uiccocum Bowden Durum Desf. Turgidum Polonicum Carthlicum	AB	T. dicocoides T. dicocum T. durum T. turgidum T. polonicum T. carthlicum	Emmer silvestre Emmer cultivado Duro Trigo ramificado Trigo polaco Trigo persico
Var. T. timopheevii Tipos silvestre Cultivados	AB o AG	T. araratium T. areriacum T. timopheevii	
T. zhukovskiy solo cultivados b) Alohexaploides	AAB o AAG		
T. aestivum L. Cultivados Spelta Vavilovii Aestivum Compacto Esphaerococcum	ABD	T. spelta T. vavilovii T. aestivum T. sphaerococcum	espelta Trigo comun trigo manicion

FUENTE: (1) ROBLES SANCHEZ, RAUL; PRODUCCION DE GRANOS Y FORRAJES; ED. pp.

Estas dos clasificaciones botánicas dividen al grano de trigo por especies, por lo que estas tendrán un determinado número de variedades, que como ya se mencionó, tendrán características similares.

En ambas clasificaciones se encuentran las especies *Triticum durum*, *Triticum aestivum* y *Triticum compactum*. Las primeras dos especies son las mas cultivadas en México y el resto del mundo y en menor proporción la tercera, por lo que las primeras se describirán más a fondo.

Las variedades que están dentro de la especie *Triticum durum*, comúnmente llamada trigo duro o cristalino, tienen algunas características generales que las distinguen de la especie *Triticum aestivum*, y son:

- Su semilla es mas vitreosa.
- Contiene un mayor contenido de pigmentos (carotenoides).
- Su contenido de minerales es mayor.
- Su gluten es de muy baja extensibilidad.

TABLA 4
(CLASIFICACION BOTANICA DEL TRIGO SEGUN VAVILOV)

	No DE GRUPO	NOMBRE COMUN	PASES COMO SOMAS	CULTIVADO?	GRANO
T. AEGILOPOIDES	I	EINKORN SILVESTRE	7	NO	CUBIERTO
T. MONOCOCCUM	II	EINKORN CULTIVADO	7	SI	CUBIERTO
T. DICOCCOIDES	III	EMMER SILVESTRE	14	NO	CUBIERTO
T. DICOCCUM	IV	EMMER CULTIVADO	14	SI	CUBIERTO
T. DURUM	V	TRIGO MACARRON	14	SI	DESMUDO
T. PERSICUM	VI	TRIGO PERSICO	14	SI	DESMUDO
T. TURGIDUM	VII	TRIGO REMACHE	14	SI	DESMUDO
T. POLONIUM	VIII	TRIGO POLACO	14	SI	DESMUDO
T. TIMOPHEVI	IX		21	SI	CUBIERTO
T. AESTIVUM	X	TRIGO COMUN	21	SI	DESMUDO
T. SPIAEOCCOCCUM	XI	TRIGO PERDIGON	21	SI	DESMUDO
T. COMPACTUM	XII	TRIGO CLAVA	21	SI	DESMUDO
T. SPELTA	XIII	TRIGO ESPelta	21	SI	CUBIERTO
T. MANCHA	XIV	TRIGO MACHA	21	SI	CUBIERTO

FUENTE: (1) ROBLES SANCHEZ, RAUL ; PRODUCCION DE GRANOS Y FORRAJES; ED. : pp.

Debido a estas características las variedades de la especie *Triticum durum* son utilizadas para la fabricación de pastas alimenticias, ya que el producto final tiene características muy particulares en su apariencia, estructura y consistencia.

La especie *Triticum aestivum* comúnmente llamada trigo harinero, es generalmente utilizada para la manufactura del pan, sin embargo, debido a la gran variedad de tipos de panes que se encuentran en el mercado a nivel mundial, esta especie es clasificada en dos grandes grupos, a) Trigos suaves y b) Trigos fuertes. Esta subclasificación está dada por las características de fuerza de masa que presentan las harinas obtenidas de esta especie. dichas características están basadas en la composición del grano, principalmente de las proteínas, que dependen básicamente del control genético, pero que se ven afectadas por factores como:

- Resistencia a enfermedades.
- Medio ambiente.
- Prácticas de cultivo.

- Manejo post-cosecha del grano.

Existen otras clasificaciones de acuerdo con:

La textura del endospermo; debido a que esta característica del grano está relacionada con la forma de romperse durante la molienda y puede ser de textura vitrea, harinosa o mixta.

En base al contenido de proteína; debido a que las propiedades funcionales de la harina y los usos a los cuales se destina, dependen del contenido de proteína.

En México los trigos se clasifican en cinco grupos como se muestra en la TABLA 5.

**TABLA 5
(CLASIFICACION DEL TRIGO EN MEXICO).**

GRUPO FUERTES	GRUPO MEDIO FUERTES	GRUPO SUAVES	GRUPO TENACES	GRUPO CRISTALINOS
Gluten fuerte, elástico, para la industria mecanizada de la panificación. Mejoradores de trigos débiles en los molinos.	Gluten medio fuerte, elástico. Para la industria del pan hecho a mano. Mejorador de trigos débiles.	Gluten débil, suave, extensible. Para la industria galletera.	Gluten corto, tenaz. Para la industria pastelera y galletera.	Gluten corto, tenaz. Para la industria de las pastas y macarrones.

Los del grupo 1 y 2 (fuerte y medio fuerte) son tipo panadero y se producen principalmente en el noreste del país. El grupo 3 está constituido por los trigos suaves que se producen en el resto de la República, incluyendo el Bajío. El grupo 4 (tenaces) se denomina semicristalino. El trigo cristalino se clasifica en el grupo 5 (cristalinos). Estos dos últimos grupos se producen en el noroeste⁽⁷⁰⁾.

Los tipos de trigo se pueden clasificar también en "Duros y Blandos" o en "Fuertes y Débiles". La clasificación botánica es la mas adecuada, ya que las otras no siempre cumplen las características mencionadas por el gran número de variedades existentes de cada especie.

I.5) PRODUCCIÓN.

La producción de trigo en México oscila en los cuatro millones de toneladas anuales que se distribuyen en diferentes sectores de consumo. En referencia al mercado mundial, la producción nacional representa únicamente un 0.75% del total

de trigo producido.

Un estudio hecho por el Programa de Economía del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), indica como la producción de trigo ha tenido sustanciales incrementos, principalmente como resultado de mejoras en los rendimientos por hectárea ⁽⁴⁾.

De las 519,269 miles de toneladas que se produjeron entre 1985-1987, los principales países en desarrollo contribuyeron con 213,968 miles de toneladas (41.2%). Los países desarrollados con 181,853 miles de toneladas (35%), y Europa del Este y la URSS con 123,448 miles de toneladas (23.8%).

Las tasas de crecimiento tanto de la superficie sembrada, como del rendimiento del trigo a partir de 1985 han sido mayores para los países en desarrollo, hecho que puede ser apreciado en la TABLA 6⁽⁴⁾.

**TABLA 6
(CRECIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE CULTIVO).**

	PAISES DESARROL- LADOS	ECONOMIAS DE MERCADO DESA- RROLLADAS	ESTE DE EUROPA Y LA URSS	TODO EL MUNDO
1 - Población estimada 1987 (millones).	3,769.2	803.8	421.9	4,995.0
2 - Ingreso per cápita 1986 (\$USA)	616	12,296		2,769
3 - Producción de cereales per cápita 85-87 (kg/año)	252	740	741	373
4 - Superficie cosechada 85-87 (miles de ha)	100,363	67,837	58,884	227,084
5 - Rendimiento de trigo 85-87 (ton/ha)	2.1	2.7	2.1	2.3
6 - Producción de trigo 85-87 (miles de ton)	213,968	181,853	123,448	519,269
7 - Tasa de crecimiento de la superficie sembrada con trigo 48-50 a 85-87 (%/año)	1.4	0.2	0.6	0.8
8 - Tasa de crecimiento de la superficie sembrada con trigo 75-77 a 85-87 (%/año)	0.7	0.4	1.9	0.1
9 - Superficie triguera como % de la superficie total cultivada con cereales 85-87.	24	44	42	32
10 - Importaciones netas de trigo, 85-87 (miles de ton).	51,250	70,184	17,789	

FUENTE: (4) CIMMYT 1987-1988: HECHOS Y TENDENCIAS MUNDIALES RELACIONADAS CON EL TRIGO: pp.

Los países considerados dentro del término en Desarrollo son 146 entre los que se incluye a: México, Argentina, Brasil, China, India, Pakistán, Afganistán, Turquía y Arabia Saudita que son los mayores productores en este rubro.

Los países Desarrollados involucran a 36 naciones que producen trigo, entre los que se encuentra a: Estados Unidos, Canadá, URSS, Australia, Reino Unido, Francia, Alemania e Italia, entre otros.

En la TABLA 7 se observa la producción de cada uno de los países en Desarrollo y en vías de Desarrollo.

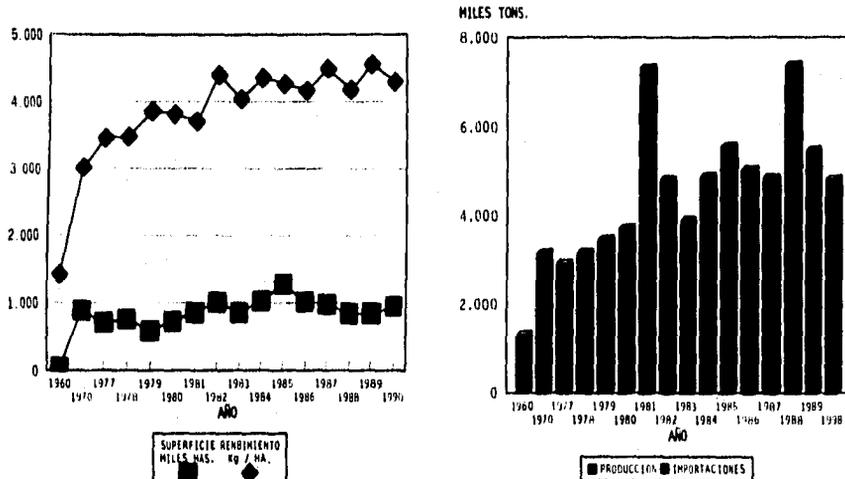
**TABLA 7
(PRODUCCION MUNDIAL DE TRIGO POR PAISES Miles Ton.).**

PAISES EN DESARROLLO				PAISES DESARROLLADOS			
CHINA	87875	TUNES	1071	URSS	84565	SUDAFRICA	2367
INDIA	45566	IRAK	1055	USA	60073	DINAMARCA	2153
TURQUIA	18332	ETIOPIA	800	FRANCIA	27631	GRECIA	2109
PAQUISTAN	12547	COREA DEL N	773	CANADA	27324	SUECIA	1544
ARGENTINA	9167	HONGOLIA	682	AUSTRALIA	14909	AUSTRIA	1476
IRAN	7388	NEPAL	611	REINO UNIDO	12586	BELGICA	1206
BRASIL	5353	PARAGUAY	264	REP FED ALEM	10068	PAISES BAJOS	853
MEXICO	4798	URUGUAY	262	ITALIA	8975		
AFGANISTAN	2767	KENIA	261	POLONIA	7301		
MARRUECOS	2762	ZIMBAWE	223	RUMANIA	6495		
EGIPTO	2174	BIRMANIA	196	HUNGRIA	6028		
ARABIA SAUDITA	2164	LIBIA	166	CHECOSLOVAQUIA	5827		
SIRIA	1773	SUDAN	145	ESPAÑA	5163		
CHILE	1555	PERU	115	YUGOSLAVIA	4969		
ARGENTIA	1242	TANZANIA	72	REP DEM ALEM	4090		
BANGLADESH	1179			BULGARIA	3631		

FUENTE: (4) CIMMYT 1987-1988. HECHOS Y TENDENCIAS MUNDIALES RELACIONADOS CON EL TRIGO: pp.

En la GRAFICA 1 se aprecia la superficie sembrada, el rendimiento de trigo por hectarea, las producciones desde 1960 y el consumo aparente en México al tomar en cuenta las importaciones, que se realizan para completar la demanda de trigo en nuestro país ⁽⁵⁾.

**GRAFICA I
(OFERTA TOTAL DE TRIGO DE 1960 - 1990)**



FUENTE: (5, 6); BARRANCO, ROBERTO; PRODUCCION Y DISTRIBUCION DEL TRIGO EN MEXICO; REVISTA MENSUAL PAM; AÑO XXXVIII; ABRIL 1991; pp. 11

Las principales zonas productoras de trigo son el Noroeste que contribuye con el 66% de la producción nacional, y el Bajío, que cosecha el 24%. Por entidades federativas, los mayores productores son Sonora con el 33%, Sinaloa con el 25% y Guanajuato con el 15%.

En la actualidad existen 136 molinos registrados en la Comisión Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO, cifras oficiales de 1988) pero solo se cuenta con información sobre 127 de ellos. Los molinos registrados poseen una capacidad instalada de 194,000 toneladas/día, pero la capacidad utilizada es aproximadamente 82%, es decir, 158,000 ton/día^(5, 6)

La capacidad de los molinos varía: existen 55 molinos que muelen menos de 100 ton. diarias, 57 que muelen entre 100-300 ton. y solamente 15 molinos que tienen una capacidad de molienda mayor a 300 ton/día. Estas cifras están cambiando en la actualidad, en virtud que diferentes molinos están implementando nueva tecnología para aumentar su capacidad de molienda.

Podemos observar, en función de las diferentes cifras, la necesidad de nuestro país de importar trigo. Las causas principales son, en primer término, que la oferta o producción nacional es muy cercana a la demanda o consumo de la industria molinera, y, en segundo término, se conoce que aunque

no existen cifras exactas, aproximadamente un 10% de la producción nacional es trigo cristalino y la mayor parte de los molinos no están en condiciones de molerlos. Asimismo, existen mermas del 3.2% y otros usos para el trigo: consumo animal 7.6% y semilla 3.3.%^(5,6).

1.6 USOS QUE SE DAN AL TRIGO.

El trigo es una fuente importante de nutrientes, es por ello que el hombre ha ido diversificando la manera de consumirlo. Su principal uso ha sido la fabricación de pan, sin embargo, a través de los años se han incrementado los productos elaborados a partir del trigo, algunos ejemplos son:

- Galletería.
- Panadería (diferentes tipos de pan).
- Pastelería.
- Tortillas.
- Pastas alimenticias.

Uno de los usos que ha adquirido mucha importancia es la elaboración de pastas para sopa.

En menor proporción se consume como fuente de almidón, donde se obtienen subproductos como: jarabes, almidones modificados, dextrinas y azúcares. A últimas fechas se ha incrementado el trigo como cereal para desayunos (trigo inflado), y como fuente para la extracción de gluten. Por último en una proporción muy baja se utiliza para consumo animal.

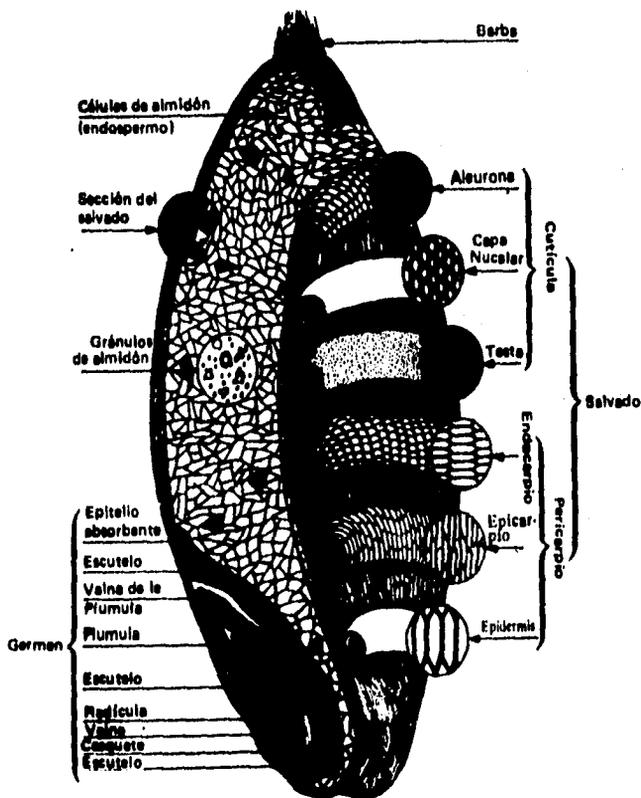
El trigo total disponible en México, se divide en panificación 70% (artesanal e industrial), galletas y pastas 11% y, el restante 19% a otros usos como consumo doméstico, botanas, tortillas, restaurantes, hotelería, y usos industriales principalmente^(5,6).

II.- EL GRANO DE TRIGO.

II.1 ESTRUCTURA Y COMPOSICION DEL GRANO DE TRIGO.

La FIGURA 2 muestra un esquema del grano de trigo, el cual tiene en promedio 8 mm de longitud y un peso de 35 mg, sin embargo el tamaño varía ampliamente dependiendo de algunos factores como: a) La especie, b) la variedad, c) el medio ambiente, d) las condiciones de cultivo ⁽²⁷⁾

**FIGURA 2
EL GRANO DE TRIGO**



FUENTE: (53) SCADD, J., (1981), "CEREALES", ED. ACRIDIA.

El grano de trigo está redondeado en el lado dorsal (el lado donde se localiza el germen) y tiene un pliegue longitudinal del lado ventral (opuesto al germen). El pliegue recorre casi toda la longitud del grano, y su profundidad puede ser enmascarada si las dos caras divididas por el pliegue se juntan. Este pliegue dificulta la separación del salvado durante la molienda y forma un lugar apropiado donde se pueden alojar microorganismos y polvos.

El grano de trigo presenta un color usualmente blanco o rojo, aunque también se conoce el morado. El color está dado por los pigmentos en la semilla, cuya presencia y tipo están bajo control genético.

El grano de trigo está compuesto por tres partes principales:

- 1) Salvado (pericarpio y cutícula).
- 2) Endospermo.
- 3) Germen.

Estas partes pueden ser vistas en la FIGURA 2 en un esquema de la sección longitudinal de un grano de trigo^(7,9,10,27,34).

1) SALVADO. El pericarpio envuelve enteramente a la semilla actuando como protector. Microscópicamente, el pericarpio está compuesto por varias capas. Estas son, en orden de la parte externa hacia el centro del grano:

- a) Epidermis.
- b) Hipodermis.
- c) Remanente de pared celular.
- d) Células intermedias.
- e) Células cruzadas.
- f) Células tubulares.

Las tres primeras capas componen al pericarpio externo y las tres restantes pertenecen al pericarpio interno (Endocarpio).

Las células de la parte externa del pericarpio se alargan en dirección longitudinal del grano. La capa celular transversal del interior del pericarpio está formada por células alargadas en el sentido transversal del grano. La capa más interna del grano se rasga considerablemente durante la molienda y está representada en el grano maduro por una capa de células blanquecinas parecidas a hifas que reciben el nombre de células tubulares.

El total del pericarpio, (alrededor del 5% del grano) tiene una composición aproximada de 6% de proteínas, 2% de cenizas, 20% de celulosa, 0.5% de grasa, con el resto de pentosanas y fibras.

En la capa de la semilla (cutícula) se pueden distinguir varias capas; la cutícula externa (testa), una "capa de color" (epispermo) que contiene pigmentos, capa nucelar y una cutícula interna (capa de aleurona). El grosor de la capa de la semilla varía de 5 a 8 micrómetros.

La cutícula está compuesta por proteínas (12 - 19.5%), cenizas (12.6 - 20.2%), fibra cruda (1.0 - 1.2%), grasa (0.17%) y pentosanas (13.8 - 15.7%).

La capa nucelar, es incolora y no posee estructura celular. A esta capa se le consideró como una cubierta impermeable que impedía el paso del agua a través del salvado, sin embargo, la capa impermeable es la testa. La epidermis nucelar o capa hialina, tiene un ancho aproximado de 7 micrómetros y está estrechamente unida a la cubierta de la semilla y capa de aleurona.

El pericarpio y la testa se componen principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. De fuera hacia adentro disminuyen las cantidades de materia fibrosa y aumentan capas de proteína y minerales. El pericarpio contiene la mayor parte de fibras y una gran proporción de minerales y vitaminas^(2,7,8,37).

2) El ENDOSPERMO está compuesto de almidón (en algunos casos se considera a la capa de aleurona como parte del endospermo)⁽²⁾.

La capa de aleurona consiste en una capa sencilla formada por células cúbicas de paredes gruesas, cuyo contenido está libre de almidón pero es rico en proteína y grasa así como cenizas, fósforo total, fitato de sodio y niacina.

Su contenido de tiamina y riboflavina es elevado y la actividad enzimática es alta. Esta capa representa aproximadamente el 9 % del grano y es rica en proteínas^(7,8).

Todas las capas del pericarpio, la testa y la capa hialina rodean el endospermo, abrazando la arruga y formando una cubierta flexible sobre el germen. Sin embargo, la capa de aleurona que morfológicamente forma parte del endospermo rodea sólo la parte almidonosa de éste y cesa donde ésta parte almidonosa linda con el escutelo (que forma parte del germen).

El Endospermo de almidón, excluyendo la capa de aleurona, está compuesto por tres tipos de células, periperal, prismático y central.

Las células varían en tamaño, forma y localización dentro del grano. Las que están junto a las células de aleurona (endospermo periférico) son pequeñas y de forma cúbica, otras son alargadas en dirección radial (células prismáticas del endospermo) volviéndose grandes y poligonales (células centrales del endospermo) las de la parte central.

La pared de células dentro del endospermo está compuesta por pentosanas, hemicelulosas y beta glucanos (pero no celulosa). La pared celular que está constituida principalmente por hemicelulosas varía de acuerdo al tipo de trigo.

El endospermo junto con la pared celular conforman el harina. Los gránulos de almidón se encuentran en las células dentro de una matriz proteica del trigo que es principalmente gluten y que funciona como almacén proteico.

3) El germen o embrión del trigo comprende del 2,5 al 3,5% del grano. está compuesto de: escutelo, plúmula, radícula, vaina, casquete y vaina de la plúmula.

El germen contiene: proteínas (25%), azúcar (18%), aceite (16% del eje embrionario y 31% de aceite en el escutelo) y cenizas (5%). El germen no contiene almidón pero sí niveles considerables de vitamina B1 y muchas enzimas. El germen presenta alto contenido de vitamina E (total de tocoferol), con valores por encima de 500 ppm. Los azúcares son generalmente sacarosa y rafinosa^(2,9,10,20,27).

La tiamina y otras vitaminas del grupo B se hayan presentes en grandes cantidades en el embrión, y aproximadamente el 30 % de su peso es aceite con una gran proporción de ácidos grasos no saturados, es también una fuente natural de las más ricas en vitamina E (260 mg por cada 100 g), se estima que el 50 % de la vitamina E del trigo se encuentra en el embrión^(7,8).

En la TABLA 8 se da la composición de cada una de las partes que constituyen al grano de trigo. Se puede observar que la totalidad del almidón se encuentra en el endospermo. En el embrión y escutelo se localiza el mayor porcentaje de azúcares reductores así como las grasas. Las pentosanas y otros carbohidratos están distribuidos principalmente entre el pericarpio, testa, capa hialina y capa de aleurona. La distribución de las proteína cruda es: embrión (26%), capa aleurona (24%), endospermo (16%), testa (15,5%). Las cenizas se localizan en su mayoría en la capa de aleurona, testa, capa hialina y pericarpio, aunque una pequeña fracción se encuentra en el embrión y escutelo^(9,34).

TABLA 8
(COMPOSICION DEL GRANO DE TRIGO EN SUS DIFERENTES PARTES)

Valores dados en base al 13% de Humedad y las calorías estan dadas en 100 g de producto.

	% Almidón	% Az. Reduct.	% Pent. CHOS	% Fibra	% Proteína	% Grasa	% Cenizas	Calorías
GRANO ENTERO	59.5	2.0	6.6	23.0	12.0	1.8	1.8	310
PERICARPIO	9.0	0.0	34.5	38.0	7.5	0.0	5.0	175
TESTA Y CAPA INTALIA	0.0	0.0	50.5	11.0	15.5	0.0	8.0	175
CAPA ALEURINA	0.0	0.0	38.5	3.5	24.0	8.0	11.0	244
ENDOSPERMO EXTERNO	62.7	1.6	1.4	0.3	16.0	2.2	0.8	345
ENDOSPERMO INTERNO	71.7	1.6	1.4	0.3	7.9	1.6	0.5	344
EMBRIÓN Y ESCUTÉLO	0.0	26.0	6.5	2.0	26.0	10.0	4.5	350

FUENTE: (7) AVKROYD, DOUGHTY; F. A. O.; EL TRIGO EN LA ALIMENTACION HUMANA.

II.2 EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL GRANO DE TRIGO EN RELACION A SU CALIDAD MOLINERA.

Quando se hace una compra, es normal que el producto por adquirir sea revisado y esta revisión será tan exhaustiva dependiendo de las características que debe reunir el producto. Si por ejemplo, se compra fruta, se revisa que ésta no esté dañada o simplemente que tenga la madurez con la que se desea consumir. No siempre se tiene la suerte de escoger cada una de las piezas que deseamos llevar, sobre todo cuando la compra es a granel, en estas condiciones, lo mas conveniente es llevar a cabo un muestreo representativo de lo que se va a adquirir, a fin de evaluar en unas cuantas piezas las características generales del total, y con ello decidir, si estos resultados satisfacen los parámetros de calidad requeridos, la aceptación o rechazo del producto. El mismo caso se tiene cuando se adquiere grano de trigo, por lo que es importante realizar algunas pruebas de calidad como las que se menciona a continuación.^(9,34)

IMPUREZAS.

El % de Impurezas es importante por dos razones; primero, se sabe que durante la recolección o cosecha del trigo se mezcla con una serie de impurezas indeseables como: ramas, hierbas, tierra, piedras y restos de la planta del trigo, el realizar una prueba de impurezas nos da información acerca de las

prácticas de cosecha y el tipo de limpieza que se le dará al trigo antes de la molienda; segundo, desde el punto de vista económico las impurezas que trae consigo representa pérdidas o mermas para el comprador.

El método consiste esencialmente en separar manual o mecánicamente las impurezas de la muestra en una cantidad predeterminada y por diferencia de peso se determina el % de Impurezas ⁽⁷¹⁾.

GRANO DAÑADO.

El grano que está sano tiene una composición diferente a los granos que presentan algún daño o enfermedad, pueden existir variaciones en su contenido de proteína, almidón, alta o baja actividad enzimática, etc. Estas variaciones repercuten de manera negativa en las propiedades funcionales de la harina y productos que se obtienen del grano, es por esto que de existir una alta proporción de grano dañado, las harinas obtenidas presentaran una menor calidad.

En esta prueba se cuantifica el grano dañado (grano arrugado, punta negra, panza blanca, grano quebrado, etc.) por malas condiciones de cultivo (como heladas o sequías) y que afectan el rendimiento de molienda. El método consiste de separar manualmente los granos dañados de un peso predeterminado y por diferencia de peso se calcula el % de Grano Dañado ⁽⁷¹⁾.

CONTENIDO DE AGUA (% DE HUMEDAD).

La humedad que tiene el grano de trigo tiende a equilibrarse con la humedad atmosférica, la importancia de controlar dicha humedad radica en que determina la conservación del grano en un estado apropiado tanto para el almacenamiento como para la molienda. Otro factor de importancia es el económico. A nivel comercial un grano con el 17% de humedad tiene 3% más de agua que un grano con el 14% de humedad, lo que implica que se pague este 3% más de exceso de agua a precio de trigo. Sin embargo un trigo muy seco tiene como desventaja ser frágil y quebradizo al ser manipulado en las operaciones comerciales, es por lo tanto, necesario establecer que la humedad del grano debe ubicarse en un promedio entre 10 y 14 % aunque esto depende de la variedad, condiciones de cultivo, etc. ^(9,11,12,26).

Los métodos existentes para la determinación de la humedad en alimentos son: ^(15,16,17,18,21,24)

- A) Métodos por destilación directa.
- B) Métodos de secado.
- C) Métodos eléctricos rápidos.

D) Métodos químicos o de valoración.

E) Método de liofilización.

F) Otros métodos físicos:

Métodos densimétricos, polarimétricos y refractométricos, de determinación infrarroja, métodos de cromatografía de gases, resonancia magnética nuclear y absorción de ondas de radiofrecuencia, que se han estudiado a últimas fechas.

De los métodos más utilizados para el trigo son: Los eléctricos rápidos, basados en la conductividad eléctrica del grano y que permiten determinar la humedad de la muestra en forma instantánea en rangos de 0 - 20 %. Estos métodos requieren de ser calibrados por los métodos de destilación, los cuales arrojan resultados más precisos. Dentro de estos últimos el más utilizado es el de la balanza semiautomática Brabender, basado en la pérdida de humedad por efecto de la temperatura y que puede realizar diez determinaciones en tiempos relativamente bajos (1hr). El método oficial de la AACC más utilizado es 44-10 Moisture-Electrical Method ^(9,34,35,36).

PESO HECTOLITRICO.

El peso por unidad de volumen (kg/hl) es uno de los criterios más comunes para la medición de la densidad del grano, que en general se relaciona con el rendimiento del cultivo.

El peso específico es un factor importante, desde el punto de vista calidad, generalmente un peso específico alto se refleja en un buen rendimiento harinero.

El peso específico está relacionado a la calidad molinera. En esta relación influyen los siguientes factores:

- Densidad del grano.
- Forma.
- Tamaño.
- Humedad.
- Uniformidad.

Generalmente los trigos de gluten fuerte deben tener un peso específico de 80 kg/hl y 78 kg/hl en trigos de gluten débil. El peso específico es determinado por medio de una balanza estandarizada con recipiente de volumen conocido, arrojando resultados en peso por unidad de volumen kg/hl ⁽⁷¹⁾

DUREZA.

La dureza y blandura son características molineras relacionadas con la forma de romperse el endospermo.

Los trigos duros proporcionan una harina de tamaño grande, arenosa y fácil de cernir, formada por partículas de tamaño regular que son en su mayoría células enteras del endospermo. Los trigos blandos dan una harina muy fina formada por fragmentos irregulares de las células. La dureza afecta la facilidad con que el endospermo se separa del salvado. En los trigos duros las células del endospermo se separan con mayor limpieza y permanecen más intactos, mientras en los trigos blandos las células periféricas tienden a fragmentarse mientras unas se separan, otras quedan unidas al salvado.

La determinación de dureza del grano o textura está relacionado directamente con la molienda. Dependiendo de su índice de dureza, el grano de trigo es acondicionado a una determinada humedad para su molienda.

La determinación del índice de dureza se lleva a cabo en un aparato que fricciona al grano mediante rodillos hasta obtener un determinado tamaño que permite la salida del grano del aparato, con la apariencia de una perla, llamado perlado.

Durante el perlado los trigos suaves pierden más peso que los duros.

MOLIENDA.

El proceso de molienda de trigo consiste de cinco partes, estas son:

- 1.- Recepción y almacenamiento del trigo.
- 2.- Limpieza.
- 3.- Atemperado o acondicionamiento.
- 4.- Molienda de trigo a harina y subproductos.
- 5.- Almacenamiento del producto final.

La obtención de la harina se da por separación del endospermo del salvado y el germen⁽¹³⁾.

La obtención de harina no consiste solamente de moler la semilla y remover el germen y salvado del endospermo por alguna técnica apropiada de separación.

El germen puede ser removido fácilmente por que contiene aceite, esto provoca que al ser presionado por rodillos se forme una especie de hojuela de tamaño mayor que el material restante, la cual puede ser separada fácilmente por medio de un cribado o cernido.

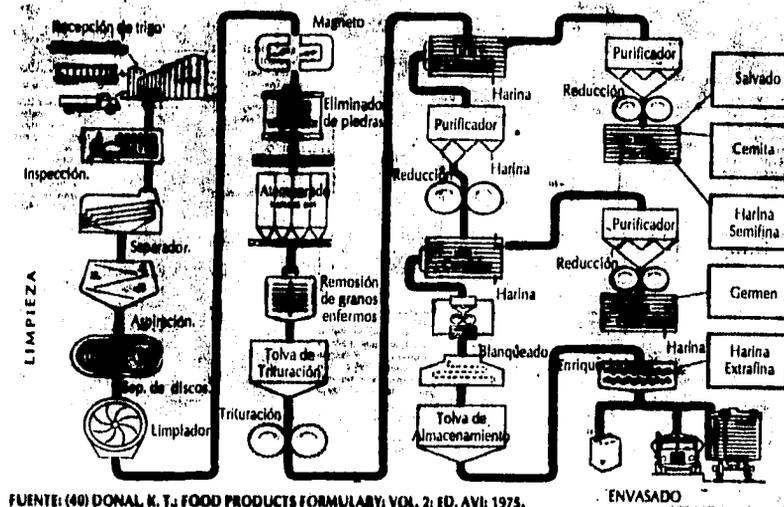
El caso del salvado es diferente. El salvado esta adherido al endospermo y puede molerse tan fino como este, produciendo una harina obscura, lo que no es deseable para los productos.

La separación efectiva del salvado del endospermo depende de dos principios, pero están relacionados a la construcción de la semilla de trigo. El primero es llamado acondicionamiento o atemperado y consiste de humedecer al trigo con agua y dejarlo reposar un determinado tiempo, provocando con esto que el salvado se haga flexible.

El segundo principio consiste de moler la semilla en las primeras etapas con rodillos que estén corrugados, provocando que el salvado se rasgue debido a su estructura separándose del endospermo. Este segundo principio depende en gran parte del acondicionamiento.

La molienda del trigo consiste de una serie de pasos a través de rodillos donde se tritura la semilla separando en gran parte las diferentes partes del trigo por medio de cernido, posteriormente se comprime el endospermo y una pequeña cantidad de las otras partes, separándolas por medio de purificadores (succión con aire, debido a la diferencia de densidades), tal como se muestra en la Figura 3⁽⁴⁰⁾.

FIGURA 3
Diagrama de Molienda.



FUENTE: (40) DONAL, K. T.; FOOD PRODUCTS FORMULARY, VOL. 2; ED. AVI; 1975.

El 15% restante se obtiene como subproducto de la molienda donde se incluye al germen y al salvado, estos son utilizados principalmente para consumo animal⁽⁹⁾.

La molienda experimental o de laboratorio es un término general usado para describir todos los procedimientos de molienda a una escala menor que la comercial. Las mayores aplicaciones de la molienda experimental están inclinadas hacia la evaluación de líneas de los programas de mejoramiento de trigo, para la evaluación de la calidad y el uso final de muestras comerciales así como en investigación y desarrollo. Los principios, equipos y procedimientos usados para generar información de molienda en un ambiente experimental son aplicables a la práctica comercial, aunque los procedimientos estandares desarrollados en un laboratorio pueden raramente aplicarse a otro laboratorio, donde objetivos, clases de trigo y equipo pueden ser diferentes.

Las fallas más frecuentes en un proceso de molienda son: acondicionamiento inapropiado o inconstante, variación incontrolada de las condiciones ambientales, condiciones de equipo y estandarización inapropiada de procedimientos. Para que la molienda sea significativa, se requiere que la muestra sea lo mas homogénea y representativa posible.

Si el acondicionamiento tiene un profundo efecto en las propiedades del trigo para la molienda comercial, aún es más profundo este efecto en la molienda experimental. Si se incrementa la humedad en el atemperado, la velocidad de extracción del harina baja, el color del harina mejora y las cenizas del harina bajan. Los trigos fuertes pueden tolerar una mayor adición de agua que los trigos suaves.

Los factores que afectan el tiempo óptimo del acondicionamiento son:

- La dureza del grano; este es el factor de mayor importancia, ya que de acuerdo con ella, el acondicionamiento puede durar de 6 a 24 ó más horas.
- El contenido de proteína así como la humedad inicial del grano también afectan el tiempo de acondicionamiento, a mayor contenido de proteínas aumenta la cantidad de agua a adicionar.
- La temperatura, es otra variable significativa. Cuando incrementa la temperatura la velocidad de penetración aumenta disminuyendo los tiempos de reposo.

Es necesario también controlar la temperatura y humedad relativa del medio

ambiente en el cuarto de mollienda, ya que ambas pueden afectar a la levadura de el harina, la granulaci3n, la humedad, cenizas, el valor de la maltosa y la calidad panadera^(2,9,27,34).

Referente al equipo, los principales factores que afectan la consistencia de los resultados son: condiciones de los rodillos trituradores, velocidad de la alimentaci3n del trigo y mantenimiento general del equipo.

Tal como en la mollienda comercial, la mollienda experimental comienza con la preparaci3n del grano, que incluye limpieza y acondicionamiento. La limpieza consiste de la remoci3n de todo material extra1o asi como del grano da1ado.

Despu3s de la limpieza, el trigo est1 listo para ser acondicionado para la mollienda. Este acondicionamiento consiste de la adici3n controlada de agua, con los objetivos siguientes:

- 1) Hacer flexible la piel. para que resista la pulverizaci3n durante el proceso de mollienda y pueda ser separada casi totalmente.
- 2) Facilitar la separaci3n ffsica de endospermo y salvado.
- 3) Madurar el endospermo para que sea m1s facilmente molido.
- 4) Asegurar que todo el material que sale de los rodillos de trituraci3n est1 en 3ptimas condiciones para el cernido.
- 5) Asegurar un bajo porcentaje de almid3n da1ado.

Un limpiado y atemperado correcto, es esencial para asegurar la m1xima eficiencia molinera asi como una funcionalidad adecuada del producto final.

El agua se adiciona por medio de un espreado a fin de que la humedad sea homognea en todo el trigo. Las condiciones del atemperado dependen de: el contenido inicial de humedad, la clase de trigo y las especificaciones del producto final. En general los trigos m1s vitreosos requieren m1s tiempo de acondicionamiento y toleran niveles m1s altos de humedad que los trigos blandos. Los trigos duros requieren de un tiempo de acondicionamiento mayor (10 a 36 hrs) que los blandos (4 a 6 hrs), esto se debe a que en los trigos duros el agua penetra con mayor lentitud que en los blandos hasta alcanzar una distribuci3n homognea en el grano.

Debido a las diferencias intrfnsecas entre los trigos suaves y duros, la eficiencia de mollienda en un mismo equipo es diferente. En el caso de los trigos suaves, generalmente se requiere mayor adici3n de agua, m1s superficie de

molienda en el sistema de trituración, y menos en el sistema de reducción, así como mayor superficie de cernido.

De igual manera en el caso del *Trigo durum*, los requerimientos en cada una de las etapas de molienda son diferentes, más aún, por el tipo de producto obtenido (semolinas).

Para determinar la eficiencia de la operación de molienda se usa el término extracción de harina, que se define como la proporción en peso de harina obtenida de una cantidad conocida de trigo después de la molienda. El nivel de extracción obtenido comúnmente oscila entre 72 y 80%, siendo el promedio 75%^(2.9.27,34).

II.3 ANALISIS BROMATOLÓGICOS.

Desde el punto de vista químico, el harina de trigo está constituido por:
(2.9.10.27)

AGUA.....	8.0 - 17.0 %
PROTEÍNAS.....	8.0 - 15.0 %
GRASA.....	1.0 - 2.0 %
CENIZAS.....	1.0 - 2.0 %
CARBOHIDRATOS	Almidón..... 63.0 - 71.0 %
	Azúcares.... 2.0 - 3.0 %
	Fibra..... 2.0 - 3.0 %

Debido a que existe un gran número de variedades de trigo, y que el comportamiento que presenta cada variedad puede ser marcadamente diferente al que presentan otras variedades, es necesario establecer ciertas técnicas de análisis que permitan poder llegar a hacer una diferenciación.

A continuación se describirán las técnicas empleadas para evaluar la composición química de las harinas del trigo.

HUMEDAD.

La determinación de la humedad en el harina se realiza principalmente por métodos de secado.

Debido a que el harina contiene una gran cantidad de agua unida y de ahí que los valores obtenidos en los métodos de secado varíen considerablemente según la temperatura de trabajo. Las condiciones más comunes de secados son a 100°C durante 5 hrs., a 130°C durante 1 hr o bien a 155°C

durante 15 min. Usando el último método las harinas suelen estar entre el 12 y 15 %. Los aparatos eléctricos de medida son muy útiles para obtener resultados rápidos en el molino, tanto a la recepción de las materias primas (grano) como en el control de almacén. El método aprobado por la AACC mas utilizado es el 44-16 Moisture-Air-Oven (aluminium-plate)⁽³⁵⁾.

PROTEINAS.

El contenido de proteínas en el trigo varía entre 6-20% dependiendo de factores como: especie, variedad, condiciones ambientales en el cultivo, condiciones del suelo y adición de nutrientes al suelo y al cultivo. Los métodos que existen para la determinación de proteínas se mencionan a continuación^(11,15,16,18,21,24,50):

- A) Absorción en el ultravioleta (280 nm)(Método Espectrofotométrico).
- B) Biuret. (Colorimétrico)
- C) Lowry. (Colorimétrico)
- D) Turbidimétricos.
- E) Kjeldahl (Químico).
- F) Oumas (Volumétrico).
- G) Oye-Binding (enlaces coloreados).
- H) Piroquimiluminiscencia.

I) Otros métodos: Resonancia Magnética Nuclear, la determinación por medio del Índice de refracción, la Spectroscopía infrarroja y la Titrición directa.

Para análisis de proteínas en trigo y harinas, el método más utilizado es el Kjeldahl, por las ventajas que ofrece, aprobado por la AACC 46-12 Crude Protein-Kjeldahl Method, Boric Acid Modification⁽³⁵⁾.

Un método que a últimas fechas se ha utilizado por su rapidez es el aparato INFRAIAZER, que realiza las determinaciones por medio de rayos infrarrojos, sin embargo, al igual que el método rápido para la humedad, es necesaria la calibración del aparato, en este caso, con el método Kjeldahl, este aparato puede determinar también Humedad, Grasa y Cenizas^(35,36).

CENIZAS (MINERALES).

El contenido de cenizas en el grano de trigo es relativo a la cantidad de salvado presente, la presencia de granos pequeños o arrugados aumentan el contenido por tener estos mayor proporción de salvado y por lo tanto mayor porcentaje de cenizas. El contenido de cenizas se encuentran en un rango del

1 al 2 %.

Las cenizas son los residuos inorgánicos que quedan después de calcinar e incinerar la materia orgánica. Las cenizas, normalmente, no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes^(19, 27, 50).

Es virtualmente imposible incorporar en una sola técnica todos los factores que gobiernan la incineración de los distintos tipos de alimentos. A continuación se menciona el método básico y otros métodos que son usados.

- A) Método básico. El método AACC es 08-01 Ash-Basic Method⁽³⁵⁾.
- B) Digestión húmeda de alimentos para análisis de elementos.
- C) Incineración electrónica a baja temperatura.

Existen un gran número de técnicas, que se fundamentan en el método básico, algunas otras determinan las cenizas solubles y/o insolubles así como su alcalinidad⁽¹⁹⁾.

GRASA.

El análisis de grasas (lípidos) en el trigo y productos de trigo, no es fácil debido a la compleja naturaleza de este material.

Los métodos más usados para la extracción de constituyentes solubles del material sólido se encuentran dentro de la siguiente clase general, de la cual hay muchas modificaciones:

- A) Extracción continua.
- B) Extracción intermitente.
- C) Digestión de pequeñas cantidades de material.
- D) Metodologías de extracción indirecta.
- E) Otras técnicas implican la medida de los cambios en el índice de refracción y en el peso específico debido a las variaciones de concentración de la grasa en disolución.^(11, 15, 16, 18, 21, 24, 50)

En el harina de trigo se utiliza el tratamiento directo con éter etílico o un éter de petróleo extrayéndose solamente el aceite libre, por lo que se recomendaría utilizar el método de digestión ácida, que determina el aceite libre más el combinado. Sin embargo, no es usual hacer esta determinación por el contenido tan bajo de grasa que tienen las harinas (menor a 1%). El método oficial AACC es el 30-10 Crude Fat in Flour, Bread and Baked Cereal Products⁽³⁵⁾.

CARBOHIDRATOS.

En el trigo podemos encontrar carbohidratos digeribles (azúcares y almidón) y no digeribles (fibras). El almidón es el carbohidrato más abundante presente en el trigo (58.5% aproximadamente) y sus harinas (67% en promedio). Este se encuentra en forma de gránulos entre las células del endospermo. Las prácticas modernas de molienda, están diseñadas para remover el germen y el salvado (en el cual se encuentran prácticamente todos los carbohidratos no digeribles) presente en el trigo, produciendo harinas que esencialmente contienen el endospermo y por consiguiente son ricas en almidón^(2,37,38).

El contenido de almidón para variedades de trigo Americanas contiene un porcentaje que al parecer se comporta de manera inversa al contenido de proteínas. De esta manera variedades de trigo suave (bajo contenido de proteína) tienen en general mayor contenido de almidón (69%) que las variedades de trigo fuerte (64%). Un bajo contenido de proteínas en el trigo trae consigo alto contenido de almidón indistintamente si el trigo es suave o fuerte.⁽⁹⁾

El contenido de almidón se determina indirectamente por el contenido de mono y disacáridos; a continuación se mencionan algunos de los métodos utilizados^(14,15,16,23,24,25,50).

- A) Método de Clegg Anthrom manual.
- B) Método Clegg Anthrom automático.
- C) Método Luff Schoorl (para almidones y azúcares totales de bajo peso molecular).
- D) Método enzimático para la determinación del almidón.
- E) Carbohidratos totales por el método de ácido sulfurico-fenol.
- F) Método de azúcares reductores.
- G) Método microbiológico.
- H) Métodos gravimétricos.
- I) Método volumétrico.

Para la cuantificación de los carbohidratos en harinas de trigo es necesario determinar la cantidad de almidón (utilizando el método 76-20 Starch - Polarimetric Method) y la fibra (método 32-15 Crude Fiber in Feeds and Feedstuffs), ambos datos sumados darán la proporción de carbohidratos en la harina⁽³⁵⁾.

III.- PARAMETROS DE CALIDAD Y COMPOSICION DE EL HARINA EN RELACION A SU USO INDUSTRIAL.

III.1) PARAMETROS DE CALIDAD.

La calidad de el harina puede ser definida como la capacidad de ésta para producir productos uniformes con características específicas.

Los factores de calidad de el harina pueden ser divididos dentro de dos grupos basicos; a) aquellos que son inherentes como resultado de las características genéticas de la clase en particular y variedad y b) las condiciones de cultivo, incluyendo la fertilización, condiciones atmosféricas (calor, frío, lluvias, etc.) y enfermedades.

Es posible influir de manera intencional sobre los parámetros de calidad de las harinas, para esto se han desarrollado técnicas que modifican estos parámetros, mejorando las características del producto final. Algunas de estas técnicas son; blanqueado, maduración, adición de enzimas y suplementos, molienda fina y clasificación por aire^(9,27,38).

III.2) COMPOSICION Y FUNCIONALIDAD.

Muchos productos de los cereales requieren de mezclar agua y harina para formar una masa. La masa es un sistema químico altamente complejo, los componentes de el harina de trigo incluyen; proteínas; mono-, oligo- y polisacáridos; lípidos; minerales y enzimas, dentro de los constituyentes más importantes. Por otro lado hay ingredientes "adicionados" como; los leudantes químicos (Bicarbonatos, fosfatos, sulfatos, tartratos, etc.) levaduras, sólidos de leche, harina de soya, mantecas, azúcar y sal. En resumen para la producción de los productos fabricados con cereales se tiene una mezcla de gases, los componentes interactúan y se modifican constantemente durante el mezclado, fermentación (o leudado químico) y horneado. Para relacionar la composición química de las propiedades funcionales y explicar las modificaciones físicas y químicas en el proceso de las masa es necesario entender la naturaleza química y funcionalidad de los componentes de la harina^(9,10,13,20,27,34,37).

III.2.1 HUMEDAD.

La molécula de agua no es lineal, es altamente polar, está constituida por dos átomos de hidrógeno unidos covalentemente a un átomo de oxígeno formando estructuras tridimensionales. El par de electrones libres que tiene el oxígeno

pueden considerarse como dos fuerzas separadas, que junto con los dos enlaces covalentes de los hidrógenos forman un tetrahedro^(11,42).

Al igual que todos los alimentos el trigo y las harinas contienen agua, lo que implica deterioro y cambios químicos y biológicos que se incrementan directamente con el contenido de agua.

El agua no solo contribuye a las propiedades reológicas y de textura de un alimento a través de su estado físico, sino que sus interacciones con los diferentes componentes también determinan el tipo de reacciones químicas que se pueden suscitar en el alimento. El término "actividad de agua" determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos, y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a las que están sujetos. La actividad de agua se puede calcular de la siguiente manera^(11,42):

$$Aa = P / Po = \% \text{ H.R.} / 100$$

Aa = Actividad de agua.

P = Presión de vapor del agua del alimento a temperatura T.

Po = Presión de vapor del agua pura a temperatura T.

%HR = Humedad relativa de equilibrio del alimento a la cual no se gana ni se pierde humedad.

III.2.2 PROTEINAS.

Bajo el término proteínas, se describe a los compuestos orgánicos constituidos por la unión de varios aminoácidos, los cuales son ácidos orgánicos que poseen grupos amínicos (NH₂) y carboxílicos (COOH). Las proteínas son componentes de toda célula viva. Ordinariamente las proteínas solo contienen cinco elementos. A continuación se presenta una tabla con la composición más general de las proteínas^(2,10,11):

COMPOSICION GENERAL DE LAS PROTEINAS

ELEMENTO	%
CARBONO	50.0 - 25.0
HIDROGENO	6.5 - 7.5
NITROGENO	15.0 - 19.0
OXIGENO	22.0 - 27.0
AZUFRE	0.0 - 3.5
FOSFORO	PEQUEÑAS CANTIDADES

FUENTE: (2) KENT, J.: QUIMICA MODERNA DE LOS CEREALES; ED. AGUILAR

Los enlaces químicos en proteínas pueden ser divididos en dos tipos: covalentes y no covalentes. Los enlaces covalentes incluyen enlaces con aminoácidos y enlaces disulfuro con o entre cadenas de péptidos. La energía asociada con estos enlaces es alta. En relación a los enlaces no covalentes incluyen enlaces iónicos, hidrógeno y de Van der Waals, los cuales son mucho más débiles que los covalentes.⁽⁹⁾

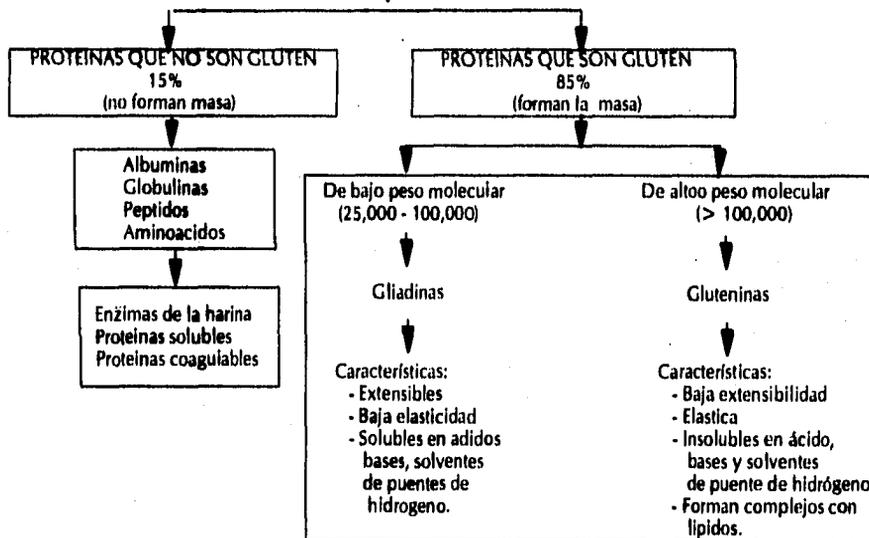
Los enlaces hidrogeno y de Van der Waals tienen algo en común: ambos están en interacción con grupos no polares, sin embargo, los enlaces hidrofóbicos no son enlaces químicos, pero tienen un efecto entrópico o fenómeno termodinámico.

Osborne y Voorhees, han identificado en la harina de trigo cinco proteínas diferentes:^(2,27,34)

- a) Albúmina.
- b) Globulina.
- c) Proteosa.
- d) Gliadina.
- e) Glutelina.

Las tres primeras se presentan en pequeñas cantidades (menos del 0.7%), mientras que la gliadina y glutenina se encuentran en cantidades cercanas al 4%. En la Figura 4 se muestra como se dividen las proteínas contenidas en el harina de trigo.

FIGURA 4
PROTEINAS DE LA HARINA



FUENTE: (9) POMERANZ, Y. ; WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY; ED. AACCI THIRD EDITION; VOL. II; pp. 223

La gliadina y la glutenina al mezclarse con agua y sales, forman una masa viscoelástica característica de las masas para pan llamada gluten. La primera noticia que se tiene acerca del gluten, data del año 1728 y se debe a Beccari profesor de Medicina, Anatomía y Química de la Universidad de Bolonia, quien puso de manifiesto la presencia en el harina de trigo lo que se conoce actualmente como gluten.⁽²⁾

Al tratar de identificar las proteínas que constituyen el gluten, Osborne llevó a cabo una serie de experimentos con solventes y encontró que una fracción del gluten se disolvía en una solución de alcohol al 70%, a esta fracción decidió llamarle gliadina y a la fracción que no se disolvió le llamó glutenina, y concluyó que estas proteínas son las que se encuentran en mayor porcentaje en la harina de trigo.^(2,3)

Las proteínas del gluten tienen fuertes tendencias de agregación, resultado de las uniones de hidrógeno potenciales, que trae consigo el gran número de cadenas laterales de glutamina, así como el potencial de enlaces no polares de cadenas laterales y su bajo carácter iónico. Esto trae como consecuencia que sean insolubles cerca de su punto isoeléctrico (cuando las cargas positivas y negativas están balanceadas) en la mayoría de los solventes

acuosos. El punto isoeléctrico de las proteínas del gluten, generalmente cae en el rango de pH entre 6 y 9. A valores menores de pH entre 4 a 5, son moderadamente solubles. A pH alto, son moderadamente solubles, pero los enlaces disulfuro (S-S) pueden romperse a esas condiciones^(22,27,30).

La gliadina y la glutenina difieren en sus propiedades físicas, mas notablemente en su viscoelasticidad. La gliadina es cohesiva, pero con poca elasticidad, mientras que la glutenina es cohesiva y elástica. La gliadina está compuesta de proteínas de relativamente bajo peso molecular, en comparación con el alto peso molecular de la fracción de glutenina. Esta diferencia existe también en la composición de aminoácidos. La gliadina tiende a tener mayores cantidades de ácido glutámico, glutamina, cistina, isoleucina, fenilalanina y nitrógeno amídico que la glutenina, mientras que esta última tiene mayor cantidad de glicina, lisina y triptofano.

Todas las diferencias existentes entre la gliadina y glutenina, hace que el comportamiento que presentan las masas de harinas que contienen proporciones diversas de estas proteínas, sea muy variado, aunque no es el único factor del cual depende el comportamiento de las masas, pero si es el de mayor importancia, es por ello que podemos disponer de harinas propias para la panificación, pastificación, harinas para galletería, entre otras^(2,9,11,27,34,36).

La calidad nutricional de las proteínas del gluten se considera baja al compararla con las proteínas del huevo, la leche y la carne, esto se debe al bajo contenido de aminoácidos tales como la lisina, metionina y triptofano existentes en las proteínas del gluten⁽¹¹⁾.

III.2.3 CARBOHIDRATOS.

Los carbohidratos constituyen alrededor del 80% del total de materia seca del grano de trigo. El almidón es el polisacárido predominante, la celulosa se encuentra en menor cantidad, así como hemicelulosas y pentosanas.

El trigo contiene también pequeñas cantidades de carbohidratos solubles compuestos de monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa), disacáridos (glucodifrutosa y rafinosa) y otros oligosacáridos (glucofructanos). La sacarosa (0.10-0.12% sobre base seca), rafinosa (0.04-0.06%), maltosa (0.03-0.05%), fructosa (0.01-0.02%) y glucosa (0.03-0.04%), se encuentran en las harinas convencionales de trigos fuertes, sin embargo, estas cantidades pueden variar de acuerdo a la especie, variedad y condiciones de cultivo de trigo^(9,34).

El ALMIDÓN es el componente más abundante en el trigo y harina de trigo. Este se encuentra como gránulos discretos en las células del endospermo. Las prácticas modernas de molienda están diseñadas para remover el germen y salvado, produciendo una harina que esencialmente contiene el endospermo y es rica en almidón.

El contenido de almidón en variedades de trigo americano ha sido reportado en el rango de 63-72%. El contenido de almidón está relacionado inversamente con el contenido de proteínas, independientemente de que el trigo sea suave o duro.

El proceso más viejo y la base para separar el almidón de la harina de trigo es el proceso Martin, propuesto en 1835. El proceso consiste de formar una masa de agua-harina (1:2), dejándola reposar por un tiempo determinado para hidratar el gluten, se lava el almidón de la masa y se recupera el almidón y el gluten, se refina el almidón y se secan ambas fracciones. Un número menor de constituyentes (lípidos, proteína y fósforo) pueden estar presentes en el almidón de trigo. Estos componentes que no se logran separar durante el aislamiento del almidón, se encuentran en pequeñas cantidades, en algunas ocasiones trazas, sin embargo, pueden afectar el comportamiento y propiedades del almidón^(2,9,10,11,12).

El almidón contiene dos carbohidratos como componentes mayoritarios; la amilosa y la amilopectina, polímeros de alto peso molecular.

Cuando el trigo es molido a harina, una porción del almidón es modificado mecánicamente a consecuencia de la acción friccionante de los rodillos de molienda. Los gránulos que se alteran físicamente han sido nombrados como almidón dañado.

El almidón dañado es en gran parte responsable de las diferencias de absorción de agua, propiedades de manejo de las masas, producción de azúcar y de poca actividad durante la fermentación. El almidón dañado también afecta el volumen de pan y resistencia de la miga^(2,9,10,11).

La amilosa representa del 17 al 29% del total del almidón. La amilosa es considerada como un polímero lineal enlazado con unidades (1->4)D-glucosa con un peso molecular dentro del rango de 10^5 - 10^6 . El comportamiento de las soluciones de amilosa está determinado por dos propiedades: la habilidad de formar complejos con surfactantes, yodo, lípidos y alcoholes alifáticos primarios, y la habilidad de precipitar la

gelación.

La retrogradación es un ejemplo común de las propiedades y la inherente inestabilidad de las soluciones acuosas de la amilosa. La amilosa forma un complejo con el yodo dando un color azul intenso, teniendo su máxima absorvancia a 660 nm. este comportamiento ha sido usado para fines de identificación. La amilosa pura tiene una capacidad de captura de yodo del 20%.

La amilopectina tiene una naturaleza ramificada y fué establecida a través de estudios que involucraron el análisis de metilación y posteriormente fué confirmada por aislamiento de los productos de la digestión enzimática. La amilopectina es un (1->4)-D-glucano que contiene enlaces α -(1->6)-D-glucosídicos en un 4-5% y que son llamados puntos de ramificación.

Esté polímero altamente ramificado tiene uno de los pesos moleculares más altos conocidos en la naturaleza. Por análisis de ultracentrifugación el peso molecular promedio de la amilopectina se determino en 10^7 aproximadamente.

La estructura de la amilopectina ha sido estudiada extensivamente y un sin número de representaciones estructurales han sido propuestas.

Cuando el almidón es calentado en solución acuosa, este sufre una serie de cambios conocidos como gelatinización y pastificación. Esta serie de eventos son algunas de las transformaciones mas importantes del almidón en terminos de funcionalidad de alimentos, reacciones, susceptibilidad al ataque enzimático y formación de geles o pastas^(22,27,30,31,32).

El almidón, dependiendo el tipo, absorbe de 40 a 50g de agua por cada 100g de almidón, incrementando su tamaño por la absorción de agua. Cuando una solución de almidón es calentada a temperaturas mayores de 50°C el almidón absorbe mayor cantidad de agua incrementandose su viscosidad, hasta una temperatura máxima donde alcanza su máxima absorción, a este proceso se le conoce como gelatinización y a la temperatura donde sucede la máxima absorción se le conoce como temperatura de gelatinización (58-64°C). Si se continua calentando la solución, se reducirá su viscosidad hasta alcanzar un cierto valor en lo que se estabiliza^(20,22,25,26,27,34,38).

III.2.4 LIPIDOS.

Los lípidos presentes en la harina de trigo se encuentran en

concentraciones de 1.4 a 2.0 % y se dividen, en polares y no polares en cantidades aproximadamente iguales.⁽⁹⁾

Los lípidos pueden afectar la panificación en muchas formas durante las etapas progresivas del proceso: 1) Modificar el gluten en la etapa de mezclado, 2) Catalizar la oxidación de grupos SH, 3) Catalizar la polimerización de proteínas a través de procesos que involucran la peroxidación de los lípidos, 4) Actuar como lubricantes, 5) Ayudar a la retención de gas por sellado de glóbulos, 6) Dar algo de soporte a la estructura del gluten, 7) Retardar el flujo de agua de proteínas a almidón, 8) Retardar la gelatinización del almidón y 9) Actuar como agente suavizador. Es posible que durante el proceso exista uno o todos los mecanismos^(27, 34).

La información disponible sobre la naturaleza de los componentes proteicos que interactúan con los lípidos es insuficiente. Ambos componentes del gluten (gliadinas y gluteninas) pueden asociarse a lípidos polares y no polares. La capacidad de interacción puede atribuirse a enlaces hidrofóbicos, aunque también es probable que enlaces de tipo iónico jueguen un papel importante.

Las reacciones lípidos-proteínas son diferentes en la harina que en la masa y dependen de la calidad panadera de la primera.

La asociación lípidos-proteínas refuerza la estructura del gluten. Los lípidos polares, como agentes tensoactivos, favorecen la producción de pan con estructura más fina, facilitando la subdivisión de los alveolos en la masa, con lo cual se hacen más pequeños y más numerosos. Aparentemente, la unión de los lípidos polares tienen lugar simultáneamente entre gluteninas y gliadinas, contribuyendo así en la capacidad de retención de gas y volumen del pan^(2, 9, 27).

Las investigaciones en este campo no han alcanzado conclusiones definitivas, no obstante se desprende que: 1) en harinas suaves se establecen menos interacciones, y de menor intensidad proteína-lípidos que en harinas de más fuerza, 2) las gluteninas ligan más lípidos y son más hidrofóbicas que las gliadinas, 3) en harinas de distinta calidad panadera, las propiedades hidrofóbicas de las proteínas solubles en ácido, son diferentes^(20, 27, 34).

III.2.5 ENZIMAS.

En la harina de trigo existe un sin número de enzimas de todo tipo, ya sean proteolíticas, lipasas, etc. Sin embargo, a continuación se detallará la actividad enzimática que influye en el comportamiento de las harinas.

La Amilasa tiene gran importancia en la producción de pan y productos de panificación, ya sea por sistemas leudantes o por fermentaciones para la liberación de dióxido de carbono.

Los dos tipos de amilasa presentes en el harina de trigo son α -amilasa y β -amilasa.

Los valores de maltosa son una medida cuantitativa de la maltosa producida enzimáticamente de los sustratos de el harina bajo condiciones controladas. El método del poder de abastecimiento de gas es la cantidad de dióxido de carbono producido por una cantidad fija de levadura para 10gr de una masa de harina bajo condiciones de tiempo y temperatura controladas. El dióxido de carbono generado por la levadura es producido principalmente de los azúcares simples, presentes en el harina^(2.9.10.12).

La α -amilasa puede ser adicionada a el harina de trigo de acuerdo a los niveles deseados de actividad enzimática. la adición de este componente es importante para mejorar la calidad de el harina. Esta respuesta puede ser controlada cuidando la molienda, manteniendo niveles deseados y uniformes de almidón dañado, el cual sirve como sustrato de la acción amilásica. El nivel óptimo de actividad enzimática es definido por el tipo de proceso y el uso final de el harina. La adición de Proteasa, se hace para controlar o alterar la actividad de la enzimas proteolíticas presentes en el harina de trigo, además de la adición de suplementos de amilasa que contienen pequeñas cantidades de enzimas proteolíticas. Los panaderos han empleado enzimas proteolíticas para reducir el desarrollo mecánico de las masas de trigo. fuertes o tenaces. De esta forma, la proteasa suaviza enzimáticamente el gluten, quedando limitada la resistencia al proceso mecánico, a la fuerza de mezclado y/o tiempo de amasado.

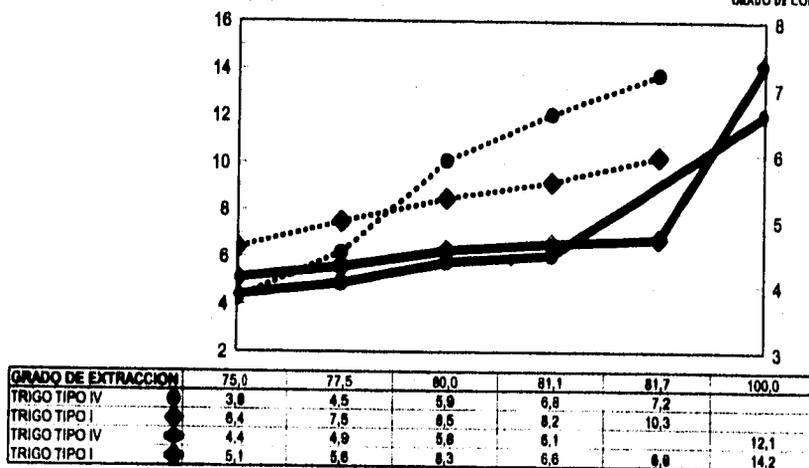
La presencia de Lipasa en el harina de trigo ha sido reconocida desde hace muchos años. La actividad de la lipasa es importante en cuanto a la estabilidad de el harina bajo almacenamiento prolongado o condiciones adversas. La lipasa convierte las grasas de el harina en ácidos grasos, los cuales están asociados con olores de rancidez. La actividad de la lipasa es proporcional al contenido de grasa. La medida de la acidez grasa de los extractos de trigo o harina pueden revelar organolepticamente el desarrollo de rancidez u olores. Estos nos indican la presencia de ácidos grasos en el harina que afectan adversamente las propiedades de los panes.^(2.9.10.12)

III.2.6 COLOR.

El aspecto visual es un factor de calidad importante para el harina, ya que en primer término, es la medida de la blancura, determinanda principalmente por el alcance en la pérdida de color causada por componentes blanqueadores, sin embargo, la presencia de salvado influye en los resultados obtenidos. Esta medida puede realizarse en el aparato Agron (azul) el cual mide la reflectancia de luz del producto en un rango relativamente estrecho. Las medidas no necesariamente están relacionadas con la cantidad de cenizas, debido a que la pérdida de color provocada por blanqueadores químicos u oxidación natural de los pigmentos carotenoides de el harina es una función del tiempo, por lo tanto, los valores para las harinas varían con la edad y tratamiento que se les dá. El segundo enfoque de la medida del color ignora la blancura y concentración del material fibroso en el harina, midiendo la blancura por reflectancia con una fuente de luz en la banda verde del espectrofotómetro. Se pueden utilizar los siguientes aparatos: El Kent-Jones and Martin para grado de color o el Agron (verde) (2.9.10.)

Como se puede observar en la Grafica 2 el color esta relacionado de manera directa con el contenido de cenizas y ambos de manera inversa con el grado de extracción de el harina.

GRAFICA 2
RELACION DEL GRADO DE EXTRACCION CON EL COLOR Y % DE CENIZAS



FUENTE: (34) POMERANZ, Y.; WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY; ED. AACG; SECOND EDITION; pp 122.

III.2.7 MINERALES.

Se han realizado numerosos estudios concernientes a encontrar el efecto de los componentes minerales sobre los productos de trigo, sin encontrar el efecto que tienen pequeñas cantidades de metales pesados. Por muchos años el contenido de cenizas de el harina ha sido considerado como un factor que determina la calidad de extracción de el harina ó grado de refinamiento del proceso. Las cenizas que contiene el harina de trigo provienen principalmente del salvado y las células de aleurona. El contenido de cenizas de una harina de trigo suave es menor que el contenido de cenizas de una harina de trigo duro obtenidas por un mismo sistema de extracción. Tomando en consideración estas variables, el contenido de cenizas en una harina varía de 0.3 a 1.0 %^(9,43)

Al igual que el color el % de cenizas esta en función del grado de extracción de el harina y del tipo de trigo⁽³⁴⁾.

III.2.8 GRANULOMETRIA

La granulometría o tamaño de partícula, es considerado un componente de calidad de el harina, solo si se reconoce como un grado de fineza en particular. El tamaño de partícula está relacionado con la absorción de agua, tamaños de partícula finos aceleran la velocidad de hidratación de el harina, esto provoca una masa más plástica en la etapa donde se aplica el trabajo para el desarrollo del gluten.

El tamaño de partícula de el harina convencional es una medida de la friabilidad del endospermo del trigo bajo las condiciones de molienda, también revela la necesidad de moler con más fuerza a los trigos mas vitreosos bajo condiciones de molienda idénticas. El tamaño y forma también afectan la densidad del material.

La clasificación por aire es utilizada para conocer la distribución del tamaño de partícula y también un método de sedimentación, sin embargo, se utiliza con mayor frecuencia el tamizado empleando la serie de tamices Tyler.

Las pruebas del porcentaje de distribución de tamaños de partícula confirman que el material no es homogéneo, las partículas se encuentran en un rango de 0-20 μm , en el diámetro equivalente Stokes, y es proteína libre mezclada con pequeñas cantidades de almidón, material de pared celular y en algunos casos, almidón severamente dañado. Siguen partículas entre 20-30 μm , son partículas predominantemente de almidón con pequeñas proteínas adheridas. Partículas por encima de 35 μm son una mezcla de almidón con proteína adherida^(9, 13, 21).

III.2.7 MINERALES.

Se han realizado numerosos estudios concernientes a encontrar el efecto de los componentes minerales sobre los productos de trigo, sin encontrar el efecto que tienen pequeñas cantidades de metales pesados. Por muchos años el contenido de cenizas de el harina ha sido considerado como un factor que determina la calidad de extracción de el harina ó grado de refinamiento del proceso. Las cenizas que contiene el harina de trigo provienen principalmente del salvado y las células de aleurona. El contenido de cenizas de una harina de trigo suave es menor que el contenido de cenizas de una harina de trigo duro obtenidas por un mismo sistema de extracción. Tomando en consideración estas variables, el contenido de cenizas en una harina varía de 0.3 a 1.0 %^(19,43)

Al igual que el color el % de cenizas esta en función del grado de extracción de el harina y del tipo de trigo⁽³⁴⁾.

III.2.8 GRANULOMETRIA

La granulometría o tamaño de partícula, es considerado un componente de calidad de el harina, solo si se reconoce como un grado de fineza en particular. El tamaño de partícula está relacionado con la absorción de agua, tamaños de partícula finos aceleran la velocidad de hidratación de el harina, esto provoca una masa más plástica en la etapa donde se aplica el trabajo para el desarrollo del gluten.

El tamaño de partícula de el harina convencional es una medida de la friabilidad del endospermo del trigo bajo las condiciones de molienda, también revela la necesidad de moler con más fuerza a los trigos mas vitreosos bajo condiciones de molienda identicas. El tamaño y forma también afectan la densidad del material.

La clasificación por aire es utilizada para conocer la distribución del tamaño de partícula y también un método de sedimentación, sin embargo, se utiliza con mayor frecuencia el tamizado empleando la serie de tamices Tyler.

Las pruebas del porcentaje de distribución de tamaños de partícula confirman que el material no es homogéneo, las partículas se encuentran en un rango de 0-20 μm , en el diámetro equivalente Stokes, y es proteína libre mezclada con pequeñas cantidades de almidón, material de pared celular y en algunos casos, almidón severamente dañado. Siguen partículas entre 20-30 μm , son partículas predominantemente de almidón con pequeñas proteínas adheridas. Partículas por encima de 35 μm son una mezcla de almidón con proteína adherida^(19,13,27).

III.2.9 MICROBIOLÓGICOS.

Los análisis de rutina usados para determinar las condiciones microbiológicas del trigo y harina de trigo incluyen Hongos y Levaduras, Mesófilos aerobios en placa (Cuenta estandar), cuenta de Organismos Coliformes, Escherichia coli, Staphilococcus y Salmonella. Se pueden incluir análisis especiales de el harina de trigo como: prueba de esporas, micotoxinas y otros organismos dependiendo del uso y fin del producto.

Con adecuadas condiciones de cultivo, controles en el manejo y proceso y buenas practicas de almacenamietno, no habrá peligro de contaminación microbiana del trigo y sus harinas. Esto se debe a que la población microbiana sobre la superficie del trigo es baja una vez removido el salvado^(9,34).

III.2.10 MEJORADORES DE HARINA.

Los mejoradores son sustancias químicas o biológicas que van a ejercer alguna acción específica sobre la naturaleza del gluten y los pigmentos. En general, estos mejoradores se utilizan en cantidades relativamente pequeñas; su proporción puede variar ligeramente según la naturaleza del trigo, las mezclas y la calidad del gluten. Estas sustancias se pueden dosificar ya sea en forma de polvo o en forma de gas y es posible compensar las deficiencias del trigo y adecuar las harinas de acuerdo a su aplicación final.

Los productos químicos (y en algunos casos biológicos) usados como mejoradores en el harina de trigo se pueden clasificar como sigue^(9,13,34,41):

III.2.10.1 AGENTES BLANQUEADORES.

Son sustancias que aceleran la oxidación de los pigmentos carotenoides (principalmente) transformandolos en compuestos incoloros. Los más comunes son:

a) Peróxido de benzoilo.

Es el más popular de todos los agentes blanqueadores. Su propiedad de blanqueado se le atribuye al hecho de que al contacto con la humedad de el harina desprende oxígeno, acelerando la oxidación de los pigmentos. La dosis aprobada por FDA y la Norma Oficial Mexicana (NOM) es de 50 ppm con una acción inmediata.

b) Peróxido de Nitrógeno.

Es un gas que actúa de igual forma que el Peróxido de benzoilo, pero su uso es muy limitado.

III.2.10.2 AGENTES MADURADORES.

Los maduradores imparten características benéficas al gluten, reforzándolo para producir una mayor tenacidad y una red proteica menos permeable y más

resistente.

En la oxidación se ven involucrados los grupos sulfhidrilos y disulfuro de las proteínas. La velocidad de oxidación es mayor a pH bajo y alta temperatura.

Los agentes oxidantes más empleados son:

a) Bromato y Yodato de Potasio.

Es un oxidante que actúa en las últimas etapas de la panificación, una vez que las levaduras han alcanzado su acción fermentativa y que el pH ha alcanzado un valor cercano a 5.5. Su velocidad de reacción es alta en las condiciones de horneado; forma bromuro de potasio y libera oxígeno, el cual provoca la oxidación de los grupos sulfhidrilos del gluten. La Norma Oficial Mexicana para la harina de trigo permite como máximo 50ppm, la FDA ha prohibido su uso por los efectos secundarios que causa y sus riesgos durante el almacenamiento.

b) Azodicarbonamida.

Mejor conocidas como ADA se están usando cada vez más como sustitutos de Iodatos y Bromatos, reacciona de forma inmediata en las primeras etapas del proceso en presencia de humedad.

Reduce el contenido de grupos tiol de la masa e incrementa su resistencia a la extensión. Su uso está aprobado por la Norma Oficial Mexicana en concentraciones 45 ppm.

c) Acido Ascórbico.

El ácido ascórbico actúa como oxidante en la masa debido a su conversión a ácido D-hidroascórbico por acción de la enzima ascórbico-oxidasa presente en las harinas de trigo. Presenta una ventaja sobre otros agentes al no inactivar por completo las enzimas proteolíticas necesarias para el acondicionamiento plástico del gluten. Su uso también puede ser de agente reductor donde hay deficiencia de oxígeno. Su uso es de 10 a 20 ppm y hasta 200 ppm es aceptado en la legislación Mexicana en productos de panificación.

La reducción consiste en el rompimiento de los enlaces disulfuro para formar grupos sulfhidrilo (iones hidrógeno se adicionan en el proceso de reducción y se remueven en el proceso de oxidación). En esencia, el mezclado (reducción) desarrolla la estructura de la proteína para formar una masa dócil y elástica al estar completamente desarrollada.

d) L-Cisteína.

Se usa en masas rápidas (utilizadas para la producción de productos que no requieren fermentación) y en masas sin tiempo de fermentación para producir una

reducción en el tiempo de mezclado. Con la acción acelerada de reducción se acorta considerablemente o se elimina el proceso de fermentación. Su uso es de 10 a 70 ppm.

e) Acido sórbico.

Se usa a niveles de 15 a 30 ppm con una reacción inmediata y se ha encontrado que reduce el tiempo de mezclado del 20 al 30% no actuando como conservador a esos niveles.

III.2.10.3 AGENTES BLANQUEADORES Y MADURADORES.

a) Cloro.

Este gas no solo blanquea sino que ejerce una acción de maduración y mejora la fuerza de el harina. La acción blanqueadora sobre el harina, no es una simple oxidación, sino que existe la generación de un compuesto incoloro (diclorocaroteno). El cloro puede fijarse en ciertos aminoácidos como tirosina y triptofano dando como resultado la disminución del valor nutritivo de el harina, esto es consecuencia de una sobredosis. Su uso máximo permitido por la NOM y FDA es de 2500 ppm, es de acción rápida y de aceptabilidad moderada.

c) Bióxido de cloro.

Tiene los mismos efectos que el cloro, su uso permitido por la NOM es de 30 ppm máximo con una acción rápida y de aceptabilidad moderada.

Este producto forma iones de cloro en presencia de humedad actuando sobre los grupos tiol de la masa.

III.2.10.4 SUSTANCIAS BIOLÓGICAS.

La adición de enzimas ha sido una práctica común para mejorar la calidad de los productos obtenidos en el proceso de panificación. Al adicionar enzimas es necesario suministrar azúcares fermentables tales como dextrosa (glucosa) o sacarosa. Una de las mayores ventajas es el sabor impartido por los productos intermedios tales como alcohol y aldehidos, así como limitar la modificación del almidón e incrementar el volumen del pan por la generación de bióxido de carbono^(9,41).

IV.- FUNDAMENTOS DE LA REOLOGIA DE MASAS DE HARINA DE TRIGO.

IV.1) ANTECEDENTES.

La reología de las masas es la principal característica que determina el comportamiento durante los procesos de fabricación de pan, pastas, galletas, etc.. Es por lo tanto importante tener un control de dichas propiedades para lograr una uniformidad y calidad constantes en los productos finales.

Desde el punto de vista reológico la masa de harina de trigo es un sistema de los más complejos, que se conocen^(23, 44, 45, 46, 47).

En el presente Capítulo se abordará el comportamiento general de la masa, para lo cual es necesario considerar algunos conceptos básicos sobre reología.

DEFINICIONES^(22, 28, 29, 30, 32, 33, 51, 52, 53):

REOLOGIA. Es la rama de la física que se encarga del estudio de las fuerzas y deformaciones de los materiales, su relación y su interrelación con el tiempo.

FUERZA. Se define en términos de la capacidad de producir una aceleración en un cuerpo pero también es un agente capaz de deformar dicho cuerpo. La unidad de la fuerza es el newton (N), que es la fuerza, que aplicada sobre una masa de un kilogramo (Kg) produce una aceleración de un metro (m) sobre segundo al cuadrado (s^2).

DEFORMACION. Se refiere al cambio de las dimensiones de los cuerpos cuando son sujetos a una tensión.

TENSION. Es el factor de intensidad de una fuerza aplicada sobre un área determinada (A). Por lo tanto se expresa en fuerza por unidad de área (N/m^2). Es similar a la presión.

PRESION. Se le conoce así a la fuerza superficial ejercida por un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

FLUIDO. Es una sustancia que no resiste de manera permanente la deformación causada por una fuerza y por lo tanto cambia de forma, los gases, líquidos y algunos sólidos presentan características de fluido.

FLUJO. Es la deformación de líquidos (movimiento de un fluido).

FLUIDOS NEWTONIANOS. Son los fluidos que obedecen la Ley de Viscosidad de Newton y para los cuales existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad cortante (Ver FIG.5-A)

LEY DE VISCOSIDAD DE NEWTON. Es aquella en que la fuerza de cizalla por unidad de área es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local.

Para explicar esto, consideremos un fluido (gas o líquido) encerrado entre dos grandes placas paralelas de área A, separadas una de otra por una distancia muy pequeña Y, supongamos que después de un tiempo de reposo, la placa inferior se pone en movimiento en dirección del eje x a una velocidad constante V, al cabo de un tiempo se establece el perfil de velocidad en régimen estacionario y en el cual es necesario aplicar una fuerza constante F para mantener el movimiento, esta fuerza se puede calcular mediante la ecuación^(22,29,69):

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y} \dots\dots\dots(\text{Ec. 1})$$

la cual esta dada para flujo laminar. La ecuación anterior nos indica que la fuerza por unidad de área F/A es proporcional a la velocidad V e inversamente proporcional a la distancia Y. El coeficiente de proporcionalidad es llamado viscosidad del fluido y es constante para los fluidos Newtonianos y representada por μ .

Aplicando la definición de derivada donde Y tiende a cero se tendrá:

$$\frac{F}{A} = t = - \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

Donde: $F/A = t =$ esfuerzo cortante o tensión de cizalladura = $[N/m^2]$

$\mu =$ coeficiente de viscosidad = $[Kg/m*s]$

$dv/dy =$ velocidad de deformación = $[s^{-1}]$

VISCOSIDAD. Es la propiedad de un fluido que dá lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes en el fluido. Es la resistencia al flujo que presentan los líquidos. En la ecuación de estado de los líquidos en la que se relaciona la velocidad de deformación con la tensión, el coeficiente de viscosidad (μ) representa la constante de proporcionalidad, siendo para los sólidos el modulo de elasticidad donde se relaciona la deformación con la tensión.

FLUJO LAMINAR. Se le llama así cuando un fluido fluye a través de un canal cerrado como una tubería o entre dos placas a baja velocidad de tal modo que el fluido tiende a no mezclarse lateralmente, es decir, las capas adyacentes de moléculas se resbalan unas sobre otras como los naipes de una baraja sin presentarse ni corrientes cruzadas ni remolinos del fluido.

FLUJO TURBULENTO. Este fenómeno se presenta a aquellas velocidades de flujo donde se pierde el flujo laminar, es decir, donde se inicia la formación de torbellinos implicando un mezclado lateral y corrientes cruzadas perpendiculares a la dirección del flujo. El número que indica el comienzo de la turbulencia ha sido denominado número crítico de Reynolds (Re) a través de tubos^(51.52.69).

$$Re = \frac{2 \rho Q}{r \mu}$$

Donde: ρ = densidad del líquido (Kg/m³)

Q = gasto del líquido (m³/s)

r = radio (m)

μ = coeficiente de viscosidad (Ns/m²)

FLUIDOS NO NEWTONIANOS. Son aquellos que no obedecen la Ley de Newton para viscosidad, en ellos la relación entre t y dv/dy no es lineal, por lo tanto la viscosidad no permanece constante, por lo que se tiene que introducir el término de "coeficiente de viscosidad aparente" μ_{app} .

En forma general se tienen cuatro tipos de comportamiento:

COMPORTAMIENTO	INDEPENDIENTES DEL TIEMPO	DEPENDIENTES DEL TIEMPO
DILUCION	1)SEUDOPLASTICOS	3) TIXOTROPICOS
ESPEZAMIENTO	2)DILATANTES	4)REDPEXICOS

a) Fluidos Seudoplásticos. En este tipo de fluidos la velocidad de deformación aumenta en proporciones mas altas que el esfuerzo cortante, por lo que la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación.

La representación gráfica se muestra en la FIG.5-B y obedece a la ecuación exponencial siguiente:

$$\tau = K (dv/dy)^n \dots (Ec. 3)$$

Donde la diferencia con respecto a la Ec. 1 son K que es el índice de consistencia y n que es el índice de comportamiento de flujo (adimensional).

Entonces tenemos de la Ec. 3 que si $n=1$, se transforma a la Ec. 1, es decir, el fluido es Newtoniano.

Si $n < 1$ el fluido es pseudoplástico y finalmente si $n > 1$ el fluido es dilatante. Ver Figura 5B y 5C respectivamente.

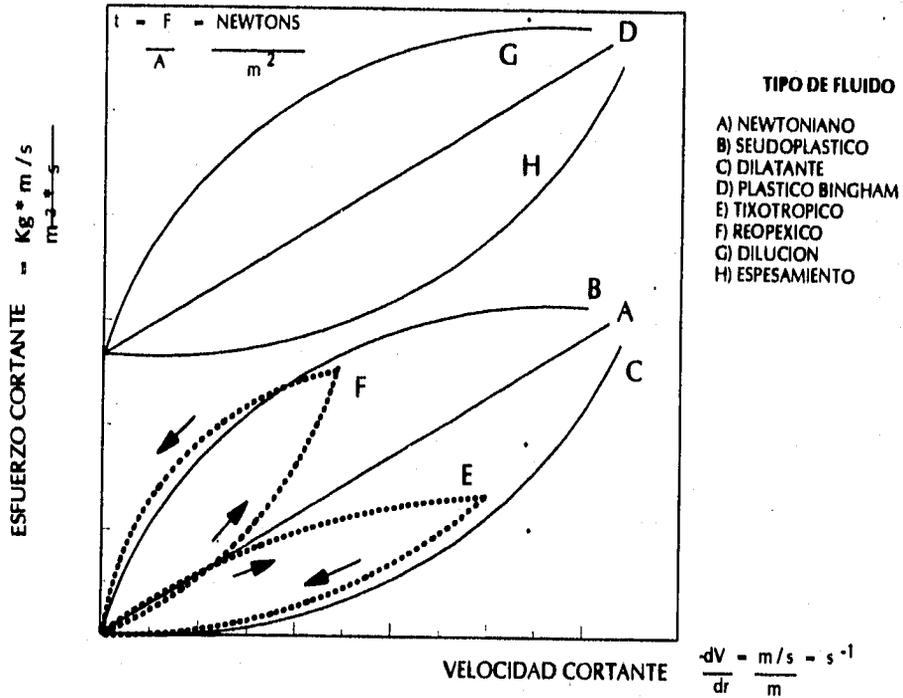
b) Fluidos Dilatantes. En este tipo de fluidos existe un incremento en la viscosidad aparente al aumentar la velocidad de deformación. Estos fluidos son representados gráficamente por la FIG.5-C y al igual que los fluidos pseudoplásticos se les aplica la Ley de Potencia (Ec. 3).

c) Fluidos Tixotrópicos. La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo. Este comportamiento es similar a la pseudoplasticidad, sin embargo, el descenso de la viscosidad aparente además de estar relacionado con la velocidad de deformación depende del tiempo, por lo que se forma el llamado "Bucle de Histéresis" que se presenta por no coincidir la fase de carga y descarga formando un bucle, que se puede apreciar en la FIG.5-E.

d) Fluidos Reopéxicos. La reopexia es un espesamiento dependiente del tiempo. Se presenta un comportamiento inverso a la tixotropía, considerando un aumento en la viscosidad aparente al incrementarse la velocidad de deformación. Al igual que la tixotropía presenta el Bucle de Histéresis representada por la FIG.5-F.

FLUIDOS PLÁSTICOS. En términos reológicos, un producto plástico requiere de un esfuerzo cortante inicial (τ_0) para que empiece a fluir. A estos fluidos se les denomina Plásticos de Bingham. La representación gráfica se muestra en la FIG.-5-D donde τ en función de dv/dy y muestra que la viscosidad plástica μ_p está sometida a influencias tan complejas como las que afectan la viscosidad aparente, además de las complicaciones que introduce el valor de deformación plástica. Si el comportamiento es independiente del tiempo puede aplicársele la ley de potencia como a los materiales dilatantes (FIG.5-H) y pseudoplásticos (FIG.5-G).

FIGURA 5
DIAGRAMA REOLOGICO

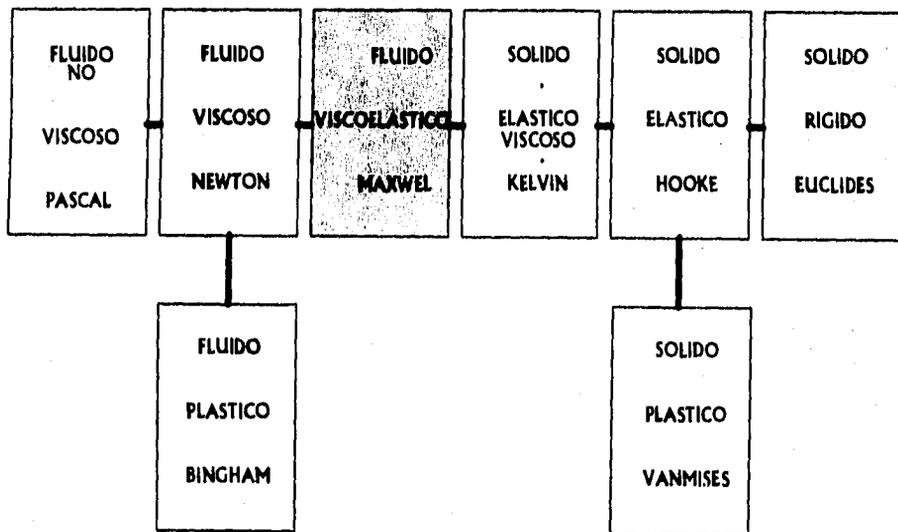


FLUIDOS VISCO-ELÁSTICOS. El comportamiento de este tipo de fluidos es el de deformarse cuando se les aplica un esfuerzo, pero exhiben una recuperación elástica al eliminar dicho esfuerzo, es decir, muestran propiedades tanto viscosas como elásticas. La recuperación elástica no es total, ya que solo parte de la deformación se recupera al eliminar el esfuerzo.

En los productos visco-elásticos los componentes elástico y viscoso se manifiestan simultáneamente bajo las condiciones operacionales, y la elasticidad es muy fácilmente detectable a tensiones altas, lo que contrasta con el comportamiento de los fluidos plásticos.

Los fluidos visco-elásticos son el posible puente de unión entre los líquidos y los sólidos. En el siguiente esquema se muestra la posición de la masa de trigo con respecto a los otros grupos de materiales existentes en la naturaleza^(22,28,29,30,32,33,51,52,53).

FIGURA 6
CLASIFICACION REOLOGICA DE LOS MATERIALES



FUENTE: (28) ROCAVILA; INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS; ED. LIMUSA.

IV.2) ESTRUCTURA Y COMPOSICION DE LAS MASAS.

La masa de harina de trigo, está clasificada como un material VISCOELASTICO NO LINEAL debido a que las propiedades mecánicas que exhibe, muestran desviaciones del comportamiento lineal simple, dado que la relación esfuerzo-deformación es una función tanto del esfuerzo o la deformación como también del tiempo.

Para entender aún mejor la reología de la masa de trigo es necesario conocer su estructura y composición por lo que se debe definir una masa de harina de trigo.

La masa es una mezcla compleja entre los constituyentes de el harina como son:

Proteínas (solubles e insolubles), carbohidratos (almidón, azúcares y polisacáridos solubles e insolubles), lípidos, enzimas y agua que se encuentra presente en niveles del 14% del total de el harina, y que se complementa con la adición de una mayor cantidad de agua (para alcanzar un 58% de humedad dentro de la masa) así como un trabajo mecánico para lograr una mezcla homogénea que permite el desarrollo de las propiedades funcionales de los constituyentes.

Durante la aplicación del trabajo mecánico (amasado) se incorpora a la masa oxígeno atmosférico el cual forma alveolos o burbujas de gas que se expanden durante el proceso de fermentación y de horneado. Este oxígeno también está involucrado de manera directa con las reacciones de oxidación que afectan las propiedades de la masa ^(9,29,30).

La cantidad de trabajo por aplicar depende del tipo y proporción de dichos constituyentes, lo cual será revisado posteriormente.

Dependiendo del uso que se le dará a la masa de harina de trigo pueden adicionarse algunos ingredientes secundarios como:

Levadura, sal, malta, enzimas, mejoradores de harina, azúcar, grasa, emulsificantes, leche, sólidos de soya, conservadores, etc. lo que permitirá obtener características específicas en la producción de pan, pasteles, galletas, pastas, etc.

Debido a que la masa es una mezcla compleja de constituyentes primarios y/o secundarios se le clasifica como un sistema multifases en el que se pueden apreciar las siguientes; una que es sólida, otra que es líquida y una tercera fase gaseosa que consiste en finas burbujas de aire, incorporadas en el amasado.

Los constituyentes encontrados en la multifase de la masa (o fase de la masa) por Resonancia Magnética Nuclear u otras técnicas avanzadas de microscopía son:

- Gránulos de almidón (que ocupan el 60% del volumen).
- Proteína hidratada o hinchada.
- Células de levadura.
- Lípidos, en masas con y sin adición de grasa.
- Formas irregulares de remanentes de organelos de células y pericarpio del trigo.

A continuación se describirá la funcionalidad de los constituyentes del harina de trigo ^(2,9,22,27).

AGUA.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior el agua tiene una gran importancia en la conservación del producto y las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo durante los procesos donde se utiliza el harina de trigo.

Por otro lado, el agua juega un papel muy importante para la formación de la masa, ya que dependiendo de la cantidad de agua adicionada al harina de trigo se obtendrá una masa con características adecuadas. El contenido de agua total

(inherente y adicionada) para obtener una masa con características viscoelásticas y manejo adecuado para la elaboración de productos de panificación esta en el rango de 40 a 46%. El valor óptimo de agua depende del tipo de harina, contenido de proteína y cantidad de almidón dañado. Contenidos menores del 35% de agua son insuficientes para formar una masa coherente y mayores al 50% traen como consecuencia una masa de difícil manipulación (masas flojas o pegajosas)^(9,27).

Para determinar la cantidad de agua y tiempos de mezclado óptimos para un harina en especial es necesario considerar la humedad (contenido de agua) y contenido de proteína de esta antes de cualquier evaluación reológica. Los equipos utilizados para este fin son el Farinógrafo y el Mixógrafo, aunque este último ya no es muy usado por la precisión y versatilidad que ofrece el Farinógrafo.

PROTEINAS.

Las propiedades funcionales del harina de trigo dependen de factores tales como: variedad del trigo, medio ambiente, y condiciones bajo las cuales fué cultivado el trigo, el proceso de molienda, y la composición química de el harina.

La composición química del trigo varía ampliamente en cuanto a: contenido de proteína, minerales, vitaminas, pigmentos y enzimas. El valor del harina de trigo para un propósito en particular depende del contenido de proteína y de las propiedades reológicas del gluten presente.

Las harinas de trigo se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Harinas fuertes: que contienen un porcentaje de proteínas relativamente alto (12 - 14%), son tenaces, de gluten elástico con buenas propiedades para retener gas, con una mayor absorción de agua para formar masas de consistencia adecuada y productos de alto rendimiento. La masa tiene una excelente calidad de manejo, su tiempo de mezclado no es crítico, lo cual quiere decir que resiste el trabajo mecánico por más tiempo y presenta buena tolerancia a la fermentación.

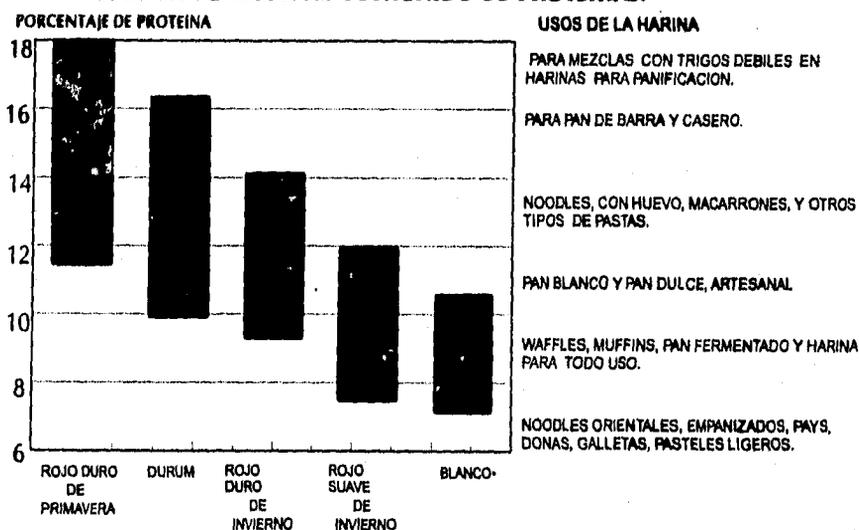
Harinas débiles: éste tipo de harinas presentan un contenido relativamente bajo de proteínas (9 - 11%), forman un gluten suave, débil, de mucha elasticidad y con malas propiedades para retener gas. Tienen una baja capacidad de retención de agua y sus masas son de una calidad de manejo inferior, los tiempos de mezclado y fermentación son críticos por su baja fuerza.

Harinas semifuertes, las cuales tienen características intermedias de los dos grupos antes mencionados sobresaliendo su tenacidad y mayor absorción de agua.

El contenido de proteínas, es uno de los parámetros que determina el valor comercial de las harinas y que de forma muy generalizada nos da idea del uso que se le puede dar, esto se puede apreciar en la Figura 7 ⁽⁹⁾.

Para relacionar la composición química con las propiedades funcionales y para explicar las modificaciones físicas y químicas en el proceso de la masa, es esencial entender la naturaleza de los enlaces químicos presentes en los componentes de la masa.

**FIGURA 7
USOS EN FUNCION AL CONTENIDO DE PROTEINAS.**



FUENTE: (9) POMERANZ, Y. ; WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY; ED. AACCC; THIRD EDITION; VOL. II, pp 220

1) Enlaces Covalentes. Los enlaces covalentes conocidos se encuentran en la estructura de la masa y por su alta energía confieren estabilidad a la misma.

Los enlaces disulfuro S-S son covalentes y se forma por la presencia de aminoácidos como la cistina y cisteina que en conjunto representan alrededor del 1.4 % de los aminoácidos en el gluten. Los enlaces de la cistina contribuyen a la firmeza de la masa, por lo tanto una cadena con enlaces cruzados permanentes no tiene capacidad de flujo viscoso. Los enlaces disulfuro mejoran la solubilidad del gluten por lo que son importantes para la cohesión, esto se debe a que estos enlaces se forman con y entre cadenas de péptidos de las proteínas, es decir se

forman enlaces cruzados.

La cisteína posee grupos tiol y la cistina posee grupos disulfuro.

El efecto de los agentes oxidantes sobre las propiedades reológicas de la masa puede explicarse como el rompimiento de los enlaces cruzados disulfuro, y su rearreglo por reacciones de cambio con los grupos SH (tiol).

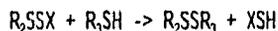
Las características elásticas de la masa están dadas principalmente por la presencia e interacción de grupos disulfuro y tiol dentro de las cadenas proteicas^(45,46,47).

Las reacciones de intercambio disulfuro-tiol pueden explicar lo que ocurre en una deformación permanente de la cadena de proteína continua con los enlaces cruzados disulfuro, mediante el siguiente mecanismo:

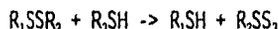
(1) Primero, se muestran dos moléculas de proteína con enlaces cruzados por dos grupos disulfuro.



(2) Por la acción del grupo tiol, se abre el grupo 1-2 disulfuro.



(3) Por efecto del movimiento Browniano, la cadena proteica 2(R₂) se recorre y reacciona formando un nuevo enlace cruzado disulfuro entre la posición 2 y 3.



En el ejemplo anterior se seleccionó arbitrariamente un enlace cruzado entre dos cadenas de proteína (Ver Figura 8). El componente tiol X-SH estará siempre disponible para otro ciclo de reacción de intercambio, por lo que pequeñas cantidades permiten la formación de cualquier cantidad de ciclos de reacción durante un tiempo suficiente. Bajo presión, la dirección del movimiento Browniano está dada por los cambios de conformación en una deformación medible^(45,46,47).

El grupo tiol-disulfuro durante el mezclado da una explicación lógica de la formación de la cadena de proteína en la masa, en la cual las moléculas de proteína provenientes de diferentes partículas de harina se entrecruzan (enlaces cruzados) para formar una fase continua coherente y cohesiva.

En resumen, el número de enlaces disulfuro determinan la deformación elástica del gluten en las masas (comportamiento temporal) y la presencia del grupo tiol, es necesaria para una deformación viscosa (permanente).

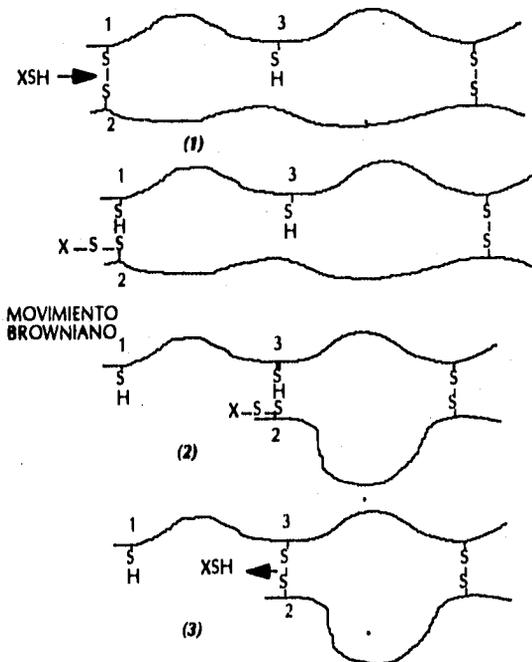
2) Enlaces no covalentes: dentro de este tipo de enlaces se encuentran:

a) Iónicos: Los iones de la masa de trigo pueden formar complejos con grupos iónicos de lípidos, proteínas y pentosanas. En la práctica es común usar sal para

disminuir la extensibilidad de la masa e incrementar la rigidez.

FIGURA 8

REACCIONES DE INTERCAMBIO TIOL DISULFURO.



FUENTE: (45) BLOKSMA, A.H.; THIOL AND DISULFIDE GROUPS IN DOUGH RHEOLOGY; CEREAL CHEMISTRY; VOL.52; No.3; PARTE I; pp 173 rl

Este efecto está dado por la formación de enlaces iónicos con el sodio.

b) Puentes de Hidrógeno: la presencia de numerosos puentes de hidrógeno en el gluten contribuyen a las propiedades viscoelásticas.

Los puentes de hidrógeno se forman como resultado de la afinidad de los hidrógenos del hidroxil de los grupos carboxílicos y amínicos con el oxígeno de los grupos carboxílicos o carbónilicos. Estos enlaces se favorecen por la presencia de compuestos polares, un puente de hidrógeno no es propiamente un enlace químico, sino solamente una fuerza de unión debido a la fuerza electrostática entre dos átomos provenientes de moléculas polares, como es el caso del agua. Cerca del 90% de los componentes de la masa son altamente polares. La adición de azúcares, así como la adición de lípidos incrementa el contenido

de sustancias polares.

Los puentes de hidrógeno son considerados estabilizadores de estructuras tridimensionales y se forman entre elementos altamente electronegativos como el oxígeno, nitrógeno y fluor.

c) Fuerzas de VanDer Waals: Estos tienen un papel importante en la atracción entre residuos de aminoácidos no polares o cadenas de ácidos grasos en sistemas en los cuales el enlace hidrofóbico es imposible por la limitación de agua, sin embargo no son significativos cuando existen enlaces más fuertes o distancias más grandes que 5 Å.

3) Enlaces Hidrofóbicos: Además de los enlaces químicos existen los enlaces hidrofóbicos, este tipo de interacción se da entre los mismos compuestos no polares de los constituyentes de la masa (aminoácidos residuales con cadenas de lados no polares), evitando el contacto con el contorno acuoso. Los enlaces hidrofóbicos no forman parte de los enlaces químicos por tener un efecto entrópico o termodinámico, es decir que la formación de estos enlaces es un proceso endotérmico favorecido por un incremento de la temperatura por arriba de los 60° C. Los enlaces hidrofóbicos pueden contribuir con la elasticidad y la plasticidad de la masa debido a que su energía es lo suficientemente baja para permitir un rápido intercambio a temperatura ambiente.

Es difícil determinar en que proporción se encuentra cada tipo de enlace en la estructura de la masa ya que una mezcla de ellos es determinante para lograr su estabilidad y funcionalidad^(9,34,45,47,55).

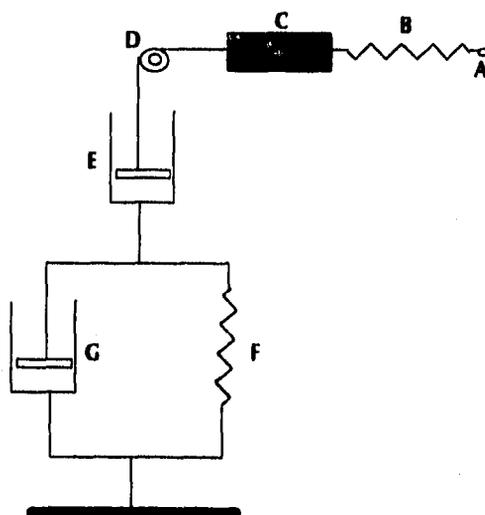
IV.3) FUNDAMENTO DE LA MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MASAS.

En masas de harina de trigo, las propiedades reológicas son extremadamente importantes, ya que de ellas depende en gran medida la calidad de los productos finales. Demostrar algunas características físicas de la masa es relativamente fácil, medir dichas características es difícil, pero es aun más difícil tratar de definir las. Es por ello que los investigadores han tenido que aplicar muchos de los principios de la reología con la finalidad de definir el comportamiento de las masas. Considerando a la reología como la investigación sistemática de la deformación y flujo de la materia, encontramos que la deformación puede dividirse en dos tipos: a) la deformación reversible, llamada también elasticidad y b) la deformación irreversible llamada flujo. Estas dos características juegan un papel muy importante en el comportamiento físico de las masas.

El estudio del comportamiento reológico de la masa, está orientado a establecer la relación entre las características fundamentales (pruebas bromatológicas, de panificación y sensoriales) y los resultados obtenidos de las pruebas físicas (reológicas). Por otro lado las pruebas reológicas han sido también utilizadas para estudiar la estructura de la masa y la funcionalidad de sus componentes individuales. Sin embargo, el mayor problema estriba en establecer dicha relación, debido a que el factor humano, que es necesario para trasladar la percepción sensorial a las mediciones instrumentales, genera que los métodos para la medición física de masas se tornen más complejos.

El carácter reológico de la masa en términos de un modelo como se muestra en la Figura 9, en la cual un resorte F, (elemento elástico) es sujetado a una fricción estática, elemento C, y a una carrera o pistón E (elemento viscoso). Debido a que la masa es caracterizada por la elasticidad tanto instantánea como retardada, es necesario adicionar otro elemento viscoso G en paralelo con el elemento elástico F. El elemento C representa un valor dado, por debajo del cual el resultado de los esfuerzos es solo una deformación elástica temporal (elemento B) y no de un flujo viscoso. El elemento D no tiene ningún significado reológico.

FIGURA 9
MODELO REOLOGICO DE LA MASA.



FUENTE: (44) SHUEY, W.C.; PRACTICALS INSTRUMENTS FOR RHEOLOGICAL MEASUREMENTS ON WHEAT PRODUCTS; CEREAL CHEMISTRY; VOL. 52; No. 3; PARTE II; pp 437

El comportamiento que se representa, es el de un fluido visco-elástico, y se denomina Modelo de Bloksma para el compartamiento de la masa de trigo.

A partir de estos fundamentos se generaron un gran número de estudios, modelos, instrumentos reológicos y técnicas de medición ^(19,20,22,30,44,45,46,47).

Los métodos para evaluar las características físicas de la masa, más ampliamente usados así como los instrumentos empleados, pueden dividirse en dos grandes grupos:

1) Instrumentos de medición de torque o medición de viscosidad:

a) mezcladores de masa.

En esta categoría se encuentran instrumentos que miden el comportamiento general de la masa en el mezclado, estos incluyen la fuerza de la masa, velocidad de absorción de agua, tolerancia al mezclado, tiempo para máximo desarrollo, etc.

Los instrumentos que se emplean dentro de esta categoría son:

Farinógrafo.

Mixógrafo.

Do - Corder.

Resistógrafo.

Reógrafo.

b) Viscosímetros.

Esta categoría agrupa varias clases de viscosímetros, comúnmente usados para medir la viscosidad de pastas, batidos y suspensiones. La medida de la resistencia a la rotación de un huso o cilindro sumergido en el material de prueba es la base de varios de los viscosímetros. La mayoría de ellos están clasificados como viscosímetros de torsión debido a que los resultados se obtienen de la medición del torque sobre la parte rotatoria del instrumento. La medición del torque por un resorte calibrado sobre un huso en rotación a una velocidad constante en el material en estudio, da como resultado la viscosidad.

Los tipos de viscosímetros más conocidos son:

Viscoamilógrafo o Amilógrafo

Viscosímetro de MakMichael

Viscosímetro Brookfield

Viscosímetro Stromer

Número de caída de Perten-Hagberg

Viscosímetro Hueppler

Viscosímetro Zahn

Medidor de absorción de agua Simon Research

Existen otros viscosímetros que emplean el principio de la ley de Stokes, donde un objeto cae a través del material en estudio. La velocidad a la que el objeto podrá pasar a través del material está determinada por:

- a) La viscosidad del material a probar.
- b) La forma del objeto que cae.

Los viscosímetros mas simples son aquellos que permiten el paso del material por analizar a través de un orificio dado, registrando el tiempo requerido para que una cantidad específica de material pase.

II) Instrumentos de medición elástica o esfuerzo/deformación.

Los aparatos medidores del esfuerzo/deformación están diseñados para medir la elasticidad y la extensibilidad de la masa, su fundamento es que aplican una fuerza sobre la masa a una velocidad y dirección dadas. La masa se extiende o deforma más allá de su límite de extensibilidad por lo que se rompe. Estos equipos registran el área bajo la curva tiempo vs. extensión, quedando bien definido el punto de ruptura. El área es proporcional a la energía requerida para deformar la porción de masa involucrada.

Los equipos conocidos en esta categoría son:

- Extensógrafo Brabender.
- Alveógrafo Chopín.
- Extensómetro Simon Research.

Instrumentos de medición de gas.

Un aspecto importante para la producción de pan, el cual no será considerado como un punto central de este trabajo, es la generación de glóbulos de gas en la masa. lo cual depende de la capacidad de la masa para incrementar el volumen y retener la expansión de gas durante todas las etapas del proceso. Durante un mezclado convencional no se tiene la suficiente energía para desarrollar el volumen completo de la masa, sin embargo, incrementando la energía de mezclado, se puede obtener en pocos minutos el desarrollo completo.

Desde el punto de vista reológico lo que interesa, es establecer métodos o parámetros que puedan remplazar las pruebas de panificación.

Los aparatos conocidos son:

- SJA probador de masa.
- Zymatógrafo Chopin.
- Expansógrafo Halton.

Maturógrafo Brabender.

Horno registrador de levantamiento Brabender.

El objetivo de estos equipos es medir la producción de gas y la capacidad de retención de la masa durante la fermentación. El Maturógrafo, registra los cambios en elasticidad durante la fermentación de la masa. El expansógrafo y el zymatógrafo, registran la medición de los cambios en volumen de una bola de masa a temperaturas entre 30° y 100°C, aportando información del comportamiento físico de la masa durante las etapas tempranas de la panificación. Cabe mencionar que estos aparatos pueden diferenciar el gas que queda retenido y el que se pierde. Los instrumentos pueden controlar muchos de los parámetros durante la fermentación y pueden "ponchar" la masa automáticamente así como grabar varios cambios físicos que tienen lugar mientras se desarrolla la prueba (9, 10, 22, 29, 30, 32, 39, 44, 45, 46, 47, 48, 49)

Los aparatos más utilizados en México para la evaluación de las propiedades reológicas de las harinas son:

1) Farinógrafo, Brabender (Grupo Ia).

El Farinógrafo Brabender es conocido como el aparato por excelencia de medición, para determinar la calidad de harinas y de trigos. Las ventajas indiscutibles de este aparato son, su fácil manipulación y óptimo funcionamiento, aparte de los resultados objetivos y reproducibles que suministra.

El farinógrafo es el aparato de base para todos los demás aparatos manufacturados por Brabender para la medición física de masas a base de harinas, aparatos que trabajan sin excepción con masas de consistencia standar (Fermentógrafo y Estensógrafo).

El farinógrafo Brabender al igual que el método propuesto por el Prof. Pelshenke prevee que el porcentaje de absorción de agua de el harina a ensayar, sea determinada tomando como base una consistencia de 500 unidades Brabender (UB).

El Farinógrafo utiliza un método de medición basado esencialmente en principios físicos. Se registra la resistencia que la masa opone a un esfuerzo mecánico uniforme en condiciones de ensayo invariables, desde la formación de la masa y durante toda la duración del ensayo convirtiéndola en un diagrama que expresa la resitencia en función del tiempo. La curva así obtenida, denominada *curva normal*, reproduce en su conjunto las cualidades características de un trigo, o de los productos derivados como el harina, sémolas y semolinas, bajo una

forma visual indicando la fuerza dinámica del producto sometido a ensayo.

Esta fuerza dinámica de la masa es expresada mediante el valorímetro Brabender con una cifra empírica utilizada sobre todo para la determinación de la fuerza de un trigo puro, o el valor de una mezcla de trigos.

La interpretación de la curva mediante la apreciación de los diferentes elementos tales como la Absorción de Agua, Desarrollo de la masa, Estabilidad y grado de Ablandamiento, permite determinar las posibilidades de trabajo de el harina, sémola o semolinas en la práctica industrial.

Con el farinógrafo es posible apreciar el estado sanitario y la calidad enzimática de un trigo o de un producto derivado. Para ello, se deja reposar la masa llevada a su desarrollo óptimo (en la amasadora), durante una hora a 30°C. Puesto en marcha el motor se mide después de este tiempo de reposo la caída de la consistencia de la masa o ablandamiento, haciendo la comparación con la curva normal. Los trigos agorgojados o germinados provocan durante el reposo una intensa descomposición enzimática de la masa, cuyo efecto es una disminución de la fuerza de la masa calculada por el grado de ablandamiento leído en la curva.

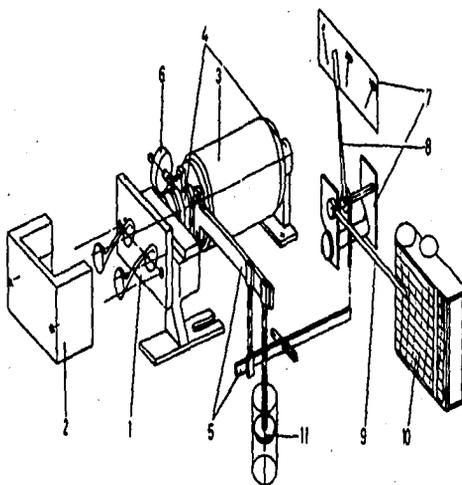
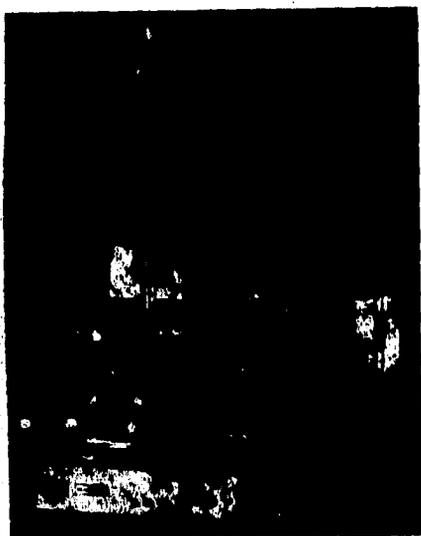
El método oficial del Farinógrafo para harina, de la AACCC es el 54-21. En la Figura 10 se muestra el Farinógrafo Brabender, el cual consta de las siguientes partes más importantes:

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1.- Paletas de la Mezcladora. | 2.- Mezcladora. |
| 3.- Motor. | 4.- flecha |
| 5.- Sistema de palancas. | 6.- Contrapeso. |
| 7.- Sistema de escala. | 8.- Indicador. |
| 9.- Brazo de pluma. | 10.- Graficador. |
| 11.- Amortiguador. | |

También se cuenta con una bureta (que se puede apreciar en la fotografía del farinógrafo), especial para determinar el porcentaje de absorción de agua.

La amasadora es accionada por un motor eléctrico sincronizado con engranaje, oscilando libremente. La resistencia opuesta por la masa (a ensayar) a las aspas de la amasadora, actúa como fuerza de reacción sobre el carter que tiende a girar en sentido opuesto al del motor. Estos momentos de torsión son transmitidos por un sistema de palancas (son transmitidos, por un pistón en aceite) a un sistema de balanza y graficados en una curva de fuerza-tiempo. La amasadora de paredes dobles se mantiene a temperatura constante mediante un termostato de circulación de agua.

FIGURA 10
Farinógrafo.



FUENTE: (9) POMERANZ, Y.; WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY; ED. AACC; THIRD EDITION; VOL II; pp. 151

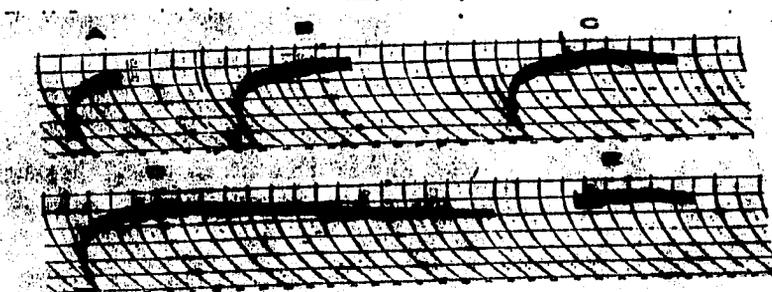
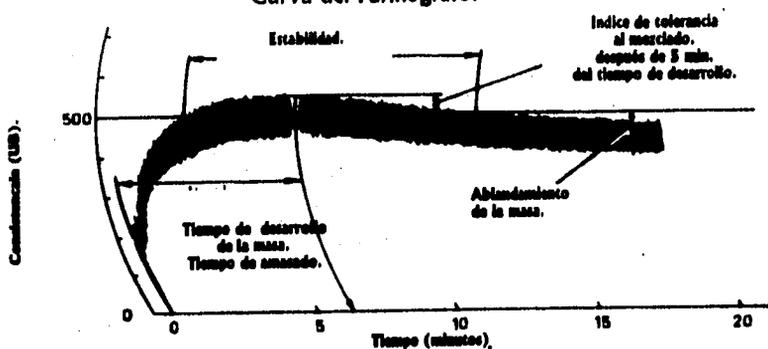
La Figura 11 muestra una curva típica obtenida en el farinógrafo, a la cual se le llama; curva normal o farinograma. En esta figura se esquematiza como se realiza la interpretación de un farinograma.

La letra A de la Figura 11 representa el tiempo en el que el agua está siendo absorbida rápidamente por el harina, que es el tiempo en el cual la parte superior de la primera curva interseca la línea de las 500 UB, y es llamado *tiempo de llegada*.

La letra B ilustra una extensión de la misma curva que corresponde al punto de máxima consistencia de la masa inmediatamente antes de la primera indicación de debilitamiento y es llamado *tiempo de desarrollo de la masa* (dough development time) o *tiempo de mezclado*.

La letra C muestra el *tiempo de salida*, que es el tiempo desde el minuto cero hasta que la curva inicia su salida de la línea de 500 UB.

FIGURA 11
Curva del Farinógrafo.



FUENTE: (9) POMERANZ, Y.; WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY; ED. AACC; THIRD EDITION; VOL. 11; pp. 151

La letra D es una representación de una curva completa del farinograma el cual está usualmente corriendo 12 minutos después del tiempo de desarrollo. Esta información indica el *ablandamiento de la masa* (degree of softening), el cual se determina entre la diferencia en la consistencia de la masa (degree of softening), al principio del ablandamiento y la que queda registrada después de haber continuado el amasado durante 12 minutos.

La letra E corresponde al punto donde la parte superior empieza a caer por debajo de la línea de las 500 UB. Al tiempo que transcurre desde que la curva toca la línea de las 500 UB en forma ascendente hasta que la curva inicia su caída por abajo de esta se le llama *tiempo de estabilidad (stability)*.

En la curva de reposo (Figura 12; 5.6), se puede apreciar la *caída de la consistencia*(5), la cual resulta de la diferencia entre la consistencia de la masa en el desarrollo óptimo (500 UB) y la que queda registrada después de 1 hora de reposo a los 30 segundos de amasado.

FIGURA 12
CURVA DEL FARINOGRAFO EN SECCIONES.



FUENTE: (60) INSTRUCTION MANUAL; FARINOGRAFO BRABENDER; INDUSTRIE MESS,
UND KONTROLLVERFAHREN.

El *índice de tolerancia al mezclado (mixing tolerance index)*, es la diferencia en consistencia (UB) entre el pico máximo y el punto de la curva medido 5 minutos después.

TIPOS DE CURVAS: Las curvas del farinógrafo han sido clasificadas de manera general de acuerdo con la forma de las mismas:

- 1) Curvas con t máximo, corto y baja estabilidad.
- 2) Curvas con t máximo, corto y alta estabilidad.
- 3) Curvas con t máximo, medio y baja estabilidad.
- 4) Curvas con t máximo, medio y alta estabilidad.
- 5) Curvas con t máximo, largo y baja estabilidad.
- 6) Curvas con t máximo, largo y alta estabilidad.
- 7) Curva con doble t máximo (pico), y depresión en la parte inicial de la curva.

Hay muchos tipos intermedios de curvas las cuales son variaciones o combinaciones de los 7 tipos generales de curvas, pero usualmente casi cualquier curva puede localizarse en alguna de estas categorías.

Para el corrimiento de una curva con el farinógrafo, pueden emplearse tres métodos, que son:

- a) Usando 300 gramos de harina con la humedad de origen.
- b) Con 300 gramos de harina sobre una base de humedad del 14% (llamado método de peso constante de harina).
- c) Usando 480 gramos de masa (método de peso constante de masa).

Estos procedimientos pueden no arrojar curvas idénticas, sin embargo, se ha encontrado que existen mayores variaciones usando diferentes aparatos, que las que se presentan al emplear diferentes procedimientos^(9, 44, 49, 56, 60, 71).

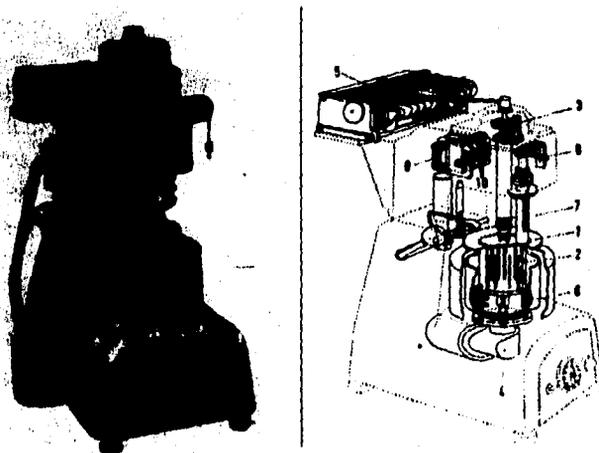
2) Amilógrafo, Brabender (Grupo Ib).

En la Figura 13 se muestra un Amilógrafo Brabender que es un viscosímetro de torsión que proporciona una gráfica continua de los cambios en la viscosidad de una suspensión de harina-agua provocados por el incremento uniforme de la temperatura (1.5°C/min), bajo agitación constante.

Las partes que componen al aparato son:

El recipiente de agitación de acero inoxidable (1), el sumergidor (2), Sistema balanceador (3), Motor de accionamiento (4), Graficador (5), Dispositivo de calentamiento por radiación (6), Termómetro de contacto (7), ajustador de la guja de temperatura (8) y mecanismo de relojería para el avance del papel (9,10).

FIGURA 13
Amilógrafo.



FUENTE: (61) INSTRUCTION MANUAL; AMILOGRAFO BRABENDER; INDUSTRIE MESS - UND KONTROLLVERFAHREN; WEST GERMANY

Se usan 80 gramos de harina y 450 cc de agua destilada. La suspensión se calienta hasta 94°C como máximo. Durante este periodo se mide la variación de viscosidad de la suspensión y se registra bajo la forma de una curva denominada amilograma, la cual indica la variación de la gelatinización del almidón bajo la influencia de la alfa-amilasa.

Los datos que se obtienen en el amilógrafo son:

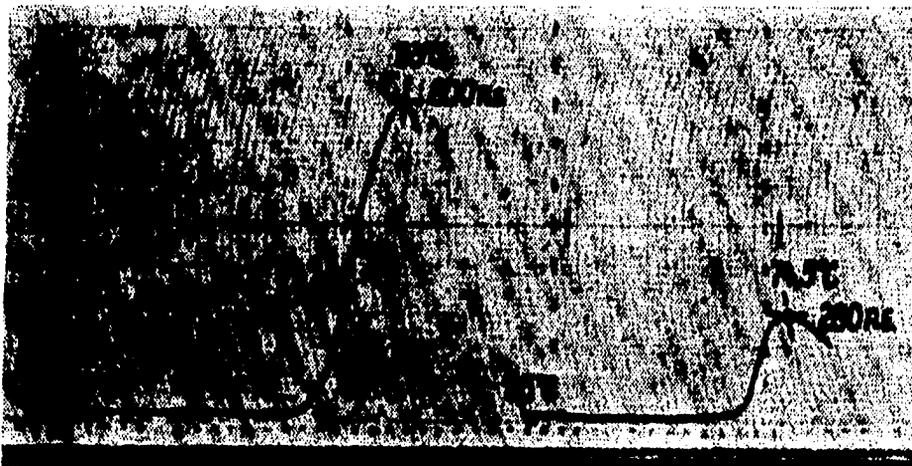
a) El lapso A-B es el reflejo de la viscosidad durante el incremento de temperatura antes del inicio de la gelatinización del almidón (ver Figura 14).

b) Al punto B se le conoce como *Temperatura de levantamiento* o punto donde se inicia la gelatinización.

c) B-C es el periodo de gelatinización que se caracteriza por un incremento de la viscosidad debido al hinchamiento y espesamiento del almidón.

d) C indica la máxima viscosidad del gel, en ocasiones se le llama pico o Temperatura de Máxima Gelatinización.

FIGURA 14
Curva del Amilógrafo.



FUENTE: (1) INSTRUCCION MANUAL; AMILOGRAFO BARBEREN, INDUSTRIE RIJES - OIND AONTROUWVERFAAREN, RIJES, NEERLAND

La viscosidad se reporta en UB, sin embargo, existe la conversión a centipoises.

Como se muestra en una de las graficas de la Figura 14, la actividad enzimática es inversamente proporcional a la viscosidad (UB)^(9, 30, 44, 57, 61).

3) Número de caída, Falling Number (Grupo Ib).

El método del Falling Number se apoya en el principio de la gelatinización rápida de una suspensión de harina y la medición en segundos, corrigiendo este valor mediante las fórmulas 3.1 y 3.2, en función de la altura sobre el nivel del mar. Para altitudes menores de 2500ft: $FN_{sea\ level} = 10^{(*)}$ 3.1

$$(*) = \log_{10}(FN_{sea\ level}) = 1 \times \log_{10}(FN_{1e1do}) - (1.63093 \times 10^{-4} \times A) + (2.63576 \times 10^{-8} \times A \times A) \\ + (5.75030 \times 10^{-5} \times \log_{10}(FN_{1e1do}) \times A) - (1.06922 \times 10^{-8} \times \log_{10}(FN_{1e1do}) \times A \times A)$$

Para altitudes mayores de 2500ft: $FN_{sea\ level} = -849.41 + (0.4256 \times 10^{-5} \times A \times A)$

$$+ (454.19 \times \log_{10}(FN_{1e1do})) - (0.2129 \times 10^{-5} \times \log_{10}(FN_{1e1do}) \times A \times A) \dots \dots \dots 3.2$$

donde A es la altitud a la cual se esta calculando el Falling Number⁽³⁵⁾.

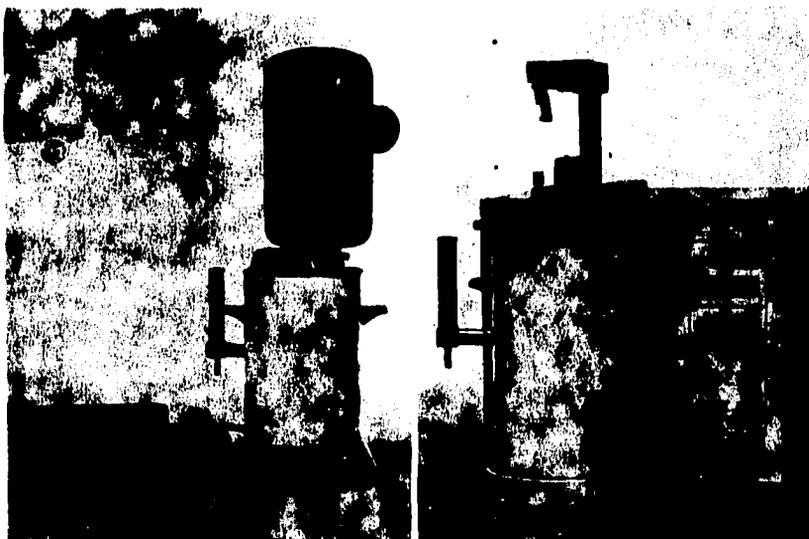
El valor del Falling Number tiene la mejor correlación con la actividad alfa amilásica que presenta originalmente el grano de trigo, en comparación con otros métodos.

En la Figura 15 se muestran dos modelos del equipo del Falling Number.

Se colocan en el tubo viscosímetro (recipiente especial del equipo) 7 gramos de harina con 25 ml de agua destilada, se agita vigorosamente hasta obtener una suspensión uniforme. Posteriormente se coloca el tubo viscosímetro junto con el viscosímetro agitador en el baño de agua hirviendo y el motor comienza la agitación al cabo de cinco segundos. Al cabo de 60 segundos se libera automáticamente el viscosímetro agitador y se hunde libremente en la suspensión calentada de harina agua^(58, 59).

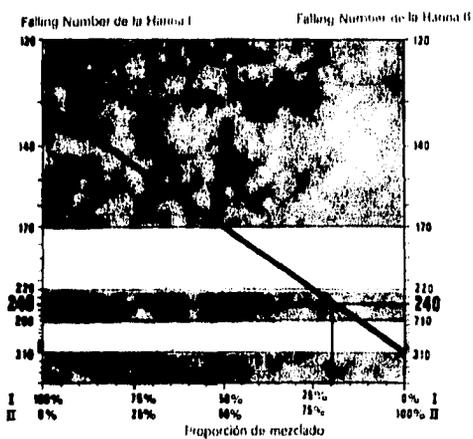
Cuando el viscosímetro ha recorrido en su caída la distancia establecida, el conteo de Falling Number se detendrá simultáneamente con un sonido en el marcador, éste valor en segundos será o no calculado, mediante una fórmula según la altura sobre el nivel del mar para la obtención de la actividad alfa amilásica. En la Figura 16 se presenta una grafica típica para mejorar harinas a un valor óptimo de Falling Number (240). El rango aceptable de valor de Fallin Number para la industria mecanizada de la panificación es de 220 a 260, un valor por debajo de 220 es crítico, ya que no se puede corregir facilmente, mientras que un valor por arriba de 260 se corrige con la adición de alfa-amilasas fungales, no detectables por este método^(58, 59).

FIGURA 15
FALLING NUMBER



FUENTE: (58) FALLING NUMBER, SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD AMILASICA; SWEDEN.

FIGURA 16
VALORES DE FALLING NUMBER

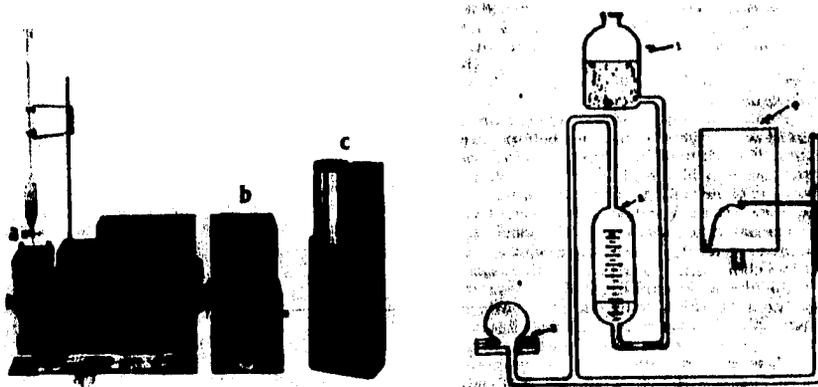


FUENTE: (58) FALLING NUMBER; SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD AMILASICA; SWEDEN.

4) Alveógrafo, Chopin (Grupo II).

El alveógrafo es un aparato que utiliza el principio de extensión biaxial de una muestra (masa) que, bajo la acción de una presión producida por un flujo de aire constante, se transforma en un alveolo o burbuja de pared muy delgada y según su resistencia y flexibilidad, de mayor o menor volumen. Reproduciendo la deformación de la masa bajo la influencia de un impulso (gaseoso). Las principales partes que componen al alveógrafo son tres: a) amasadora, b) alveógrafo y c) manómetro registrador (Ver Figura 17) ^(39, 68).

FIGURA 17
ALVEOGRAFO



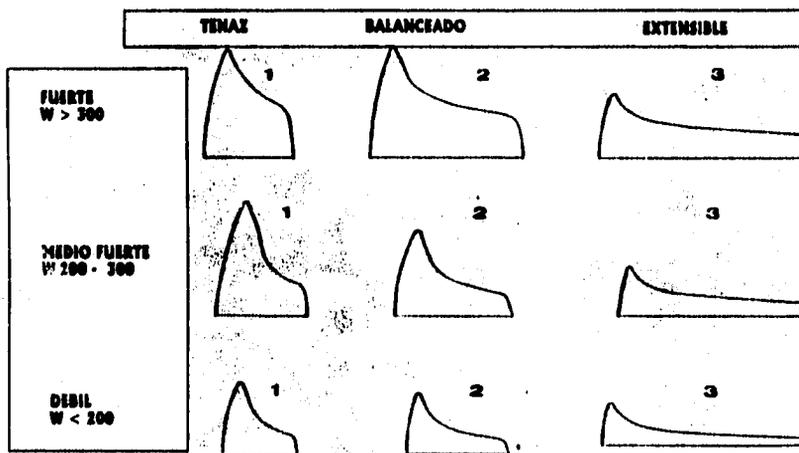
FUENTE: (44) SHUEY W.C.; PRACTICAL INSTRUMENTS FOR RHEOLOGICAL MEASUREMENTS
ON WHEAT PRODUCTS; CEREAL CHEMISTRY; VOL. 52; No. 3; PART II; MAY-JUN 1975; pp. 68r

El principio establece la preparación de una masa de peso constante, mezclando 250 g de harina de trigo sobre la base de 14% de humedad, con una solución salina al 2.5%. Se forman plastones modelados de masa en forma de discos con un espesor definido constante, y después de un tiempo de reposo (20 minutos aprox.) se comprimen a un espesor dado (1.67 mm) y se someten a la acción de un flujo constante de aire para ser deformados en sentido biaxial por hinchamiento (por desplazamiento de aire) en forma de alveolos y registrando las variaciones de resistencia o tenacidad y estensibilidad o elasticidad en el interior del alveolo en función del tiempo y la velocidad del aire. La ruptura del alveolo se produce por regla general en la zona superior, si es en la parte posterior, fuera

del campo visual, el operador percibe el cese del hinchamiento por la caída de presión sobre el gráfico.

Los resultados son medidos o calculados a partir de cinco curvas obtenidas, aunque puede no tomarse en cuenta dos de estas si se apartan notablemente de las otras tres (ver Figura 18) ^(64, 66, 67)

FIGURA 18
CURVAS DEL ALVEOGRAFO



Las características principales de la curva obtenida del alveografo son los valores P, G, L, y P/L.

P, es la sobrepresión máxima o resistencia de la masa a la deformación, también conocida como tenacidad (T). Esta se obtiene de la media de las ordenadas máximas medidas en milímetros y multiplicadas por 1.1.

L, abscisa media de ruptura, también conocida como extensibilidad se mide en milímetros sobre la línea de cero, a partir del origen de las curvas hasta el punto que corresponde verticalmente a la caída brusca de presión como consecuencia de la ruptura del alveolo. La media de las abscisas correspondientes a las rupturas de las curvas es representada por la longitud L, Extensibilidad.

G, índice de Hinchamiento, es la media de los índices de hinchamiento de las cinco curvas medidas sobre el ábaco planimétrico, correspondientes a las abscisa de ruptura. Este valor equivale a la raíz cuadrada por 2.22 del volumen de aire,

expresado en mililitros, necesario para desarrollar la burbuja hasta la ruptura.

P/L, a esta relación se le conoce como la relación de configuración o equilibrio de la curva.

W, fuerza general (trabajo de deformación), a partir de los promedios de las ordenadas desde el punto de origen hasta la abscisa media de ruptura, se obtiene un diagrama (Alveograma medio), que viene a remplazar a las curvas reales en el curso de los cálculos. La superficie de este diagrama obtenida en cm^2 se mide con la ayuda del ábaco planimétrico o de un planímetro. La fuerza general de la masa, referida a un gramo de masa, representado por W y evaluado a Joules 10^{-4} se calcula del siguiente modo:

$$W = 1.32 * V/L * S$$

donde V= volumen de aire en mililitros = G^2 , S= superficie de la curva en cm^2 ,
L= abscisa media de ruptura en milímetros ^(44,64,65,66,67,68,71).

Las características de la masa estarán dadas de acuerdo a la superficie y forma de los diagramas obtenidos, como se aprecia en la misma Figura 18. Existen tres formas básicas de curvas alveográficas; de tipo Tenaz ($P>L$), Balanceado ($P=L$) y Extensible ($P<L$), cada una de estas puede clasificarse a su vez como: Fuerte (strong $W>300$), Medio Fuerte (medium strong $W= 200 - 300$) y Débil (Weak $W<200$).

En México se clasifica a las harinas (por su gluten) en función del índice de fuerza general (W) y de la relación T/L del alveograma, siendo una clasificación más amplia la primera. En la Tabla 9 se muestra esta clasificación ⁽⁷⁰⁾.

Los datos obtenidos a partir del alveógrafo muestran una alta correlación con el contenido de proteína de el harina o del trigo, especialmente con ciertos tipos o clases de trigo. Por lo general a altos contenidos de proteína se obtienen curvas mas grandes (W mayores). Sin embargo, no siempre se revela de manera exacta la información acerca de las propiedades de manejo de la masa y el estado de oxidación o requerimientos de oxidación. También se relaciona la extensibilidad de la masa con el volumen del pan y la relación balanceada entre la resistencia a la deformación (P) y extensibilidad (L) de el harina, produciendo un máximo de volumen al tener una relación bien balanceada entre estos dos parámetros.

TABLA 9
CLASE DE GLUTEN EN FUNCION DEL INDICE DE FUERZA GENERAL (W) Y DE LA RELACION
T/L DEL ALVEOGRAMA.

W FUERZA JOULES ⁴	> 400 MUY FUERTE	300 - 400 FUERTE	200 - 300 MEDIO FUERTE	100 - 200 DEBIL	< 100 MUY DEBIL
T/L	TIPO DE GLUTEN				
Mayor que 2,5	MF - T	F - T	½F - T	D - T	MD - T
2.40 - 1.30	MF - TB	F - TB	½F - TB	D - TB	MD - TB
1.20 - 1.00	MF - BT	F - BT	½F - BT	D - BT	MD - BT
0.99 - 0.89	MF - BB	F - BB	½F - BB	D - BB	MD - BB
0.88 - 0.70	MF - BE	F - BE	½F - BE	D - BE	MD - BE
0.69 - 0.50	MF - EB	F - EB	½F - EB	D - EB	MD - EB
Menor que 0.49	MF - E	MF - E	½F - E	D - E	MD - E
MF=Muy Fuerte F= Fuerte	½F= Medio Fuerte D= Débil	MD= Muy Débil B= Balanceado	E= Extensible T= Tenaz		

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS.

Tanto el alveógrafo como el extensógrafo (el cual será descrito a continuación) proporcionan la misma información acerca de las propiedades de extensión y elasticidad de la masa, dando una idea del tipo de harina, con lo cual se puede definir el uso más apropiado en los diferentes procesos en que se ve involucrada el harina de trigo. ^(9,30,44,64,65,66,67,68)

5) Extensógrafo, Brabender (Grupo II).

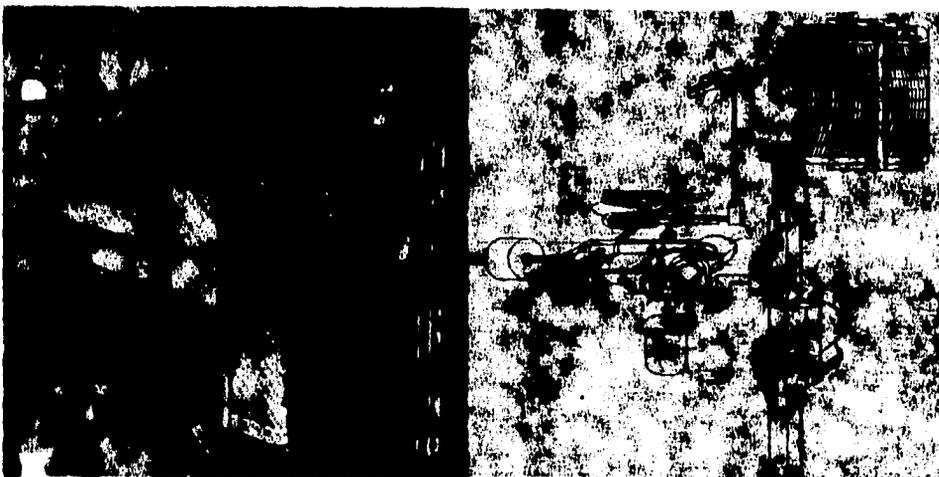
El extensógrafo nos ayuda a determinar las características de estiramiento de una masa de trigo, dichas características son: la resistencia de la masa a la deformación, extensibilidad y la energía necesaria para la ruptura de la masa.

Para hacer un ensayo extensográfico es necesario contar con el Farinógrafo, ya que tanto la amasadora como el termostato se emplean en el ensayo del extensógrafo.

FUNCIONAMIENTO: La muestra de harina a ser evaluada es mezclada con una solución salina en la amasadora del farinógrafo hasta llegar a una consistencia de 500 UB, posteriormente se pesan dos muestras iguales (150g) y se llevan a la unidad formadora de masa, en la cual se forman dos cilindros, los cilindros se colocan en una de las agarraderas y permanecen por 45 minutos en reposo a 29°C ^(62,63).

Después de este periodo de relajación se colocan las agarraderas con los cilindros de masa (1), ver Figura 19, en los platillos (3), y en el mecanismo de fijación (2) del aparato, el motor (4) del brazo de estiramiento (5) se enciende, este se mueve hacia abajo hasta alcanzar el centro de la masa estirándola a velocidad constante, al mismo tiempo las fuerzas de oposición a la acción de estiramiento se transmiten a través del sistema de palancas (6) al sistema de balance. Este último está directamente conectado a un brazo graficador (7) que transmite la acción de la fuerza, al papel graficador (8) que se mueve a una velocidad de 39 cm/min, a la curva obtenida al finalizar la prueba se le llama extensograma.

FIGURA 19
Extensógrafo.



FUENTE: (62) THE BRABENDER EXTENSOGRAPH; INDUSTRIESMESS UND KONTROLLVERFAHREN; WEST GERMANY.

INTERPRETACION DE LAS CURVAS: Las lecturas hechas en el extensograma son:
Resistencia a la elongación, está indicada por la altura máxima de la curva en Unidades Brabender (UB), o por la altura 5 centímetros después de haber iniciado el ensayo, también se le llama tenacidad (B). Ver Figura 20.

Extensibilidad, representa la longitud de la curva en centímetros desde el inicio hasta la caída de la masa, que indica su ruptura (C).

Energía, es la superficie dentro de la línea de la curva en cm^2 que indica el total de la energía requerida para el estiramiento de la masa, es determinada por medio de un planímetro.

Relación resistencia-extensibilidad (D), es el cociente calculado entre estos dos parámetros, que indica el factor de comportamiento de la masa de estabilidad, fuerza y el potencial de volumen de panificación.

Como puede apreciarse en la Figura 20 el tipo de curva, proporciona información del tipo de pan y el volumen que se obtendrá, por ejemplo: harinas con bajo valor D son muy extensibles obteniendo panes de bajo volumen y visceversa^(9,30,44,62,63).

FIGURA 20
Curva del Extensógrafo.

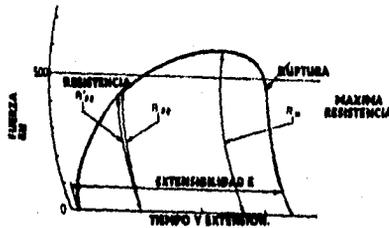


Fig. 11 Extensómetro manual...



FUENTE: (62) INSTRUCTION MANUAL; EXTENSOGRAFO BRABENDER; INDUSTRIE MESS - UND KONTROLLVERFAHREN; WEST GERMANY

El objetivo de las pruebas físicas es de alguna manera eliminar las pruebas de panificación, por lo que se ha propuesto un "sistema de tres fases" donde se involucran diferentes pruebas que simulan las diferentes etapas en los procesos de panificación y/o pastificación. En la Figura 21 se resume la aplicación de cada uno de los equipos antes descritos en el sistema de tres fases^(9,30).

FIGURA 21

"SISTEMA DE TRES FASES"

	FASE 1	FASE 2		FASE 3	
FUNCION	MEZCLADO	TRANSFORMACION ESTRUCTURAL DE LA MASA POR FERMENTACION Y MADURACION		GELATINIZACION DEL ALMIDON	
EQUIPO	FARINOGRAFO	EXTENSOGRAFO	ALVEOGRAFO	AMILOGRAFO	F. NUMBER
DIAGRAMA					240
DATOS OBTENIDOS	ABSORCION DE AGUA. T. MEZCLADO TOLERANCIA FUERZA GRAL.	RELACION ESFUERZO DEFORMACION GRADO DE MADURACION FUERZA GENERAL		CARACTERISTICAS DE GELATINIZACION POR CALENTAMIENTO.	
POSIBILIDADES CORRECCION	CAMBIOS DE LAS MEZCLAS DE TRIGOS.	MADURACION POR ALMACENAMIENTO OXIDANTES QUIMICOS, TEMPERATURAS ALTAS.		ACTIVIDAD ENZIMATICA	

FUENTE: (30) RASPER, F.V. RHEOLOGY & TEXTURE IN FOOD QUALITY; ED. AVI; SECOND PRINTING; pp 311; COMPLEMENTADA

IV.4) FACTORES FISICOS Y QUIMICOS QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO.

Existen factores físicos y químicos que pueden influir sobre el comportamiento reológico de la masa.

LOS FACTORES FISICOS:

Trabajo mecánico / tiempo: el proceso de mezclado es el ejemplo más obvio del efecto del trabajo mecánico sobre las propiedades reológicas de la masa, un sobremezclado traerá consigo el debilitamiento de la estructura de la masa, debido al rompimiento de los enlaces formados en las primeras etapas del mezclado y durante las cuales alcanzó una consistencia adecuada. Es claro que el tiempo juega un papel muy importante en este sobremezclado ^(9,22,45,47).

Temperatura: la temperatura afecta a la masa como lo hace con todos los materiales. La viscosidad de la masa cambia con la variación de la temperatura. Si la temperatura se incrementa a cerca de 50°C, la viscosidad de la masa se

incrementa marcadamente debido a la gelatinización del almidón y por una menor distancia entre las moléculas polarizadas de glutenina ^(9.22.34).

LOS FACTORES QUIMICOS:

Agua: un incremento en el contenido de agua hace que la masa pierda rigidez y eventualmente se obtenga una suspensión de harina o un batido. Una masa con poca cantidad de agua carece de cohesión. En general la rigidez de la masa cambia entre 5 y 15% si se modifica el contenido de agua con el 1% de harina. Existen evidencias de que si el contenido de agua se eleva, se presenta un incremento en la extensibilidad de la masa, acompañado con una disminución en la resistencia, afectándose también la viscosidad.

La mayoría de los constituyentes del harina absorben agua en mayor o menor proporción, los que afectan mayoritariamente los cambios de absorción son: almidón nativo, proteínas, el almidón dañado y las pentosanas ^(45, 46, 47).

Levaduras: la levadura se adiciona a la masa para producir el CO₂ necesario para obtener una textura ligera en la miga, al mismo tiempo la levadura fermenta los azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa. La extensibilidad de las masas a las cuales no se les adiciona ni levadura, ni mejoradores químicos, aumenta con el tiempo y la resistencia a deformarse disminuye, en contraste con masas en las cuales existe fermentación donde la extensibilidad es menor en el mismo periodo de tiempo ^(9.34).

Electrolitos y pH: la sal es uno de los ingredientes comunes en la panificación. Un pequeño porcentaje de Cloruro de Sodio en la masa proporciona rigidez y la hace menos pegajosa. En estudios con extensogramas se muestran incrementos, no solo en la resistencia, sino también en la extensibilidad con el uso de Cloruro de Sodio en contraste con los agentes oxidantes que incrementan la resistencia pero disminuyen la extensibilidad.

Entre pH de 4.2 y 7.3 la resistencia de la masa disminuye con incrementos de este, esto se explica mediante la hipótesis de que los iones R-S precipitan antes que los grupos tiol R-SH a pH alto donde los iones son más abundantes ^(9.43.64).

Mejoradores: el efecto de los mejoradores del harina se inicia con la necesidad de eliminar los pigmentos (carotenos) existentes blanqueando el harina. Como se vió en el capítulo III.2.10 (pág. 39), algunos mejoradores tienen efectos de maduración que modifican la tenacidad y extensibilidad de las harinas ^(9.34.44).

IV.5) PROPIEDADES REOLOGICAS DE DIFERENTES TIPOS DE HARINAS.

De las harinas que se conocen actualmente, se derivan una gran diversidad de comportamientos reológicos, ya que de cada variedad de trigo existente, se tienen ciertas características para el harina que se obtiene, por otro lado, cada día se desarrollan nuevas variedades, así como la gran cantidad de mezclas que se pueden hacer entre harinas para mejorar las propiedades de las mismas. Es por ello que se ha tenido que especificar cada uno de los parámetros de calidad de las harinas de acuerdo al uso potencial.

Los parámetros reológicos por ser más específicos para cada uso, proceso y condiciones de operación, en la mayoría de los casos se tienen predeterminados, siendo rangos relativamente amplios.

En la Tabla 10 se dan algunos ejemplos de las necesidades de los diferentes parámetros de calidad de acuerdo al uso^(9,22).

Para los datos presentados en la Tabla 10, es recomendable se tomen solo como una referencia, estableciendo las especificaciones de acuerdo a las necesidades del uso final para el cual se requiera.

En México los parámetros de calidad de la "HARINA DE TRIGO" están regidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-F-7-1982 (anexa en el apéndice), la cual clasifica a las harinas en tres grandes grupos⁽⁷²⁾:

Grado I: Harina de trigo para panificación.

Grado II: Harina de trigo para galletas.

Grado III: Harina de trigo para pastas para sopa.

Los parámetros de calidad químicos que debe cubrir la harina de trigo son los que se muestran en la tabla 11.

**TABLA 10
PARAMETROS DE CALIDAD PARA LA EVALUACION DE HARINAS**

CRITERIO DE CALIDAD	MASIMA TIPO CASERO	PASTELES	BISQUETS	GALLETAS	MASAS PARA GALLETAS	PASTAS
TIPO DE GLUTEN ^a	F-BT	F-T	HF-BB	D-E	HF-E	MF-T
%ABSORCION Farinografica ^b	Meda baja 52-58	Meda baja 52-58	Baja 50-54	Baja 48-52	Baja 48-52	Alta 54-65
% CENIZAS	0.48-0.48	0.42-0.48	0.42-0.48	0.42-0.48	0.42-0.48	0.45-0.50
MEJORADORES	Azodicarbonamida, peróxido de acetona, ácido ascórbico, peróxido de benzoylo, cloro,			No	No	No
COLOR	Bianco-crema	Crema	Bianco	Crema	Crema	Amarillo cristalino
AMILOGRAFO ^c	450-600	No signif.	No signif.	700-800	No signif.	No signif.
F. NUMBER ^d	200-300	250 mínimo	250 mínimo	250 mínimo	250 mínimo	250 mínimo
TAMAÑO PARTICULA ^e	0-125	0-125	0-90	0-125	0-125	0-250
% PROTEINA	9.5-11.0	9.5-10.0	9.0-10.0	9.0-10.0	8.0-9.0	10.0-13.0
DESARROLLO (min)	3-5	2-3	2-3	1-3	1-3	3-5
ESTABILIDAD (min)	3-6	2-5	1-3	1-3	1-2	5-9
R. EXTENSION ^f	Meda baja	Meda baja	Baja	Baja	Baja	Alta
ALMIDON DAÑADO	lo mas bajo	Moderado	lo mas bajo posible			

^a De acuerdo a la TABLA 11.

^b KJ/kg, diámetro equivalente Stokes, (µm)

^c Actividad enzimática y viscosidad

^d Estenógrafo.

FUENTE: (9) POMERANZ, Y.: WHEAT CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. ED. AACC, THIRD EDITION; VOL 11; pp B4; MODIFICADA.

**TABLA 11
PARAMETROS DE CALIDAD, NORMA OFICIAL MEXICANA**

ESPECIFICACIONES	GRADO I	GRADO II	GRADO III
1 HUMEDAD, MAXIMO	14.0	14.0	14.0
2 PROTEINA, MINIMO	9.5	9.0	9.0
3 CENIZAS	0.55 MAXIMO	0.4-1.0	0.6 MAXIMO
4 FIBRA CRUDA	0.2-0.4	0.2-0.6	0.3 MAXIMO
5 GLUTEN HUMEDO, MINIMO	31.3	29.7	29.7

FUENTE: (72) NOM-F-7-1982

V.- OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar experimentalmente la calidad de las harinas, de tres variedades de trigo proveniente de las cosechas de 1995 del norte del país.

Realizar un estudio comparativo de las características químicas y reológicas de harinas de tres variedades comerciales de trigo y con los resultados obtenidos sugerir aplicaciones o modificaciones.

OBJETIVOS PARTICULARES.

Establecer un marco de referencia que permita entender la importancia de la caracterización del trigo y sus harinas.

Aplicar las técnicas existentes para la evaluación de la calidad del trigo y sus harinas, comprender su fundamento y metodología, y entender la información que proporcionan.

Ofrecer una serie de pruebas de análisis como guía para la caracterización de los parámetros de calidad del trigo y sus harinas.

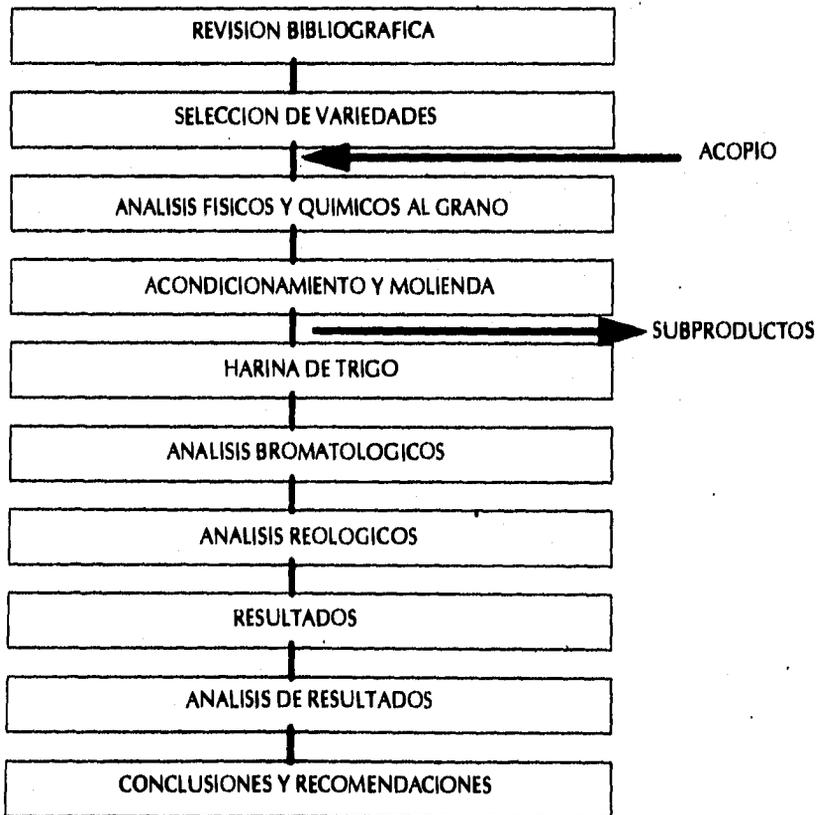
Definir el uso que se debe dar a las harinas apoyándose en los resultados obtenidos en la caracterización química y reológica.

VI.- METODOLOGIA.

VI.1 DIAGRAMA METODOLOGICO.

En la Figura 22 se presenta el diagrama metodológico que se empleo para este estudio.

FIGURA 22
DIAGRAMA METODOLOGICO



1.- La revisión Bibliografica se realizó con la finalidad de conocer los aspectos más importantes de la producción, mejoramiento, calidad y evaluación de

la calidad del trigo, esta revisión esta contemplada en los Capítulos I al V y la información servira de base para el análisis y discusión de resultados.

2.- La selección de las muestras evaluadas se realizó en base a la clasificación que se utiliza en México, tres de los cuatro Grupos de trigo que se siembran y existen en el país. La principal razón por la cual se seleccionaron estos grupos es debido a que son los tipos de trigo que más se utilizan en la Industria Molinera en México y para conocer la diferencia que existe entre cada uno de los grupos. Como ya se mencionó en el primer capítulo, dentro de cada uno de los grupos se encuentran diferentes variedades de trigo, pero, dichos grupos y variedades corresponden a la especie Triticum aestivum.

Las variedades de trigo seleccionadas, fueron proporcionadas por El molino de trigo Harinera La Espiga S.A. de C.V.. El muestreo se realizo con el sistema automático con el que cuenta dicho molino y que consiste de tomar una muestra de 500g cada 10 minutos durante la descarga de los furgones de ferrocarril, medio que es utilizado para el transporte del grano. Se almacenó la muestra suficiente para realizar todos y cada uno de los análisis por triplicado durante la fase experimental.

3.- Cabe mencionar que todos los métodos empleados para cada uno de los análisis realizados durante toda la fase experimental, son los aprobados por la AACC (American Association of Cereal Chemistry), que es un organismo Internacional reconocido en el área.

Los equipos y utensilios utilizados fueron facilitados por Harinera La Espiga. S. A. de C. V..

Para cada una de las variedades seleccionadas se les realizó al grano entero los siguientes análisis:

ANALISIS FISICOS:

% Impurezas.

Peso hectolitrico.

ANALISIS QUIMICOS:

% Humedad.

% Proteínas.

% Cenizas.

4.- Se procedió a realizar el acondicionamiento del grano para su molienda en base al porcentaje de humedad de cada una de las variedades.

La molienda se realizó en el Molino CD1 marca Chopin de laboratorio, con las siguientes características:

La trituración se realizó en 2 pasos entre tres cilindros de estrias inclinadas y en posición de corte sobre corte, de velocidades diferenciales. Tamizado de la mezcla industrial mediante cernido centrífugo de bastidor fijo de doble tamiz.

La compresión se llevó a cabo en 1 paso entre dos cilindros lisos de velocidades diferenciales y presión controlada. Tamizado mediante cernido centrífugo de bastidor fijo de tamiz único.

Velocidad promedio de molienda: 4Kg en 45 min.

Rendimiento total: superior a 99%.

Porcentaje de cenizas de las harinas obtenidas:
entre 0.45 y 0.60% MS.

Granulación de las harinas: 100% inferior a 170 micras.

Reproducibilidad de las moliendas: $\pm 0.5\%$ sobre el trigo preparado en las mismas condiciones.

Molino equipado: Molienda de 4Kg.

Limpiador calibrador.

Mezcladores MR2L y MR10 (acondicionamiento del trigo antes de la molienda y mezcla de harinas de trituración y compresión).

Cepilladora de salvado.

Los subproductos obtenidos (salvado y germen) fueron desechados, ya que el análisis de estos no se contempló en el presente estudio.

5.- El harina de trigo que se obtuvo de cada una de las variedades fue almacenada en frascos de vidrio cerrados y almacenados en un lugar fresco y seco para evitar cambios en las muestras

6.- Al harina se le realizaron inicialmente los siguientes análisis:

ANALISIS BROMATOLOGICOS:

METODO	ANALISIS
AACC 44-19	% HUMEDAD.
AACC 46-12	% PROTEINAS.
AACC 08-01	% CENIZAS.
AACC 38-12	% GLUTEN HUMEDO.
	% CALIDAD DE GLUTEN.

7.- El segundo bloque de análisis realizados al harina, fueron los referentes a la caracterización reológica, y fueron los siguientes:

ANALISIS REOLOGICOS:

METODO	EQUIPO
AACC 54-21	FARINOGRAFO.
AACC 56-81B	FALLING NUMBER.
AACC 54-30	ALVEOGRAFO.
AACC 54-10	EXTENSOGRAFO.

8.- Los resultados obtenidos se reportan como el promedio de las tres repeticiones realizadas de cada uno de los análisis. Para facilitar el reporte y análisis de resultados se codificará a cada uno de los grupos de trigo evaluados de la siguiente manera:

Grupo 1	->	G1
Grupo 2	->	G2
Grupo 3	->	G3

Para determinar si existe diferencia entre cada uno de los grupos seleccionados se realizó un Análisis de Variancia a un nivel del 95% de confianza, se reportan los valores de F obtenidos para cada uno de parámetros de calidad evaluados. Para cada valor de F calculado que exceda el valor de F teórico de 9.28 al 0.05% de significancia, se concluye que existe una diferencia significativa entre los tres diferentes tipos de trigo evaluados^(70,71).

9.- El Análisis de Resultados se realizó tomando en cuenta la revisión bibliográfica, la cual contempla una explicación química y la comparación con la

- Norma Oficial Mexicana (NOM-F-7-1982), así como una discusión de los parámetros de calidad obtenidos experimentalmente con los usos recomendados de acuerdo a la Tabla 10 del Capítulo IV.

10.- Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones en base a lo adquirido durante el desarrollo del presente trabajo.

VII.- RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

VII.1 GRANO ENTERO.

En la Tabla 12 se resumen los resultados obtenidos de los análisis realizados al grano de trigo entero, en la misma también se incluyen los valores de F calculados para el análisis de variancia entre los grupos.

TABLA 12
RESULTADOS FISICOQUIMICOS; GRANO ENTERO.

METODO AACC	ANALISIS	VARIEDAD DE TRIGO			VALOR F
		G1	G2	G3	
28-10	% IMPUREZAS	2.0	3.5	2.5	6.56
55-10	PESO HECTOLITRICO	80.5	81.9	82.6	25.09
44-10	% HUMEDAD	7.5	10.0	9.8	49.61
46-12	% PROTEINAS	11.6	11.4	11.1	1.90
08-01	% CENIZAS	1.53	1.59	1.54	0.25
56-81B	FALLING NUMBER	366	372	346	1.70

En el parámetro de las Impurezas se encontraron diferencias no significativas entre los grupos de trigo con valores de G1 = 2.0%, G2 = 3.5% y G3 = 2.5%, y esto no afecta la calidad final de el harina debido a que se elimina casi la totalidad de estas impurezas durante las operaciones de limpieza y clasificación previas a la molienda; este rubro representa pérdidas económicas para el molinero por lo que debe cuantificarse. Los límites permisibles de impurezas, en donde se contempla al grano dañado, enfermo, tierra, paja, etc. es frecuentemente pactado entre el comprador (molinero) y el vendedor (productor), ya que depende en gran parte de las prácticas de cosecha y manejo con las que cuenta el productor, cuando excede de los límites pactados es común un castigo económico.

Se encontró diferencia significativa en el % de humedad, G1 = 7.5%, G2 = 10% y G3 = 9.8%. Esto nos da indicio de las condiciones de cosecha y manejo del trigo y la cantidad de agua por adicionar en el acondicionamiento del grano para ser

molido (ya que dependiendo del grupo de trigo es como se da el acondicionamiento). De acuerdo con lo estudiado anteriormente los niveles de humedad se encuentran dentro del rango óptimo para la recepción de trigo (6.0 - 14%). Con valores por debajo de éste rango, se corre el riesgo de tener granos muy quebradizos y/o demasiado duros lo cual afectará el rendimiento de molienda, valores por encima representan pérdidas para el molinero ya que está comprando más agua que material seco, además de que se favorecen las reacciones de oxidación, enzimáticas, y proporciona un medio más apropiado para el crecimiento microbiano.

En cuanto al % de proteína no se encontró una diferencia significativa entre los diferentes grupos (G1 = 11.6%, G2 = 11.4% y G3 = 11.1%). Como se ha mencionado la cantidad de proteína en el trigo no determina su calidad en cierta medida ni su comportamiento reológico. Esto podrá ser analizado con más detalle más adelante.

El % de cenizas es prácticamente igual para las tres muestras, 1.53%, 1.59% y 1.54% respectivamente, no encontrándose una diferencia significativa entre las muestras. Esto se debe principalmente a que la composición del trigo para estos grupos es muy similar, estando dentro de el rango esperado (1.0% - 2.0%), y por supuesto esto no nos indica alguna variación de la calidad.

Falling Number: Este parámetro, que indica el grado de actividad enzimática que tiene un trigo, se midió para cada uno de los grupos obteniéndose que G1 = 366 seg, G2 = 372 seg y G3 = 346 seg, y de acuerdo con el valor F no existe una diferencia significativa entre los grupo. Sin embargo para los valores obtenidos es necesario que se adicionen enzimas (de acuerdo a lo discutido en el Capítulo 4), para obtener valores aproximados de 240 seg, la cantidad y tipo de enzima estará en función de lo que el molinero tiene especificado utilizar para mejorar sus harinas. Es claro que lo más deseable es que en el grano de trigo se obtengan valores de 240 seg, para evitar la adición de enzimas, con el consiguiente ahorro de insumos, sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario adicionarlas. Valores por debajo de 170 seg, son indicativo de malas prácticas de cosecha y el trigo ya no está en condiciones adecuadas para ser molido, ya que no existe un método para corregir y/o ajustar la actividad enzimática (Falling Number = 240 seg.) en estas harinas. Al elaborar productos de panificación con harinas que tienen un Falling Number por debajo de 170 seg, la calidad obtenida es mala,

reflejándose en el volumen del pan y textura de la miga (pegajosa). A los trigos con valores bajos de Falling Number se les destina al consumo animal.

La Tabla 13, muestra el resultado de los análisis fisicoquímicos realizados al harina de trigo obtenida después de la molienda.

TABLA 13
RESULTADOS FISICOQUIMICOS; HARINA

METODO AACC	ANALISIS	VARIEDAD DE TRIGO			VALOR F
		G1	G2	G3	
44-19	% HUMEDAD	16.3	16.7	15.2	4.40
46-12	% PROTEINAS	10.6	10.4	10.1	8.9
08-01	% CENTZAS	0.57	0.59	0.47	4.96
38-12	% GLUTEN HUMEDO	30.5	22.0	17.6	34.65
	% CALIDAD DE GLUTEN	97.7	94.0	88.0	58.13

En cuanto a la humedad se mantiene muy similar en los tres casos (16.3%, 16.7% y 15.2% respectivamente), no encontrándose una diferencia significativa, esto es lógico, ya que antes de la molienda se adicionó agua para el acondicionamiento del grano, ajustando para todos los casos el contenido de humedad a un 18% antes de ser molido. La disminución en el contenido de agua se debe al calor generado por la fricción durante la molienda y a la suavidad o dureza de los granos que permiten una mayor o menor pérdida de agua durante la molienda. Comparando los valores con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM), de un 14% como máximo, es claro que no se cumpliría con esta norma y esto se debe a que la molienda realizada en el molino de laboratorio requiere de una mayor cantidad de agua para el acondicionamiento para suavizar el grano y que este sea más fácil de moler.

No se observó una diferencia significativa para el % de proteínas y se mantiene el mismo comportamiento, tanto para el grano como para el harina (G1=10.6%, G2=10.4% y G3=10.1%). Es lógico observar una diferencia en cantidad entre el grano y el harina para este parámetro, ya que durante la molienda se elimina el germen y salvado, los cuales contienen proteínas que son separadas durante la molienda. Durante la molienda industrial la pérdida de proteína es muy

similar a la molienda experimental, sin embargo, en la primera se cuentan con sistemas modernos de molienda en donde se logra una separación casi completa del salvado y endospermo lo que evita el arrastre de la proteína contenida en las capas exteriores de endospermo. La NOM establece un contenido de proteína del 9%, por lo que cualquiera de los trigos evaluados cumple con este requerimiento, sin embargo, uno de los aspectos a revisar en la NOM, y que algunas organizaciones han sugerido a la Dirección General de Normas, es que se tomen también en consideración parámetros más importantes para la evaluación de la calidad del trigo y de sus harinas, ya que una simple adición de proteínas permite a productores desleales cumplir con lo establecido, sin ofrecer un producto de calidad.

Las cenizas, como se puede observar son mayores para el grano que para el harina (G1=0.57%, G2=0.59%, G3=0.47%) como era de esperarse, ya que con la separación del salvado se reduce prácticamente en más del 50% el contenido de minerales, los cuales se encuentran en mayor proporción en el salvado y el germen de trigo. Estos valores son muy cercanos a 0.55% que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM) como máximo para harinas extrafinas, también denominadas Grado I. La razón por la cual los valores obtenidos sobrepasan lo que establece la NOM, es que la molienda se realizó con un molino experimental que tiene una baja eficiencia. Otra posibilidad será cuando se tengan trigos con un alto contenido de proteína o trigos de la especie *Triticum durum* (cristalinos).

Gluten Húmedo, éste parámetro de calidad es de suma importancia, ya que establece una relación entre la cantidad de proteínas totales y la calidad de las mismas. En este dato se puede observar la relación que tienen las proteínas con el grupo al que pertenece cada muestra, esto es, para grupos fuertes mayor cantidad de gluten húmedo y viceversa (G1=30.5%, G2=22.0%, G3=17.6%). para este parámetro se encontró una diferencia significativa. La NOM no menciona o establece este parámetro de calidad y sin embargo, es de suma importancia para determinar la calidad de la proteína y su funcionalidad.

Respecto al parámetro de calidad de gluten se encontró, que G1 presenta un 97.7% de calidad, G2 un 93.0% y G3 un 88.0%, con una diferencia significativa entre ellas, indicando que los grupos fuertes en este caso no solo contienen un mayor contenido de proteína (gluten), sino que además, dicha proteína es de mayor calidad.

En la Tabla 14 se resumen los resultados obtenidos de los análisis reológicos practicados al harina.

**TABLA 14
RESULTADOS REOLOGICOS; HARINA**

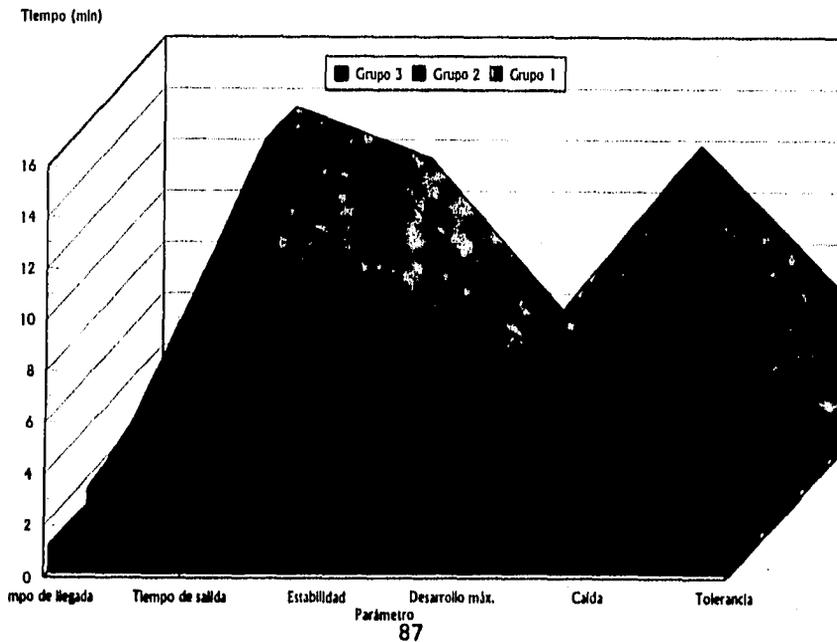
METODO AACC	ANALISIS	.VARIEDAD DE TRIGO			VALOR F
		G1	G2	G3	
FARINOGRAFO.					
54-21	Absorción (%)	57.7	59.0	53.8	2.72
	Tiempo de llegada (minutos)	2.0	1.5	1.0	125.00
	Tiempo de salida (minutos)	13.5	9.5	5.5	30.45
	Estabilidad (minutos)	11.5	8.0	4.5	203.71
	Desarrollo máximo (minutos)	5.5	5.0	3.5	57.83
	Caida (minutos)	12.0	8.5	6.0	129.64
	Tolerancia (minutos)	6.5	3.5	2.5	256.92
	ITM (UB)	50.0	50.0	70.0	48.48
	Consistencia (UB)	120.0	100.0	100.0	13.95
ALVEOGRAFO.					
54-30	Fuerza (W)	251.0	182.0	103.0	184.98
	T / L	0.54	1.18	0.45	297.06
	P / G	2.9	4.8	2.1	192.98
EXTENSOGRAFO.					
54-10	Tenacidad (UB)	370.0	505.0	275.0	102.86
	Extensibilidad (cm)	151.0	102.0	132.0	43.40

Farinograma: claramente se puede observar en la Tabla 14, así como la Grafica 3 que para cada uno de los parámetros (tiempos), que se obtienen del farinograma, existe una relación directa con el grupo de trigo al que pertenecen y que existe una diferencia significativa entre ellos. En la Grafica se puede observar que el Grupo 1 tiene una mayor área que los otros dos y de alguna manera podemos relacionarla con la fuerza (como se verá en el alveograma), que tiene cada trigo.

La fuerza y características de mezclado están relacionados con el contenido de proteínas, % de gluten húmedo y calidad del gluten, siendo los dos últimos los más importantes ya que podemos tener altos contenidos de proteína con bajos porcentajes de gluten húmedo y de mala calidad.

Cada uno de las características que se obtienen del farinograma (Tiempo de llegada, estabilidad, etc.), son importantes para el molinero y para el usuario de el harina, ya que esto determinará el uso más apropiado que deberá darse a cada tipo de harina. Haciendo referencia a la Tabla 10 del Capítulo 4 (pa. 75), podemos destinar el uso "recomendado" que se debe dar a cada trigo de acuerdo a sus características reológicas y fisicoquímicas. Es importante mencionar que las características que se dan en esta tabla son las recomendadas para las harinas de Estados Unidos, así como sus productos, con las condiciones y tecnología con que se cuenta para la producción.

**GRAFICA 3
FARINOGRAMA**



En México no se cuenta con esta información ya que cada molinero ofrece la calidad que pueden producir y cada uno de ellos cuanta con sus clientes específicos para satisfacer las necesidades del mercado. Se hará referencia a la tabla 10 tratando de extrapolar los parámetros más importantes y que son tomados como más importantes en la Industria en México, haciendo también uso de la experiencia que se tiene.

Para el caso del % de absorción de agua (G1=57.7%, G2=59.0%, G3=53.8%), se rompe la relación directa, y es el único dato obtenido de este análisis en el cual no se encuentra una diferencia significativa entre las muestras. En este caso la absorción de agua esta relacionada con el contenido de almidón, que es, después del gluten, el componente que afecta el % de absorción de agua.

De acuerdo a la Tabla 10 el Grupo 1 y 2, por su % absorción y tiempo de desarrollo, se recomienda destinarlos al uso de Harina Tipo Casero, también podríamos decir que por su tiempo de estabilidad alto es recomendable su uso para este tipo de productos. Para tiempos de estabilidad altos el uso se recomienda para la industria mecanizada, en donde se requiere de tiempos de estabilidad altos para que el harina soporte el trabajo mecánico que se da en las máquinas de amasado que son empleadas.

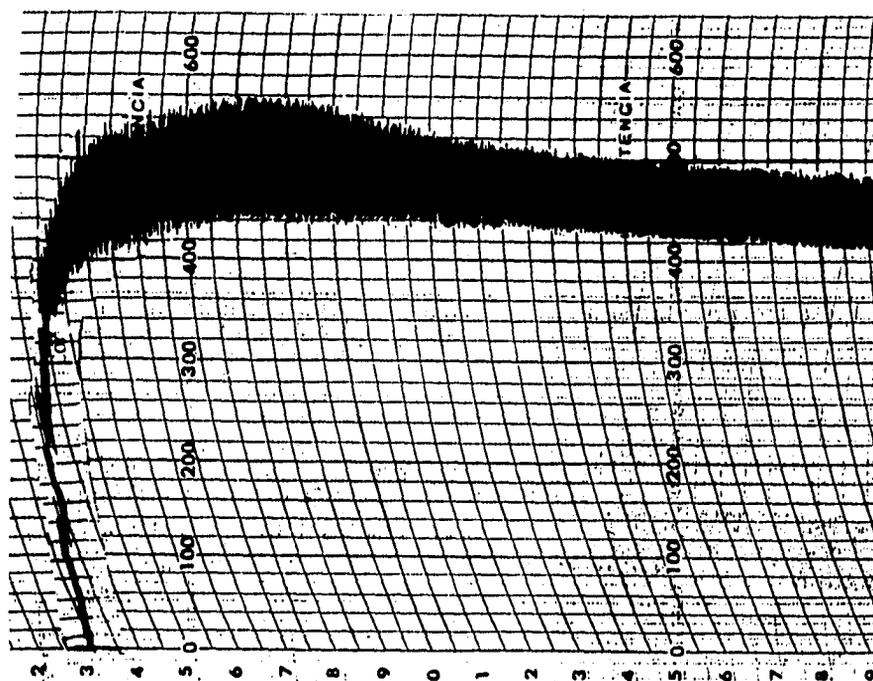
Por el momento solamente se hará el análisis para cada tipo de prueba, ya que para dar un adecuado destino a cada tipo de harina es necesario hacer un análisis general, ya que como veremos más adelante, para otro tipo de análisis (alveográfico por ejemplo), se recomienda otro uso diferente o puede coincidir con los demás.

En la mayoría de los casos, los molineros utilizan los diferentes tipos de trigo para elaborar sus mezclas antes de moler el grano y obtener características preestablecidas, basándose en los análisis reológicos practicados (que en la mayoría de los casos solo cuentan con uno de los equipos que se emplearon en el presente estudio), y a la experiencia de cada uno de ellos.

En las siguientes páginas se incluyen los farinogramas obtenidos para cada grupo, en ellos se muestra la manera de leer y obtener los valores de esta prueba.

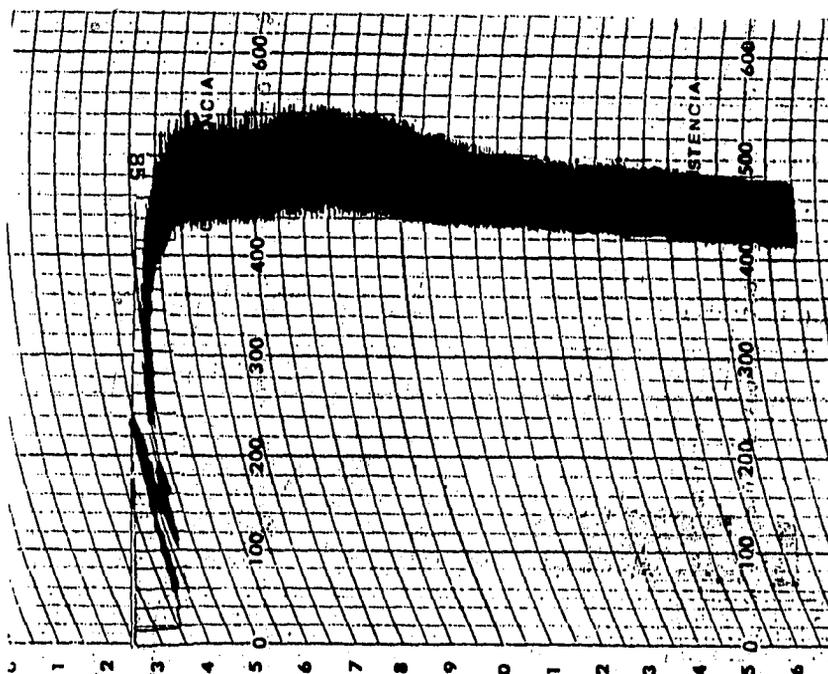
FARINOGRAMA GRUPO 1

Absorción (%)	57.7
Tiempo de llegada (min)	2.0
Tiempo de salida (min)	13.5
Estabilidad (min)	11.5
Desarrollo máximo (min)	5.5
Caída (min)	12.0
Tolerancia (min)	6.5
ITH (UB)	50.0
Consistencia (UB)	120.0



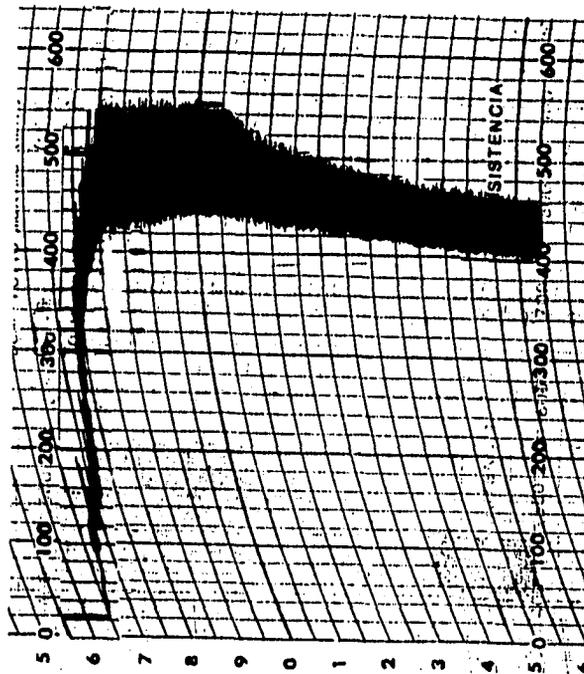
FARINOGRAMA GRUPO 2

Absorción (%)	59.0
Tiempo de llegada (min)	1.5
Tiempo de salida (min)	9.5
Estabilidad (min)	8.0
Desarrollo máximo (min)	5.0
Caída (min)	8.5
Tolerancia (min)	3.5
ITM (UB)	50.0
Consistencia (UB)	100.0



FARINOGRAMA GRUPO 3

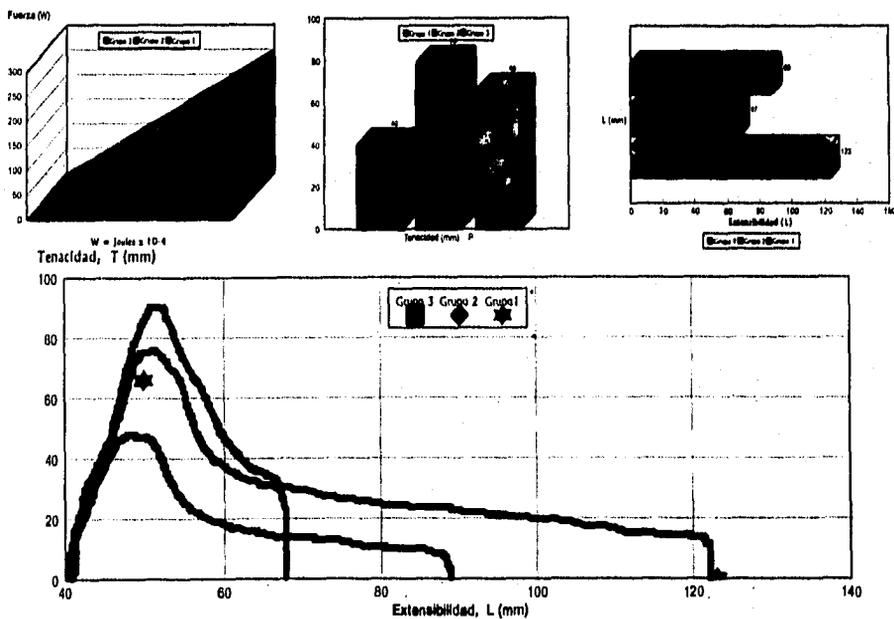
Absorción (%)	53.8
Tiempo de llegada (min)	1.0
Tiempo de salida (min)	5.5
Estabilidad (min)	4.5
Desarrollo máximo (min)	3.5
Caída (min)	6.0
Tolerancia (min)	2.5
ITM (UB)	70.0
Consistencia (UB)	100.0



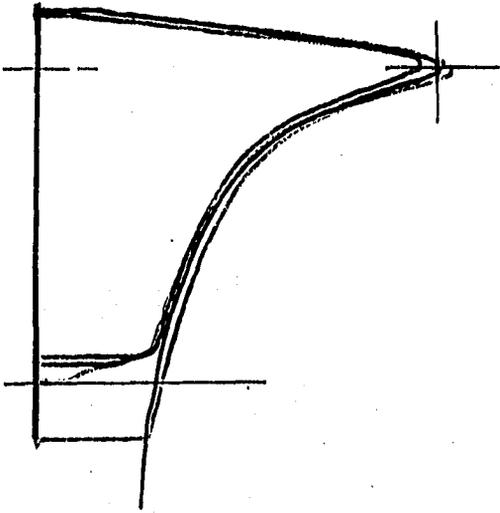
Alveógrafo: como ya se ha mencionado, este equipo es el más utilizado en México y con el cual se han clasificado los trigos. Los valores de fuerza general W y la relación tenacidad extensibilidad (T/L), son los que mayor información aportan para clasificar a las harinas de trigo, considerando los ensayos alveográficos, para el G1 se tiene un $W=251$, el $G2=182$ y este a su vez mayor que $G3=103$ Joules $\times 10^{-4}$. Este valor de W nos indica si un trigo es fuerte, medio fuerte o débil y la relación tenacidad extensibilidad nos indica si tiende a ser tenaz, balanceado o extensible.

Para la fuerza se encontró una diferencia significativa entre los grupos. En la Gráfica 4 se muestran las características de Fuerza (W), tenacidad y extensibilidad para cada grupo de manera individual, y haciendo uso de los valores podemos obtener nuestra propia curva de alveograma las cuales son muy similares en forma a las obtenidas experimentalmente y que se presentan en las siguientes páginas.

**GRAFICA 4
ALVEOGRAMA**



ALVEOGRAMA GRUPO 2



Ensayo No. _____ Fecha 22-06-95

GRUPO 2

Humedad %: 7 % (Eau cc)
 Temperatura de Laboratorio °C Humedad Relativa %

$W = 6,54 \times S^{1,2763} = 162 \times 10^{-4}$ joules

S I en cm² = EI x PI = _____

p = MINI x 1,1 = _____ m/m

%

$P = \frac{H}{T \cdot Q} \times 1,1 = \frac{EC \cdot 9}{m/m}$

S II en cm² = _____

L = ON / ETC m/m

P Kc.9 = 1.29
 L ETC

G = 16.2

S III en cm² = _____

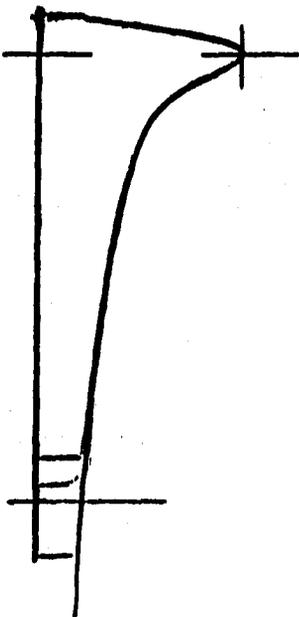
ZN _____ x ZF _____

S en cm² = _____

27.53

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	

ALVEOGRAMA GRUPO 3



Ensayo No. _____ Fecha 09-06-95

GRUPO 3

Humedad 15.2° (Eau) (cc)
 Temperatura de Laboratorio C Humedad Relativa

$W = 6.54 \times S \times 15.74 = 303 \times 10^{-4}$ joules

s I en cm³ = E x R = _____

p = MMI x 1.1 = _____ m/m

%

$P = H \times 1.1 = 44.0$ m/m

s II en cm³ = _____

L = 0M 5C m/m

P 44.0 = 0.5
 L 5C0

G = 20.9

s III en cm³ = _____

S en cm³ = _____

15.74

Utilizando la Tabla 9 del Capítulo 4, podemos decir que para G1 que tiene un $T/L=0.54$, se ubica en un trigo extensible balanceado y el uso que se recomienda para esta harina es para la producción de galletas en procesos mecanizados por la fuerza que tiene, también puede ser usada para mejorar harinas muy tenaces y/o débiles.

Para G2 el $T/L=1.18$ cae en los trigos tenaces y es recomendable su uso para pasteles, bisquets o hot cakes, al igual que el G1, puede ser utilizado para mejorar otro tipo de trigos, pero en este caso muy extensibles.

El G3 con un $T/L=0.45$ queda encasillado en los trigos extensibles y podría ser empleado para la manufactura manual de galletas por su baja fuerza. Este tipo de trigos es muy común que tengan que ser mezclados con otros trigos para mejorar sus características ya que el mercado de harinas para galletas caseras no es muy grande.

Para los valores de T/L se encontró una diferencia significativa entre los grupos lo que nos indica y confirma que las características de cada uno de ellos son completamente diferentes y por ende el uso que deberá darseles también.

Para determinar la superficie del alveograma se pueden emplear dos métodos:

a) Empleando un planímetro, el cual consiste de marcar la superficie de la curva promedio o individuales, dando un valor en cm^2 el cual posteriormente es multiplicado por el factor de 6.54 para obtener la fuerza en joules $\times 10^{-4}$. Para éste método se requiere contar con el planímetro.

b) Empleando los abacos planimétricos, que generalmente están incluidos con la compra del equipo. Este método se basa en la medición de la superficie por áreas que son sumadas para dar el valor total de superficie en cm^2 , continuando con la multiplicación con el factor de 6.54. En el anexo se da la información para el uso y empleo de los abacos planimétricos.

Extensógrafo: Como podemos observar en la Gráfica 5, existe una gran similitud con los datos obtenidos con el alveógrafo, ya que siguen el mismo comportamiento en todos los parámetros, no obstante de manejar diferentes unidades, así mismo no se encontró diferencia significativa entre cada uno de los parámetros evaluados.

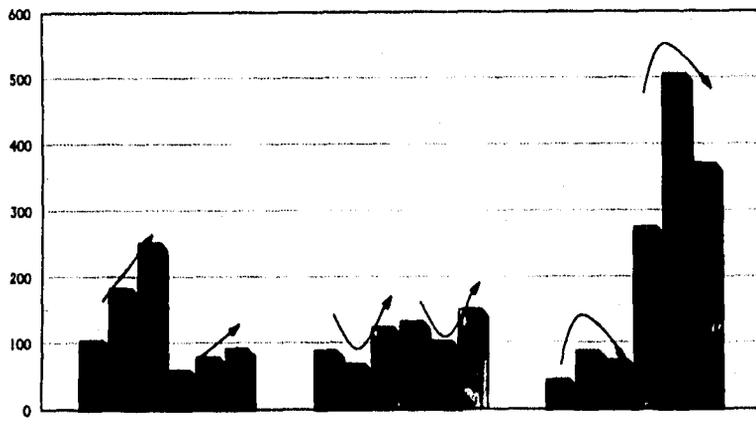
Si existiera una tabla similar a la del alveógrafo, los datos obtenidos por el extensógrafo nos corroborarían las características del gluten de cada uno de los grupos, ya que la relación entre cada parámetro y entre cada grupo se

mantiene.

Es claro que al obtener características similares entre el Alveografo y el Extensografo, el uso recomendado para cada uno de los grupos de trigo es el mismo que se dio en la sección del alveografo. Es importante hacer notar las diferentes características que se obtienen en un producto elaborado a partir de un determinado tipo de harina. En la Figura 20 de la página 71 se puede observar como se obtendra un pan usando los diferentes tipos de trigo evaluados, por ejemplo: si se elaborara un pan bajo las mismas condiciones con los diferentes tipos de harina obtendríamos diferentes formas y volumen de pan (cc). En el caso del grupo 1 podemos esperar que el pan tenga una buena forma simetrica y de buen volumen. El Grupo 2 sería un pan de bajo volumen y de una forma ligeramente picuda y finalmente el Grupo 3 sería un pan de bajo volumen con una superficie plana, lo que indicaría un uso más adecuado para galletas.

Al igual que en el caso del alveografo las características de elasticidad y tenacidad de los trigos estan en función de la calidad del gluten.

**GRAFICA 5
EXTENSOGRAMA vs. ALVEOGRAMA**



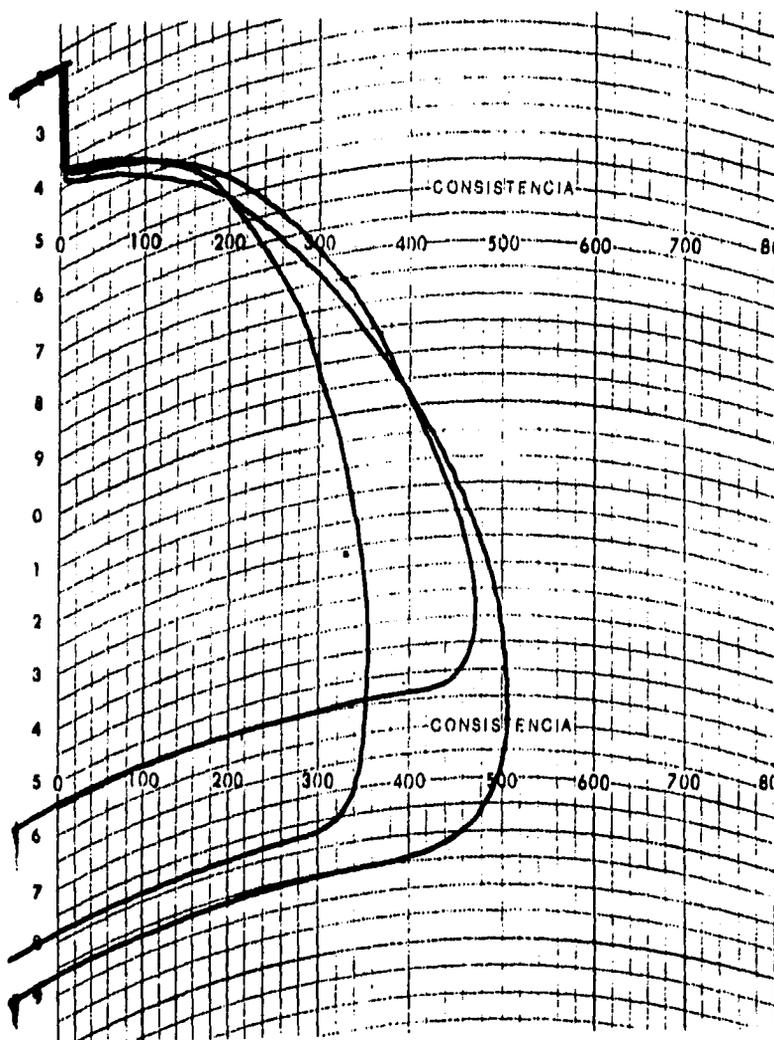
	Fuerza (W)	Extensibilidad	Tenacidad
Grupo 3 Alveogram	103	88	44
Grupo 3 Extensogram	182	67	87
Grupo 1 Alveogram	251	123	73
Grupo 1 Extensogram	58	132	275
Grupo 2 Alveogram	78	102	505
Grupo 2 Extensogram	91	151	370

UNIDADES ALVEOGRAMA JOULES X 10⁻⁴ mm

UNIDADES EXTENSOGRAMA cm² mm UB

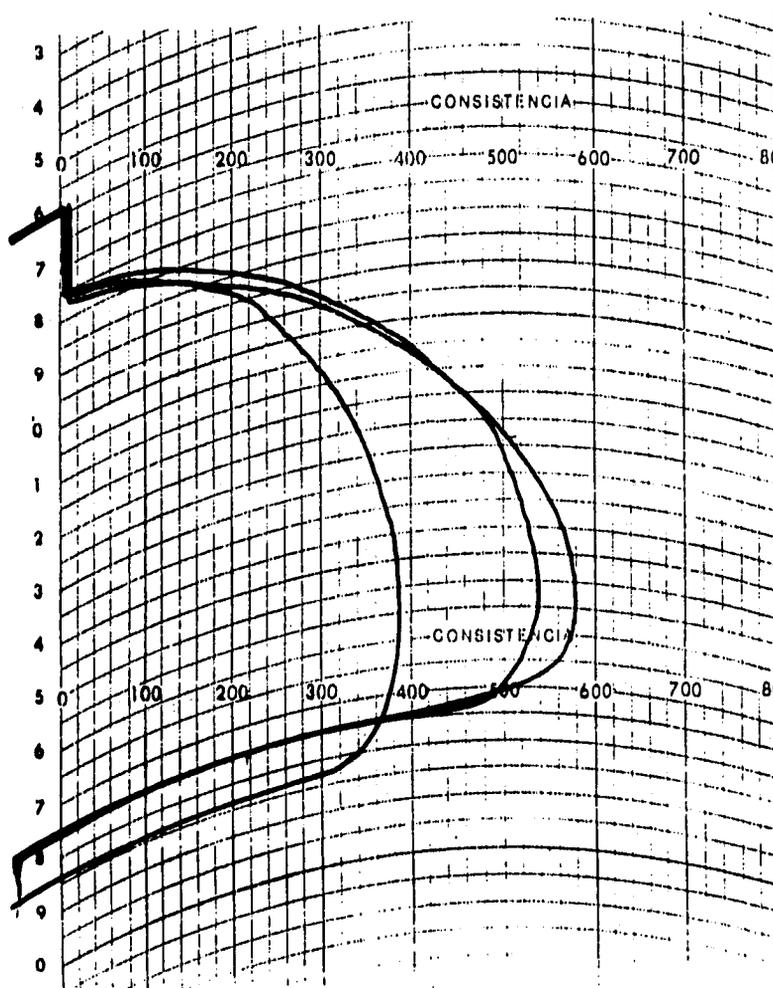
EXTENSOGRAMA GRUPO 1.

Extensibilidad 151 mm
Tenacidad 370 UB
Superficie 91 cm²



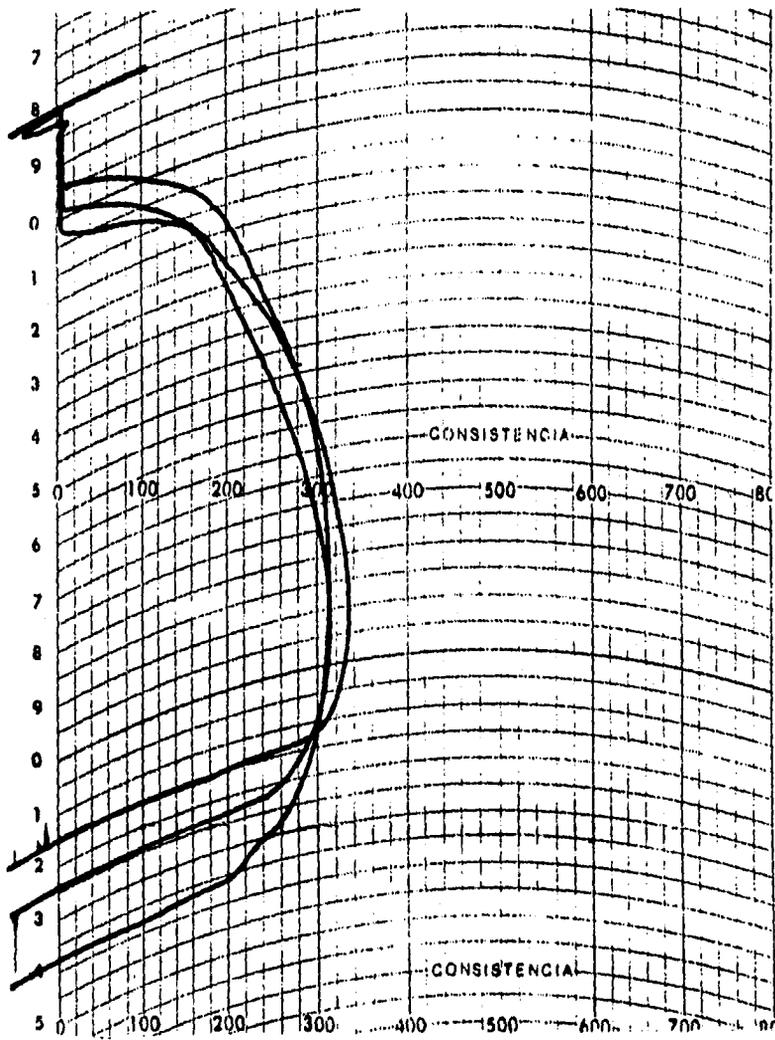
EXTENSOGRAMA GRUPO 2.

Extensibilidad 102 mm
Tenacidad 505 UB
Superficie 78 cm²



EXTENSOGRAMA GRUPO 3.

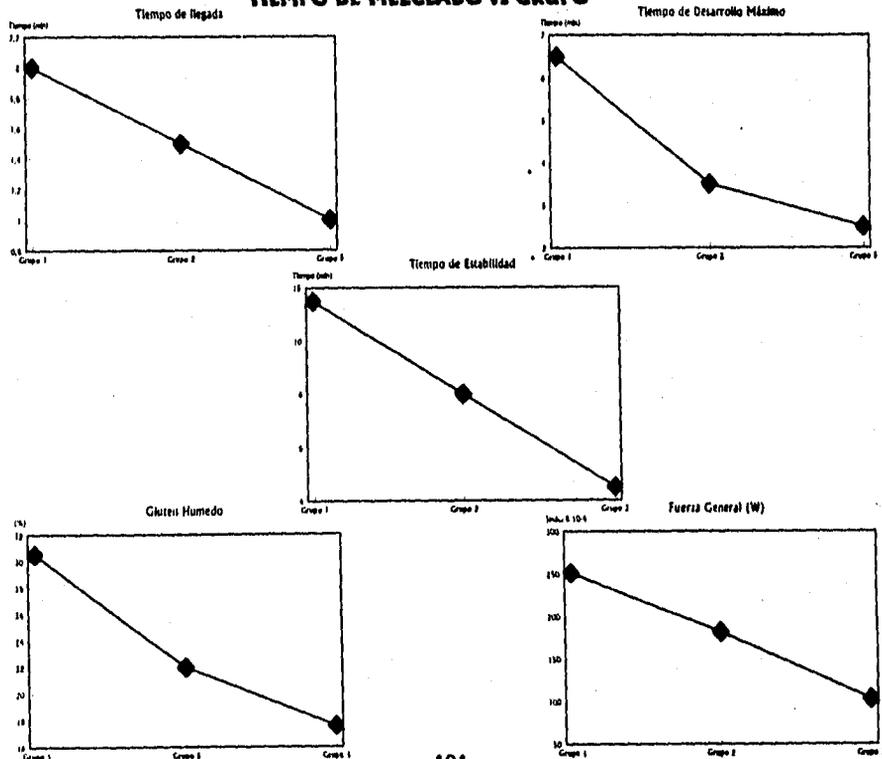
Extensibilidad 132 mm
Tenacidad 275 UB
Superficie 58 cm²



Falling Number: De acuerdo a los resultados obtenidos en esta técnica, no existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos entre el grano de trigo y el harina. Como ya se ha mencionado, este parámetro nos indica la cantidad de enzimas que deberá adicionarse al harina para estar en un nivel óptimo de actividad enzimática y así obtener un producto (pan) de buena calidad.

Como podemos observar en la Grafica 6, los tiempos de: estabilidad, de llegada, así como de desarrollo máximo, siguen el mismo comportamiento respecto del % de gluten húmedo, y de la fuerza general (W) obtenida en el alveografo.

GRAFICA 6
TIEMPO DE MEZCLADO vs GRUPO



Lo anterior relaciona directamente al % de Gluten con los tiempo de mezclado, es decir a mayor porcentaje de gluten mayor resistencia al mezclado de las harinas y mayor fuerza general (W). Lo que se explica de la siguiente manera: A mayor porcentaje de gluten habrá un mayor número de cadenas de proteína con enlaces disulfuro (S-S) por desarrollarse, por lo que el tiempo para el desarrollo máximo será mayor. Al seguir mezclando habrá una mayor proporción de enlaces disulfuro, que para romperse requeriran de mayor trabajo, que será mayor en la medida que exista formación de nuevos enlaces S-S por disponibilidad de grupos tiol (SH-), presentes en las cadenas de proteínas de gluten, y disponibles al romper un enlace S-S.

VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la fase experimental para cada uno de los grupos de trigo analizados podemos concluir lo siguiente:

Las harinas resultantes de la molienda del grano de trigo presentan alrededor del 50% menos de cenizas, ya que estas son eliminadas durante la molienda por la remoción del germen y salvado.

El porcentaje de proteína no es un parámetro que indique la calidad ni las características reológicas de las harinas, ya que la funcionalidad de estas está dada por la cantidad, calidad y reología que presente el gluten.

El Grupo de Trigo 1, por el tipo de gluten que presenta; medio fuerte ($W=251$), extensible-balanceado ($T/L=0.54$), así como por los datos de absorción de agua (57.7%), proteína (10.6%), Falling Number (366 seg), tiempos de desarrollo (5.5 min) y estabilidad (11.5 min), puede servir para la elaboración de masas para pan, y a juzgar por los tiempos de mezclado, se puede asegurar que son masas que resisten el amasado mecánico ya que tienen una buena estabilidad y fuerza general, y que son aptas para mezclar con harinas lo suficientemente tenaces para balancear la extensibilidad mostrada.

El Grupo 2, por presentar un gluten débil ($W=182$), balanceado-tenaz ($T/L=1.18$), así como por los valores obtenidos de absorción (59.0%), Falling Number (372), proteína (10.4%), tiempos de desarrollo (5.0 min), y estabilidad (8.0 min), se ubica como una harina adecuada para mezclas con grupos de mayor fuerza y para el uso de harinas tipo casero, que por su fuerza permite un manejo (amasado) doméstico.

El Grupo 3, es de los tres grupos, el más débil ($W=103$), su gluten es extensible ($T/L=0.45$), y de acuerdo al resto de las características mostradas, nos indican que su uso más apropiado es para la elaboración de galletas, así como para ser mezclado con harinas fuertes de poca extensibilidad; ya que su baja fuerza y baja estabilidad al mezclado impedirán un trabajo mecanizado o su utilización para aquellos productos que requieren de harinas fuertes (pasteles, por ejemplo).

De los tres grupos evaluados, solo el grupo 1 se apega de manera rigurosa a la Norma Oficial Mexicana, ya que en el parámetro de gluten húmedo, establece como mínimo 29.7 %, y solo el grupo 1 cubre este nivel, así como los niveles de humedad y cenizas. Pero dicha norma dista mucho de poder agrupar a la gran diversidad de harinas que se pueden encontrar disponibles en el mercado nacional, por lo que es necesario modificarla, y ampliar el número de grados de harinas, contemplando los diversos usos que se tienen para las mismas. No se realizó el análisis amilorráfico (Método 22-10), debido a que no se tuvo disponibilidad del equipo.

El empleo de los equipos que determinan las propiedades reológicas de las harinas de trigo son una herramienta muy importante que permite establecer el uso más apropiado que deberá dársele a las diferentes harinas en función de sus características reológicas.

Se deben emplear los diferentes equipos para establecer los parámetros de calidad más importantes de acuerdo al uso que tendrá el harina en cuestión.

Para determinar las características de tenacidad y extensibilidad, así como la fuerza general de los trigos, pueden utilizarse el alveógrafo o el extensógrafo, ya que ambos determinan estas características.

Es de suma importancia el realizar ensayos de panificación con técnicas que establezcan condiciones estándar, para corroborar y determinar el uso más apropiado de las harinas, ya que el empleo de los equipos que determinan las condiciones reológicas dan solo una idea cercana a la realidad.

Los equipos que miden las propiedades reológicas de las harinas son de gran utilidad para determinar y establecer los parámetros de calidad de las mismas, antes, durante y después de haber sido molido el trigo.

Es importante considerar al presente trabajo como una guía, que ofrece las herramientas mínimas necesarias para el estudio de la calidad del trigo y sus harinas.

Es importante continuar con el estudio de la calidad de las harinas y su efecto en los diferentes procesos de panificación, ya que el presente trabajo se ha limitado al estudio de las harinas antes de ser procesadas.

El presente trabajo puede servir para iniciar con trabajos de investigación con mayor profundidad en temas como:

molienda

mejoradores

propiedades reológicas y su relación con las técnicas de panificación

etc.

BIBLIOGRAFIA.

- (1) Robles, S. R., (1978), "Producción de granos y forrajes", Ed. Limusa, México, D.F. pp. 595.
- (2) Kent Jones, D. W., Amos, J.A., (1956), "Química Moderna de los Cereales", Ed. Aguilar, Madrid, España.
- (3) Garola, Ch. P., (1931), "Normas Generales de Cultivo", Ed. Salvat, Barcelona, España., pp.297
- (4) CIMMYT, (1989), "CIMMYT 1987-1988 Hechos y Tendencias mundiales relacionadas con el trigo. Tendencias recientes y retos futuros", Ed. CIMMYT, México, D. F.
- (5) Barranco, F. R. (1991), "Producción y Distribución del Trigo en México", Revista mensual Pan, Año XXXVIII, Abril (91), Núm. 450, Pág. 11
- (6) Serrano, M. A., (1992), "Las doradas cifras del trigo", Revista Escala, Impresiones Aereas S. A. de C. V., Año III NUM. 91, FEBRERO, PAG. 22.
- (7) F.A.O. (Aykroyd, R. W., Doughty, J.), (1970), "El trigo en la alimentación humana", Ed. F.A.O., Roma.
- (8) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (1979), "Granos, Cereales", Ed. F.A.O., Roma.
- (9) Pomeranz, Y., (1988), "Wheat Chemistry and Technology", Ed. American Association of Cereal Chemists, Third Edition, VOLUME I, II, ST. PAUL, MINNESOTA 55121, USA.
- (10) Kent Jones, D. W., Amos, J.A., (1971), "Tecnología de los Cereales", Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- (11) Badui, D. S. (1984), "Química de los Alimentos", Ed. Alhambra, México, D.F. pag. 574
- (12) Braverman, J. V. S., (1980), "Introducción a la bioquímica de los alimentos", Ed. El Manual Moderno, México, D. F.
- (13) PUAL, (Programa universitario de Alimentos), (1989), "Curso de Panificación", Auditorio Dr. Nabor Carrillo, CIC, UNAM CIUDAD UNIVERSITARIA, 12 A 16 DE Junio.
- (14) Chaplin, M. F., Kennedy, F. J. (1986), "Carbohydrate Analysis (a practical approach)", Ed. IRL Press, Oxford, England.
- (15) Osborne, D. R., Voogt, P., (1978), "The analysis of Nutrients of Foods", Ed. Academic Press, London.
- (16) Pearson, P., (1976), "Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos", Ed. Acribia, Zaragoza, España., pp.331
- (17) Pomeranz, Y., Meloan, E.C., (1987), "Food Analysis, Theory and Practice", Ed. An AVI Book, Second Edition, Published by Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- (18) Leslie, H. F., Johnstone, F. H., (1984), "Análisis Moderno de los Alimentos", Ed. Acribia, Zaragoza, España.

- (19) Klemm, G. C., (1964), "General Methods for Ashing". Ed. J. ASSOC. OFFIC. AGR. CHEMIST.
- (20) The Chemistry and Technology of Cereals, (1989), "As Food and Feed by Matz", Ed. AVI Publishing CO., WESTPORT CONN.
- (21) Aurand, W. L., Woods, E., Wells, R. M., (1987). "Food composition an analysis", Ed. AN AVI BOOK, Published by Van Nostrand Reinhold, New York.
- (22) Deman, J.M., Volsey, P.W., Rasper, V.F., Stanley, D.W., (1976). "Rheology and Texture in food Quality", Ed. THE AVI Publishing CO. Inc., WESTPORT CONN.
- (23) Radley, A. J., (1976), "Examination and Analysis of Starch and Starch Products", Ed. Applied Science Publishers LTD., London.
- (24) Joslyn, A. M., (1970), "Methods in Food Analysis", Ed. Academic Press, Second Edition, New York, San Francisco, London.
- (25) Birch, G. C. (1985), "Analysis of food Carbohydrate". Ed. Elsevier Applied Science Publishers, England.
- (26) Fennema, R. O., (1985), "Food Chemistry", Ed. Marcel Dekker, Inc. Second edition revised and expanded, USA.
- (27) Pomeranz, Y., (19), "Advances in cereal science and technology", Ed. American Association of Cereal Chemists, Vol. III, Minnesota, USA.
- (28) Rocavila, M., (1978), "Introducción a la mecánica de fluidos", Ed. Limusa, México, D.F.,
- (29) Bourne, M. C. (1982). "Food Texture and Viscosity". Ed. Academic Press, INC. New York.
- (30) Deman, J.M., Volsey, P.W., Rasper, V.F., Stanley, D.W., (1979), "Rheology and Texture in food Quality", Ed. THE AVI Publishing CO. Inc., Second Printing, WESTPORT CONN.
- (31) Pasckall, W., (1967), "Starch, Chemistry and Technology", Vol I, Fundamental Aspect, Ed. Academic Press, New York.
- (32) Glicksman, M. (1969), "Gum Thechnology in the Food Industry", Ed. Academic Press, New York, San Francisco, London.
- (33) Hall, W. C., Farral, W. A., Rippen, L. A., (1978), "Encyclopedia of Food Engineering", Ed. The AVI Publishing Company, INC. WESTPORT CONNECTICUT.
- (34) Pomeranz, Y., (1971), "Wheat Chemistry and Technology", Second Edition, Ed. American Association of Cereal Chemist, INC., St. Paul Minnesota.
- (35) American Association of Cereal Chemists, INC. "Approved Methods of The AACC"
- (36) The American Oil Chemist Society, INC., (1966), "Official and Tentative Methods", Additions and Revisions, Chicago, Ill.
- (37) Wheat Flour Institute, (1974), "De la harina al pan, El báculo de la vida", Ed. US Millers National Federation, Centro Regional de ayuda Técnica, Agencia para el desarrollo Internacional, México, Buenos Aires.

- (38) Breade Research Institute of Australia, "The world of cereals", Ed. Consumer Information Division, North Ryde, NSW.
- (39) Carbajal, G. M., (1981), "El Alveografo", Revista Pan Continental, Diciembre.
- (40) Donal, K.T., WILLIAM J. S., (1975), "Food product formulary", Vol II, Ed. The AVI Publishing Company, INC., Westport, Connecticut.
- (41) Alimentos Framex S.A. DE C.V., "Agentes Modificadores en Calidad de Harinas", Amores 1112-2, Col. del Valle, México, D.F.
- (42) Troller, A. J., Christian, J. H. B., (1978), "Water Activity and Food", Ed. Academic Press, New York, San Francisco, London.
- (43) Matz, A. S., (1972), "Bakery Technology and Engineering", Ed. The AVI Publishing Company, INC., Second Edition, Westport, Connecticut.
- (44) Shuey, W. C., (1975), "Practical Instruments for Rheological Measurements on Wheat Products", Cereal Chemistry, VOL. 52, No. 3, PART II, MAY - JUN.
- (45) Bloksma, A. H., (1975), "Thiol and disulfide groups in dough rheology", Cereal Chemistry, Vol. 52, No. 3, Part II, May-Jun.
- (46) Hibberd G. E., Parker N.S. (1975), "Measurement on the fundamental rheological properties of Wheat Flour dough", Cereal Chemistry, VOL. 52, No. 3, PART II, MAY - JUN.
- (47) Greenwood C. T., Ewart A.D., (1975), "Hypothesis for the structure of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough", Cereal Chemistry, VOL. 52, No. 3, PART II, MAY - JUN.
- (48) Gruenwedel, D. N., Whitaker, J.R., "Food analysis, Principles and Techniques", Vol. 1 Physical Characterization, Ed. Marcel Dekker, INC. New York and Basel.
- (49) McDonald, C. E., (1972), "Laboratory Manual of Cereal Technology Methods", Cereal Chemistry and technology 544, Ed. Department of Cereal Chemistry and Technology, North Dakota State University, Fargo, North Dakota.
- (50) AOAC, "Official Methods of Analysis, Cereal Foods", Ed. Doris Baker, Associate Chapter Editor, U.S. Department of Agriculture, Centennial, Edition.
- (51) Geankoplis, C. J., "Procesos de transporte y operaciones unitarias" Ed. Cegsa, Cuarta Edición, México, D. F.
- (52) Bird, R. B. (1985), "Fenómenos de Transporte", Ed. Reberte, BARCELONA, ESPAÑA.
- (53) Scade, J. (1981), "Cereales", Ed. Acribia, Traducido del inglés por: García, N. J.J., Zaragoza, España.
- (54) S.E.P., (1983), "Manuales para educación agropecuaria: Trigo, Cebada, Avena", Area: producción Vegetal, Ed. Trillas, México.
- (55) Fritz, E., (1954), "Inorganic Chemistry", Ed. Oliver and Boyd, Sixth Edition, London: 39A WELBECK STREET W. Edinburgh: Tweeddale Court.

- (56) Industrie Mess - Und Kontrollverfahren, "Método: Farinógrafo Brabender", DUISBURG AM RHEIN POSTFACH 204-205 WEST GERMANY.
- (57) Brabender, OHG Duisburg, "Amylograph Brabender". Industrie Mess - UND Kontrollverfahren. D-4100 DUISBURG 1 KULTURSTRASSE 51-55 West, Germany.
- (58) Falling Number System, "Sistema para la determinación de la actividad alfa amilásica", BOX 5101, S-14105 HUDDINGE, SWEDEN
- (59) Falling Number System, "Un método internacional estandarizado". BOX 5101, S-14105 HUDDINGE, SWEDEN
- (60) Industrie Mess - Und Kontrollverfahren, "Instruction Manual: Farinógrafo Brabender", DUISBURG AM RHEIN POSTFACH 204-205 WEST GERMANY.
- (61) Industrie Mess - Und Kontrollverfahren, "Instruction Manual: Amilógrafo Brabender", DUISBURG AM RHEIN POSTFACH 204-205 WEST GERMANY.
- (62) Industrie Mess - Und Kontrollverfahren, "Brabender Extensograph". DUISBURG AM RHEIN POSTFACH 204-205. WEST GERMANY.
- (63) Asociación Internacional para la Química de los Cereales (ICC), (1972). "Método para el empleo de del Extensografo", ICC-STANDAR No. 114.
- (64) Dubois, M. / Director de Chopin, S.A., "El análisis Alveográfico". Departamento de laboratorio de Tripette et Renaud S.A..
- (65) Association, Francaise de Normalisatio. (1974) "Norma AFNOR V03710, Harina de trigo suave, Determinación práctica de ciertas características reológicas de las masas por medio del Alveografo", Tour Europe Cedex 7 92080, Paris. La Defense Noviembre.
- (66) CHOPIN, S.A. "Alveografo Chopin; Instrucciones para su empleo" 20 AVENUE MARCELIN BERTHELOT -92390 VILLENEUVE-LA-GARENNE 39, RUE JJ ROUSSEAU -75038 PARIS CEDEX 01
- (67) CHOPIN, S.A. "Alveografo Chopin; Abacos para la medida de las características del Alveografo Chopin", 20 AVENUE MARCELIN BERTHELOT -92390 VILLENEUVE-LA-GARENNE 39, RUE JJ ROUSSEAU -75038 PARIS CEDEX 01
- (68) Launay, B., (1985). "Propiedades reológicas de las masas de harina". Revista Pan, Abril.
- (69) Muller, H.G., (1977). "Introducción a la reología de alimentos". Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- (70) Brunck, H.D., (1979). "Introducción a la estadística matemática". Ed. Trillas, México, D. F., pag.597.
- (71) Irwin, Miller, and Freud, E. J., (1986). "Probabilidad y estadística para Ingenieros", Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, D. F., pág. 574.



SECRETARIA DE PATRIMONIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-F-7-1982

"HARINA DE TRIGO"

"WHEAT FLOUR"



DIRECCION GENERAL DE NORMAS

NOM-F-7-1982

P R E F A C I O

En la elaboración de esta norma, participaron los siguientes Organismos:

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. DIRECCION GENERAL DE CONTROL DE ALIMENTOS, BEBIDAS Y MEDICAMENTOS.

LANCE, S. A.

NABISCO FAMOSA, S. A.

GERENCIA DE COORDINACION DE PRODUCTOS, COMERCIALIZACION Y SERVICIOS DE FILIALES CONASUPO.

**"WHEAT FLOUR"****0 INTRODUCCION**

Las especificaciones que se establecen en esta norma sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto objeto de esta norma, se utilicen materias primas de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de elaboración y se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas, que aseguren que el producto es apto para el consumo humano, de acuerdo con el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos, sus Reglamentos y demás disposiciones de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones que debe cumplir el producto denominado harina de trigo, cuyo principal empleo es la fabricación de pan, galletas y pastas para sopa.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-F-66-S ✓ Alimentos para humanos - Determinación de cenizas.
(Determinación de cenizas en alimentos).
- NOM-F-68-S ✓ Alimentos para humanos - Determinación de proteínas.
(Alimentos - Determinación de proteínas).
- NOM-F-83 ✓ Alimentos para humanos - Determinación de humedad.
(Determinación de humedad en productos alimenticios).
- NOM-F-90-S ✓ Alimentos para humanos - Determinación de fibra cruda.
(Determinación de fibra cruda en alimentos).
- NOM-F-253 ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias.
(Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias).
- NOM-F-254 ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Cuenta de organismos coliformes.
(Cuenta de organismos coliformes).
- NOM-F-255 ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Método de conteo de hongos y levaduras.
(Método de conteo de hongos y levaduras).

Prohibida su reproducción sin autorización de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

- NOM-F-304 ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Investigación de Salmonella método general.
(Método general de investigación de Salmonella).
- NOM-F-308 ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Cuenta de organismos coliformes fecales.
(Cuenta de organismos coliformes fecales).
- NOM-F-310-S ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Cuenta de Estafilococos aureo, coagulasa positiva.
(Determinación de cuenta de Estafilococos aureo, coagulasa positiva en alimentos).
- NOM-F-403-S ✓ Alimentos para humanos - Microbiológicos - Cuenta de Bacillus Mesentericus o Bacillus Subtilis (esporas formadoras de hebra).
- NOM-F-353-S Alimentos para humanos - Determinación de aflatoxinas en cacahuates nueces, granos y sus productos.
(Cuatro partes - Cacahuates, otras nueces, granos y sus productos - Determinación de aflatoxinas).
- NOM-F-365-S Alimentos para humanos - Harinas - Determinación de materia extraña.
(Harinas - Determinación de materia extraña).
- NOM-F-377-S Alimentos para humanos - Harinas - Determinación de gluten.
(Harinas - Determinación de gluten).
- NOM-B-231 ✓ Requisitos de las cribas para clasificación de materiales.
- NOM-Z-12 Muestreo para la inspección por atributos.

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Se entiende por harina de trigo, al producto que se obtiene por molienda y tamizado de granos de trigo (Triticum Vulgare y Triticum Durum Lin), sanos limpios, enteros o quebrados, sin cáscara, con un 73 % de extracción mínimo aproximado, adicionado o / no de los aditivos permitidos (véase 5.7).
Este producto requiere cocimiento para su consumo.

3.2 Se entiende por grado I: Harina de trigo fina (para panificación), el producto que cumple con lo señalado en 3.1 y con las especificaciones correspondientes (véase 5) adicionado o / no de levadura, agentes leudantes sal y agua con la que se elabora previo proceso de cocción pan blanco, bollos, biscochos, pastels y otros.

3.3 Se entiende por grado II : Harina de trigo semifina (para galletas), el producto que cumple con lo señalado en 3.1 y con las especificaciones correspondientes (véase 5) adicionado de levadura, agentes leudantes, azúcar, mantequilla, grasa vegetal comestible, u otros ingredientes permitidos para su elaboración.

3.4 Se entiende por grado III : Harina de trigo común o estandar (para pasta para sopa) el producto que cumple con lo señalado en 3.1 y con las especificaciones correspondientes (véase 5) adicionado o / no de ingredientes opcionales y aditivos permitidos para su elaboración.

4 CLASIFICACION Y DESIGNACION DEL PRODUCTO

Para los efectos de esta norma, de acuerdo a su uso, la harina de trigo se clasifica en un solo tipo y tres grados de calidad, designándose como: Harina de Trigo.

GRADO I Harina de trigo para panificación

GRADO II Harina de trigo para galletas

GRADO III Harina de trigo para pastas para sopa

5 ESPECIFICACIONES

El producto objeto de esta norma en su único tipo y tres grados de calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones:

5.1 Sensoriales

Color Blanco o ligeramente amarillo, característico (véase A.5)

Olor Debe ser característico del producto, sin ningún olor extraño.

Sabor Farináceo, característico del producto, sin sabor extraño o desagradable.

5.2 Físicas y químicas

El producto objeto de esta norma debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas en la tabla 1.

T A B L A 1

ESPECIFICACIONES	Grado I Para Panificación	Grado II Para Galletas	Grado III Para Pastas Para Sopa
Humedad % máx.	14.0	14.0	14.0
Proteínas % (N x 5.7) mín.	9.5	9.0	9.0
Cenizas %	0.55 máx.	0.4 - 1.0	0.6 máx.
*Fibra cruda %	0.2 - 0.4	0.2 - 0.6	0.3 máx.
Glúten húmedo % mín.	31.3	29.7	29.7
Granulometría	(véase A. 2)		

NOTA 1. - Los porcentajes están expresados sobre base húmeda de 14 % excepto glúten.

*NOTA 2. - (Referente a fibra cruda). Será sólo para orientación del analista.

5.3 Alveogramas (véase A.1)

5.4 Microbiológicas

El producto objeto de esta norma no debe contener microorganismos patógenos, toxinas microbianas, e inhibidores microbianos.

5.5 Contaminantes químicos

El producto objeto de esta norma no deberá contener ningún contaminante químico en cantidades que puedan representar un riesgo para la salud. Los límites máximos para estos contaminantes quedan sujetos a los que establezca la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

5.6 Materia extraña objetable

El producto objeto de esta norma no debe contener insectos, fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores, fuera de los límites permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, así como de cualquier otra materia extraña.

5.7 Aditivos

Los siguientes permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, dent

5.7.1 Blanqueadores u oxidantes y/o agentes de maduración o mejoradores.

- Oxidos de nitrógeno,
- Cloruro de nitrosilo,
- Cloro,
- Dióxido de cloro,
- Persulfato de amonio o
- Peróxido de benzoilo (mezcla de una parte, con seis partes de almidón o carbonato de calcio o fosfato tricálcico o carbonato de magnesio).
En la cantidad necesaria para la buena elaboración del producto.
- Bromato de potasio: 50 mg/kg (50 ppm). (véase A.5).
- Azo dicarbonamida: 45 mg/kg (45 ppm).
- Acido ascórbico.
- Enzimas proteolíticas y amilolíticas (alfa amilasa).

5.7.2 No se permite el empleo de conservadores o agentes antimicrobianos.

6 MUESTREO

6.1 Cuando se requiera el muestreo del producto, este podrá ser establecido de común acuerdo entre productor y comprador, recomendándose el uso de la Norma Oficial Mexicana NOM- Z-12

6.2 Muestreo Oficial

El muestreo para efectos oficiales estará sujeto a la legislación y disposición de la Dependencia Oficial correspondiente.

7 METODOS DE PRUEBA

Para la verificación de las especificaciones físicas, químicas, microbiológica y materia extraña, que se establecen en esta norma se deben aplicar las Normas Oficiales Mexicanas que se indican en el capítulo de Referencias (véase 2).

8 MARCADO, ETIQUETADO, ENVASE Y EMBALAJE

8.1 Marcado y etiquetado

El envase del producto debe llevar una etiqueta o impresión perma

te, visible e indeleble con los siguientes datos:

- Denominación del producto conforme a la clasificación de esta norma y especificando el grado de calidad correspondiente (véase A. 5).
- Nombre comercial o marca comercial registrada, pudiendo aparecer el símbolo del fabricante.
- El "Contenido Neto" de acuerdo con las disposiciones de la Secretaría de Comercio.
- Nombre o razón social del fabricante o titular del registro y domicilio donde se elabora el producto.
- La leyenda "HECHO EN MEXICO".
- Cuando se adicione bromato de potasio o de azo dicarbonamida se señalará el nombre y el por ciento del aditivo empleado.
- Texto de las siglas Reg. S.S.A. No. _____ "A" debiendo figurar en el espacio en blanco el número de registro correspondiente.
- Otros datos que exija el reglamento respectivo o disposiciones de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

8.1.2 MARCADO EN EL EMBALAJE

Deben anotarse los datos necesarios de 8.1.1 para identificar el producto y todos aquellos otros que se juzguen convenientes tales como las precauciones que debe tenerse en el manejo y uso de los embalajes.

8.2 Envase

El producto objeto de esta norma se debe envasar en recipientes de un material resistente e inocuo, que garantice la estabilidad del mismo, que evite su contaminación, y no altere su calidad ni sus especificaciones (véase A. 3).

8.3 Embalaje

Para el embalaje del producto objeto de esta norma, se deben usar cajas de cartón o envolturas de algún otro material apropiado, que tengan la debida resistencia y que ofrezcan la protección adecuada a los envase, para impedir su deterioro exterior, a la vez que faciliten su manipulación en el almacenamiento y distribución de las mismas, sin exponer a las personas que los manipulen (véa

El producto terminado debe conservarse en locales que reúnan los requisitos sanitarios que señale la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

APENDICE

A.1 Alveogramas

En virtud de que cada harina se requiere con características reológicas específicas, según los fines a que se destine, ya sea para la elaboración de pan, galletas, o pastas para sopa el comprador deberá de hacer del conocimiento del vendedor las especificaciones que de acuerdo a sus necesidades requiera de la harina de trigo que la solicita. Para definir en cada caso las determinaciones mencionadas, se recomienda utilizar el método del alveograma; dando importancia principal a las relativas a extensibilidad, elasticidad, tenacidad y fuerza del glúten.

Estas se llevan a cabo en aparatos especiales de laboratorio entre los que se encuentran el alveógrafo de Chopin, el farinógrafo y extensómetro de Brabender y otros aparatos que son específicos para ellas.

A.2 Granulometría

GRADO I. - La harina de trigo para panificación: no debe reportar retención en tamiz NOM 34 M (de 0.177 mm de abertura de malla; equivalente a 80 U. S. B. S.) y puede aceptarse un máximo de 10 % de retención en un tamiz NOM 50 M (de 0.125 mm de abertura de malla; equivalente a 120 U. S. B. S.)

GRADO II. - En la harina de trigo para galletas generalmente se utilizan mezclas variables de acuerdo al tipo de galleta que se fabrique.

GRADO III. - La harina de trigo para pastas para sopa: debe reportar un 73 % como mínimo de retención de las fracciones de dos tamices NOM-20 M y 40 M (de 0.297 y 0.149 mm de abertura de malla; equivalentes a 50 y 100 U. S. B. S.) respectivamente.

A.3 Las especificaciones de envase y embalaje que deben aplicarse para cumplir con 8.2 y 8.3 serán las correspondientes a las Normas Oficiales Mexicanas de envase y embalaje específicas para cada presentación y gramaje del producto.

A.4 Para el control del color específico de lotes, se pueden utilizar escalas colorimétricas con referencia al MgO.

A.5 Cuando la harina contenga bromato de potasio, en la cantidad mencionada en 5.7.1 se ostentará en la etiqueta la denominación: harina bromatada.