

Manual del Cultivo del Trigo



Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
Programa Latinoamérica Cono Sur
<http://lacs.ipni.net>

Manual del cultivo de trigo / Bernardette Abadia ... [et al.]; compilado por
Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García; editado por Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García. -
1a ed. compendiada. - Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2017.
224 p.; 28 x 19 cm.

ISBN 978-987-46277-3-5

1. Agricultura. 2. Cultivo Agrícola. 3. Manuales. I. Abadia, Bernardette II. Divito, Guillermo A., comp. III.
García, Fernando Oscar, comp. IV. Divito, Guillermo A., ed. V. García, Fernando Oscar, ed.
CDD 633

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso de los editores.

1ra edición Octubre 2017

Impreso en Argentina

ISBN 978-987-46277-3-5



Presentación

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales genera desafíos, oportunidades y amenazas para los sistemas de producción agrícola. Esta demanda requiere de sistemas que provean productos en cantidad y calidad mejorando la vida de las personas y preservando el ambiente. El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. Así, el desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes.

En este marco, la expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles constituye una severa amenaza a la sostenibilidad de los sistemas, por lo que, entre las alternativas propuestas, impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso ha sido considerada prioritaria. En Argentina, se han estimado brechas entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano del orden del 32%, 41% y 41% para soja, maíz y trigo, respectivamente (ver Capítulo 1 de esta publicación).

El cultivo de trigo ha sido una de las principales producciones agrícolas en los países del Cono Sur de Latinoamérica y actualmente incluye aproximadamente 6 millones de ha en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay. Su importancia dentro de la economía de estas naciones, su relevante participación como proveedor de alimento para sus poblaciones y, desde el punto de vista agronómico, su rol en las rotaciones de cultivos anuales, han sido destacados y ampliamente discutidos en numerosas publicaciones.

Este manual trata de cubrir los temas más relevantes de la producción, industrialización y comercialización de trigo, con énfasis en los sistemas de la región triguera argentina. A través de catorce capítulos y una serie de anexos se revisan aspectos relacionados al crecimiento y la fenología; la ecofisiología y la generación de rendimiento; las nuevas variedades; la importancia del manejo del cultivo para calidad; la nutrición y las mejores prácticas de manejo de la fertilización; la identificación y manejo de malezas, enfermedades y plagas más relevantes; el manejo de cultivo en distintas regiones; la cosecha y el almacenamiento de granos; la molienda y la panificación; y el mercado actual.

Como editores queremos dejar expreso nuestro más sincero agradecimiento al trabajo, dedicación y paciencia que han demostrado los autores de los distintos capítulos. Estos destacados científicos y profesionales son referentes insoslayables en las distintas temáticas abordadas y es un honor contar con su contribución en este manual.

Guillermo A. Divito
Fernando O. García

EDITORES

Guillermo A. Divito

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Doctor en Ciencias Agrarias. Actualmente se desempeña como asesor privado y Asistente Técnico de la Regional Necochea de Aapresid. Es especialista en manejo de cultivos agrícolas. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

Fernando O. García

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Ph.D. en Agronomía. Actualmente es Director Regional del International Plant Nutrition Institute (IPNI) Programa Cono Sur de Latinoamérica. Es especialista en fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

AUTORES

Bernadette Abadía

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abadia.maria@inta.gov.ar

Pablo E. Abbate

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abbate.pablo@inta.gov.ar

Cristian Álvarez

INTA Gral. Pico, La Pampa, Argentina.
alvarez.cristian@inta.gov.ar

Fernando Aramburu Merlos

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
aramburumerlos.f@inta.gov.ar

Mirian Barraco

INTA Gral. Villegas, Buenos Aires, Argentina.
barraco.miriam@inta.gov.ar

Ricardo Bartosik

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
bartosik.ricardo@inta.gov.ar

Javier Bujan

Kimei Cereales S.A. y Cámara Arbitral Bolsa de Cereales de Buenos Aires
bujan@kimei.com.ar

Leda E. Campaña

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Miguel J. Cardoso

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Leandro Cardoso

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
cardoso.marcelo@inta.gov.ar

Dora Carmona

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
carmona.dora@inta.gov.ar

Marcelo Carmona

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina
carmonam@agro.uba.ar

Pablo Calviño

Asesor y director técnico. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
calvinopabloa@gmail.com

Adrián A. Correndo

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

acorrendo@ipni.net

Diego de la Torre

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

delatorre.diego@inta.gob.ar

Guillermo A. Divito

Asesor Privado. AAPRESID, Asistente Técnico Regional Necochea. Buenos Aires, Argentina.

guillermodivito@yahoo.com.ar

Oswaldo Ernst

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Paysandú, Uruguay.

oernst@fagro.edu.uy

Ariel Jesús Faberi

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

faberi.ariel@inta.gob.ar

Jorge A. Fraschina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

fraschina.jorge@inta.gob.ar

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

fgarcia@ipni.net

Lisardo González

Buck Semillas. La Dulce, Buenos Aires, Argentina.

lgonzalez@bucksemillas.com.ar

Esteban Hoffman

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Paysandú, Uruguay.

tato@fagro.edu.uy

María I. Leaden

Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

mileaden@hotmail.com

Gisele Maciel

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

maciel.gisel@inta.gob.ar

Pablo Manetti

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

manetti.pablo@inta.gob.ar

Juan Pablo Monzon

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

monzon.juanpablo@inta.gob.ar

Carla Salvio

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

salvio.carla@inta.gob.ar

Francisco Sautua

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina

sautuaensayo@gmail.com

Santiago Néstor Tourn

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tourn.santiago@inta.gob.ar

María Celia Tulli

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tulli.maria@inta.gob.ar

Índice	Pág.
1. El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo _____	7
Pablo E. Abbate, Miguel J. Cardos y Leda E. Campaña	
Brechas de rendimiento de trigo en Argentina _____	20
Fernando Aramburu Merlos y Juan Pablo Monzon	
2. Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo _____	22
Pablo E. Abbate y Guillermo A. Divito	
3. Ecofisiología y manejo del cultivo de trigo _____	33
Pablo E. Abbate	
4. Cambios recientes y venideros en las variedades de mayor difusión en Argentina ____	53
Lisardo González	
5. ¿Por qué es importante la calidad del trigo? _____	57
Jorge A. Fraschina	
6. La nutrición del cultivo de trigo _____	67
Guillermo A. Divito, Adrián A. Correndo y Fernando O. García	
7. Identificación y manejo de malezas _____	85
María I. Leaden	
8. Criterios para el manejo integrado de las enfermedades _____	93
Marcelo Carmona y Francisco Sautua	
9. Caracterización y manejo de plagas animales _____	109
Dora Carmona, Pablo Manetti, María C. Tulli, Carla Salvio y Ariel J. Faberi	
10. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones _____	123
10.a Región Pampeana Central	
Jorge A. Fraschina	
10.b Región Sudeste de Buenos Aires	
Pablo Calviño y Guillermo A. Divito	
10.c Noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa	
Cristian Álvarez y Mirian Barraco	
10.d Uruguay	
Esteban Hoffman y Oswaldo Ernst	
11. Eficiencia en la cosecha de trigo _____	143
Santiago N. Tourn	
12. Almacenamiento y acondicionamiento de trigo _____	152
Ricardo Bartosik, Bernadette Abadía, Leandro Cardoso, Diego de la Torre y Gisele Maciel	
13. Calidad, molienda y panificación de trigos _____	172
Miguel J. Cardos, Leda E. Campaña y Pablo E. Abbate	
14. ¿Y tranqueras afuera? Consideraciones para la comercialización _____	194
Javier Bujan	
Anexos _____	198

Capítulo XIII: Calidad, molienda y panificación del trigo pan

Miguel J. Cardós¹; Leda E. Campaña¹ y Pablo E. Abbate²

¹Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

²Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.

El principal uso del grano de trigo es como alimento humano o animal. Sin embargo, este no tiene una estructura fácil para ser utilizado, por lo cual, durante años, se desarrollaron técnicas para la obtención de productos y subproductos del trigo que sirvan para la alimentación, que incluyen la molienda y clasificación de sus componentes.

1. Características del grano de trigo pan

El grano de trigo, llamado cariopse, es un fruto seco, indehiscente, cuyo pericarpio está en íntimo contacto con las envolturas seminales. En la **Figura 1** se presentan las principales partes morfológicas del grano desde el punto de vista de su molienda.

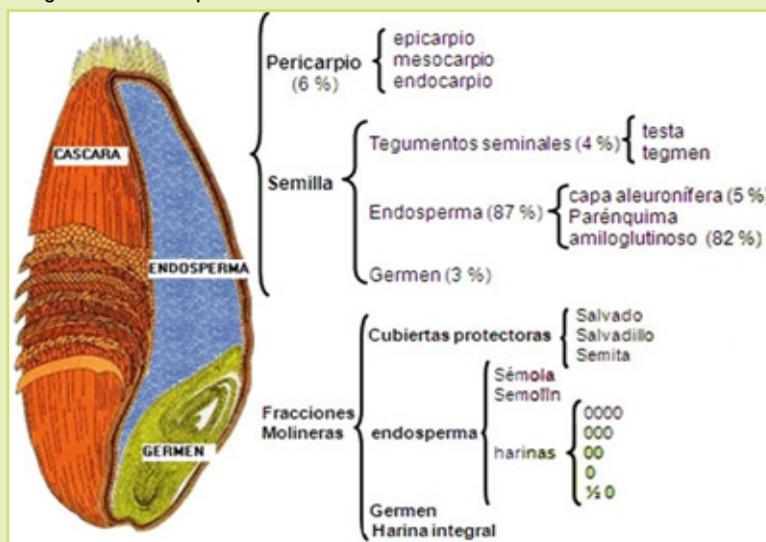


Figura 1. Principales partes morfológicas del grano de trigo, su porcentaje en peso aproximado, y las correspondientes fracciones molineras (adaptado de Wheat Foods Council, 2012).

1.1. Pericarpio

Son las cubiertas protectoras del grano. Representa 4–6 % del peso del grano y se origina por el desarrollo de las paredes del ovario. Durante el proceso de molienda sale como residual, constituyendo parte de lo que se conoce como “afrecho o afrechillo” y “semita”.

1.2. Semilla

Representa 84–86% del peso del grano e incluye tegumentos seminales (testa y tegmen), endosperma (capa aleuronifera y parénquima amilo-glutinosa) y germen o embrión (cotiledón o escutelo, epiblasto,

hipocótilo, mesocótilo y epicótilo). Dado que el pericarpio es transparente, la coloración del grano se debe a la presencia de estos pigmentos en la testa. Dentro de la especie *Triticum aestivum* (trigo pan) hay granos rojos y ambarinos o no coloreados, pero en el país sólo se difundieron cultivares de granos rojos, mientras que los ambarinos están representados por *Triticum durum* (trigo fideos o candeales). La coloración roja es genéticamente dominante. El endosperma representa alrededor del 82 % del peso del grano. La capa aleuronífera representa el 3-4 % del peso del grano, sus células contienen diastasas y proteasas. Durante el proceso de molienda, estas enzimas entran en contacto con el parénquima amilo-glutinoso y actúan sobre el almidón y el gluten desdoblándolos. Por ello se trata que esta capa esté un mínimo tiempo en contacto con la harina; se la hace salir junto con el pericarpio como producto de cola del molino. El parénquima amilo-glutinoso constituye el producto fundamental de la molienda: harina o sémolas (partículas de mayor granulometría). El germen representa entre 2 y 4 % del peso del grano; en el proceso de molienda sale como producto de cola junto a las cáscaras, de las que luego se separa por tamizado, ello es necesario por su elevado tenor en sustancias grasas, su rápido enranciamiento echaría a perder los productos con los que está en contacto.

2. Composición química del grano de trigo

Las distintas partes morfológicas del grano (**Figura 1**) varían en su composición química. Así, el almidón sólo se encuentra en el parénquima amiloglutinoso, mientras que las proteínas están distribuidas en todo el grano. La fibra está casi enteramente en las cáscaras, ya que solamente un 10% de la fibra total se halla en el endosperma y el germen. Aproximadamente la mitad de la grasa total se localiza en el parénquima amiloglutinoso, 1/5 en el germen y el resto en el salvado (siendo mayor el contenido en la capa aleuronífera, que en el pericarpio y la testa). La distribución de las sustancias minerales es semejante a la de la fibra, estando más de la mitad en el pericarpio, testa y aleurona. En la práctica, es útil conocer los porcentajes de los componentes químicos del grano de trigo en relación a los productos de molienda (**Tabla 1**).

Tabla 1. Distribución porcentual de los constituyentes químicos del grano de trigo para los distintos productos de la molienda (según Pomeranz, 1988).

Fracción molinera	Agua	Proteína	Almidón	Azúcares	Fibra	Lípidos	Minerales
Grano	12.5	13.0	66.5	2.5	2.0	1.8	1.7
Harina (75 % extracción)	14.5	11.7	70.0	1.8	0.2	1.2	0.6
Semita	13.0	14.5	34.5	7.0	21.0	5.6	4.4
Salvado	13.5	16.0	15.0	5.5	39.0	4.5	6.5
Germen	13.0	28.0	12.5	16.5	12.5	13.0	4.5

2.1. Proteínas

Las proteínas se encuentran en todos los tejidos del grano existiendo mayores concentraciones en embrión, escutelo y capa aleuronífera. En la **Tabla 2** se presenta la distribución proteica de las distintas partes del grano.

Tabla 2. Distribución porcentual del peso y la proteínica en las diferentes partes del grano.

Partes del grano	Distribución en peso (%)	Distribución proteína (%)
Parénquima amiloglutinoso	82.0	73.0
Pericarpio y tegumentos	9.5	4.0
Capa aleuronífera	5.0	15.0
Escutelo	2.0	4.5
Embrión	1.5	3.5
Total trigo	100	100

Osborne y Voorhees, en el año 1905, identificaron en la harina de trigo cinco proteínas distintas según sus solubilidades. Esta clasificación, si bien es sumamente práctica y sencilla, actualmente se la considera demasiado simplista ya que cada uno de los grupos es muy heterogéneo, formado por proteínas de distinta composición que pueden separarse en base a propiedades electroforéticas o de sedimentación. Las principales características de estas proteínas se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Principales características de las proteínas del grano de trigo según el método de separación Osborne y Voorhees.

Proteína	Soluble en	% del grano	% de la proteína total
Albumina	agua y solución salina diluida	0.3	2.5
Globulina	solución salina diluida	0.6-0.7	5.0
Proteosa	agua	0.3	2.5
Gliadina (prolamina)	alcohol al 70%	4.0	40-50
Glutenina (glutelina)	ácidos o álcalis diluidos	4.0	40-50

Las tres primeras, solubles en agua, tienen poca importancia ya que se presentan sólo en pequeñas cantidades. La gliadina y glutenina son azufrada (1.14 y 1.08% respectivamente), son las proteínas más importantes ya que con el agua y las sales forman el gluten. Cuando la harina de trigo se amasa y esta se lava haciendo circular agua lentamente, se eliminan los gránulos de almidón quedando una sustancia viscosa y elástica conocida como "gluten", el cual es un componente fundamental de la masa de harina de trigo.

El gluten es una sustancia insoluble en agua que se forma a partir de la gliadina y la glutenina cuando la harina se amasa con agua. La glutenina es la proteína estructural que le confiere solidez al gluten. La gliadina es una proteína globular que hidratada es blanda y pegajosa produciendo la ligazón del gluten.

Cuando se hace la masa, las partículas de proteína se expanden uniéndose unas con otras para formar la red esponjosa que retiene los gránulos de almidón (**Figura 2**).

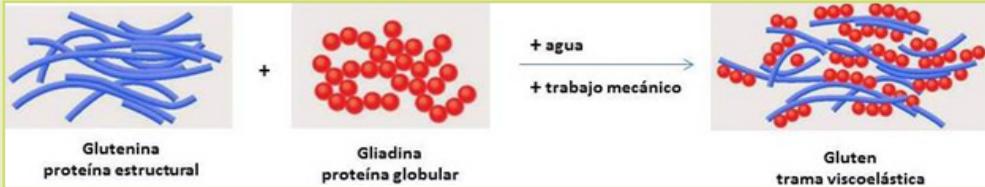


Figura 2. Esquema de la formación del gluten a partir de la glutenina y gliadina (Dupont et al., 2003).

La elaboración de la masa implica la expansión (hinchamiento) y atracción entre gliadinas y gluteninas. Un buen gluten se forma cuando ambos componentes tienen una buena capacidad de hidratación, con lo que se obtiene una gran superficie de contacto, mucha energía superficial y fuerte atracción mutua. Un incremento en el contenido de glutenina aumenta el tiempo de expansión, como consecuencia de la mayor solidez que otorga. Por el contrario, a mayores cantidades de gliadina los glútenes serán más blandos. Los enlaces químicos que se forman entre la gliadina y glutenina durante el amasado, consisten en puentes de hidrógeno (H) y uniones disulfuro. Los puentes disulfuro le confieren a la masa una mejor consistencia, aumentando el tiempo de fermentación. Esta es la principal acción de las sustancias mejoradoras de harina, que no aumentan la producción de dióxido de carbono (CO₂), sino la capacidad de retención de este gas, ya que la masa se hace más elástica y por lo tanto permite obtener un mayor volumen de pan.

2.2. Almidón

El almidón es el hidrato de carbono más importante de los cereales, constituyendo aproximadamente el 60% del grano de trigo y el 70% de su parénquima amiloglutinoso. Es un polímero de la glucosa que se presenta en dos formas: amilosa (aproximadamente el 20% del almidón) y amilopectina (80% restante) (Figura 3). La amilosa contiene de 200 a 300 moléculas de glucosa encadenadas linealmente y la de amilopectina está compuesta por más de 1000 moléculas en cadena ramificada.

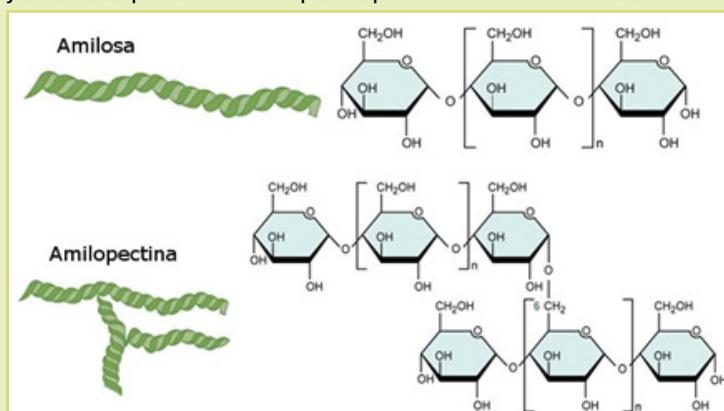


Figura 3. Moléculas de glucosa formando los dos tipos de almidón: amilosa (cadena sin ramificaciones) y amilopectina (cadena con ramificaciones) (según Eliasson et al., 1996).

Almidón dañado: Durante el proceso de molienda del trigo algunos gránulos de almidón resultan alterados generando una fracción de almidón llamada “almidón dañado”. Estos gránulos se pueden reconocer microscópicamente porque producen una coloración roja al tratarlos con una solución de Rojo Congo que por el aspecto que toman se los llama “ghosts” (fantasmas). Se reconocen dos factores como causantes del deterioro de los gránulos: raspado del material durante la molienda (relacionado con las características de la superficie de los rodillos y con la diferencia de velocidad entre estos) y la presión de los cilindros. La proporción de gránulos dañados alcanza un promedio del 9% en las harinas panaderas. Las amilasas de las harinas sólo son capaces de atacar el almidón dañado, por eso es importante que la misma contenga una proporción adecuada de tal almidón, ya que proporciona los azúcares necesarios al proceso de fermentación. Si esta cantidad es excesiva la absorción de agua aumenta y la calidad del pan decae, ya que disminuye su volumen resultando menos atractivo.

Gelificación del almidón: Los almidones naturales son insolubles en agua fría, pero por acción del agua caliente sus gránulos se expanden llegando a romperse si la cantidad de agua es abundante. Este fenómeno se conoce como “gelificación del almidón”. La facilidad con que esto se produce depende de las cualidades del grano. El almidón de trigo comienza a gelificar a una temperatura de 60°C, y a 71°C se obtiene un buen engrudo de almidón. Si bien en panificación la temperatura de cocción es muy superior, el almidón de la masa no se gelifica completamente. Ello se debe a que el tiempo de cocción es reducido y la temperatura que se alcanza en el interior de la masa sólo supera los 90°C en los últimos momentos de la cocción.

2.3. Azúcares

El trigo contiene aproximadamente 2.5% de azúcares solubles, casi en su totalidad como sacarosa (1.5 a 2.0%). El resto está constituido por maltosa. También se encuentran dextrinas y compuestos intermedios entre el almidón y los azúcares. La cantidad de azúcares fermentescibles preexistentes es muy importante en la etapa inicial de la fermentación.

2.4. Fibras

La fracción de fibras está conformada por celulosa, hemicelulosa y pentosanos. La celulosa es el principal constituyente de las paredes celulares de los granos de cereales y forma en conjunto lo que se llama fibra bruta. Es un polímero de la glucosa con uniones beta mucho más estables que el almidón. El disacárido constituyente principal es la celobiosa, mientras que el del almidón es la maltosa. El contenido de fibra del grano de trigo es aproximadamente: 2.0% del peso del grano entero, 0.1% del parénquima amiloglutinoso y 12-14% del salvado.

2.5. Lípidos

El contenido de lípidos en el grano de trigo es del 1 al 2%, en su mayoría glicéridos o grasas, es decir ésteres de la glicerina con ácidos grasos saturados (palmitico) y no saturados (oleico y linoleico). En mucha menor proporción se encuentran fosfolípidos como lecitina y glucolípidos. La distribución de la grasa del grano se presenta en la **Tabla 1**. La grasa, una vez molido el grano, puede sufrir dos tipos de alteraciones: (i) hidrólisis por acción de la enzima lipasa que está presente en el grano y (ii) oxidación que puede ocurrir enzimáticamente por acción de la enzima lipoxidasa, o no enzimáticamente en presencia de oxígeno. Normalmente, en el grano entero, las enzimas y las grasas no están en contacto, pero durante la molienda, entran en contacto provocándose el deterioro de las grasas. Los productos de la hidrólisis de la grasa son glicerina y ácidos grasos. Los granos enteros y sanos contienen pequeñas cantidades de éstos ácidos libres, pero cuando aumentan sus concentraciones, aparece el olor y sabor rancio. En la obtención de harina blanca el germen se separa del endosperma, por lo cual mejora las posibilidades de conservación de ésta.

2.6. Minerales

El 95% de la materia mineral del grano está formada por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El fósforo se presenta principalmente como fosfato mono o di-potásico, si bien parte se encuentra también como ácido fítico. El alto consumo de este ácido favorece la osteoporosis, el cual se encuentra principalmente en el salvado. Entre los elementos menores son importantes el hierro, manganeso y zinc. Los contenidos de sodio, cloro y azufre son algo variables. Además de éstos hay un gran número de otros elementos presentes como trazas. Las sales minerales de la harina tienen su papel en la fermentación contribuyendo a la alimentación de las levaduras, pero también influyen en la formación del gluten.

2.7. Pigmentos

Las xantófilas, carotenos y flavonas, en ese orden son los de mayor significancia. Al molinero, sobre todo en Argentina, le interesan harinas blancas. En cambio, en el caso de los trigos fideos se buscan sémolas amarillas. Los pigmentos se pueden destruir por medio de compuestos químicos “blanqueadores”, los que generalmente son oxidantes. Existe una enzima, la lipoxidasa, que destruye los pigmentos y su contenido tiene particular importancia en los trigos fideos, ya que les resta color.

2.8. Enzimas

Las enzimas se las suele definir como catalizadores biológicos, todas son compuestos nitrogenados, generalmente con una base proteica. Las enzimas del grano del trigo más relevantes desde el punto de vista de la molienda son las diastásicas y las proteásicas.

Enzimas diastásicas: En el trigo existe un conjunto de enzimas diastásicas que se localizan principalmente en el germen, pero que están distribuidas en todo el grano. La diastasa consta de dos componentes: alfa-amilasa y beta-amilasa. La acción de la diastasa consiste en catalizar la degradación del almidón a maltosa y dextrina. La alfa-amilasa produce fundamentalmente dextrina y maltosa, mientras que la beta-amilasa produce maltosa. Si bien el mecanismo de las reacciones químicas es complicado, la siguiente ecuación indica la naturaleza de dicha reacción:



La alfa-amilasa ayuda a la beta-amilasa en la producción de maltosa. Así, la concentración de alfa-amilasa determina que se forme la suficiente cantidad de maltosa durante la fermentación, para que las levaduras puedan mantener la producción de CO₂ en las últimas etapas del proceso, particularmente en el período de maduración final. Normalmente, el contenido natural de alfa-amilasa de la harina de trigo sano es insuficiente para lograr una buena fermentación. Se estima, sin embargo, que la cantidad de maltosa que se produce, está limitada por la cantidad de almidón dañado disponible.

Enzimas proteásicas: Existe también un grupo de enzimas proteolíticas, principalmente localizadas en la capa aleuronífera, que cuando son incorporadas en exceso a la harina resultan perjudiciales. Actúan sobre el gluten haciéndole perder resistencia y elasticidad, disminuyendo su capacidad de retención de CO₂. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que es necesaria cierta proteólisis que favorezca la distensión de la masa durante la fermentación para permitir el desarrollo de un adecuado volumen. Esta acción de reblandecimiento, producida en parte por las proteasas, se conoce como la maduración de la masa.

2.9. Vitaminas

Es importante la presencia de vitaminas del grupo B y E principalmente en la capa aleuronífera y en el germen. Las del complejo B tienen particular importancia en la asimilación de los hidratos de carbono. Actualmente es obligatorio por Ley Nacional 25630, enriquecer las harinas de trigo en los molinos con hierro y vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, ácido fólico y niacina) en cantidades estipuladas.

3. Molienda del grano de trigo

Los métodos desarrollados para separar los componentes del grano de trigo son el resultado de las particularidades del grano. En el grano de trigo, las envolturas (pericarpio y tegumentos seminales) penetran longitudinalmente dentro del endosperma hasta aproximadamente la mitad de su espesor, dependiendo de la variedad, generando el denominado “surco”. Este diseño tan particular que sólo se presenta en este cereal, impide separar simplemente por raspado o pulido el endosperma de las cubiertas y del germen. En consecuencia, se debe primeramente partir el grano para luego, por raspado o pulido de los trozos, proceder a la separación de los componentes. Llegado a este punto, se tendrá una mezcla de partículas formadas por distintas partes del grano, de diferentes tamaños y formas. La separación se deberá realizar por tamices de distinta abertura, repitiéndose el proceso un cierto número de veces, a ello se denomina “molienda gradual”. Pero para que la molienda resulte eficiente, la dureza del endosperma y su uniformidad deben ser adecuadas.

Debido a la forma del grano de trigo su molienda es gradual: se inicia rompiendo el grano y luego por medio de varios ciclos de raspado y tamizado se logra la separación de sus componentes.

3.1. Dureza del endosperma

En el caso del trigo pan el concepto de dureza está íntimamente relacionado con la facilidad o dificultad que presenta en el proceso de molienda, en el que se intenta separar cada una de sus fracciones que, a grandes rasgos son pericarpio, endosperma y germen. Al romper con un esfuerzo mecánico limitado el grano de trigo se obtienen partículas de diferentes tamaños (grandes, medianas y pequeñas) porque la dureza de sus componentes no es la misma. Cuando mayor sea la dureza, mayor será la cantidad de partículas grandes y mayor la eficiencia para separar el endosperma del pericarpio y del germen, sin contaminación de subproductos. Durante el proceso de acondicionamiento es posible adecuar la humedad del grano a moler, pero el límite máximo dependerá de la resistencia del endosperma. Si las partículas de endosperma puro o con cáscara son grandes, su limpieza o separación con corrientes de aire resultará efectiva. Por el contrario, si las partículas son pequeñas, la separación con tamices será mala. En resumen, el rendimiento de harina libre de cubiertas protectoras está íntimamente relacionado con la dureza del endosperma. La dureza es una propiedad intrínseca del grano, que se expresa como su resistencia a la acción mecánica, que está controlada por características genéticas modificadas por las condiciones ambientales.

3.2. Tipos comerciales de granos

Hace ya varios años, la Junta Nacional de Granos, en base a valores analíticos (**Tabla 4**), clasificó al trigo argentino en cuatro tipos comerciales. Para trigos duros y superduros también se exigía elevado peso hectolítrico y peso de mil granos, y elevada concentración de proteína y gluten. Si bien no todas esas categorías se comercializan actualmente, esta clasificación continúa siendo útil como referencia.

Tabla 4. Categorías comerciales de trigo de la Junta Nacional de Granos (basada en cuatro métodos analíticos).

Tipo de trigo	Pelshenke	Berliner	Zeleny	W alveográfico
	(min)	(cm ³)	(cm ³)	(J 10 ⁻⁴)
Blando (soft)	< 40	2 – 4	< 30	150 - 200
Semiduro (filler o de relleno)	40 – 90	4 – 8	40 – 45	200 - 300
Duros	> 90	> 8	45 – 60	300 - 400
Superduros (duros A)	—	—	> 60	> 400

Actualmente, desde el punto de vista de la industria molinera, se define al trigo duro (no confundir con *Triticum durum*) como el grano de *Triticum aestivum* que cumple simultáneamente con los siguientes requisitos:

- Debe ser físicamente duro, o sea resistente a la disminución de tamaño por acción mecánica. En consecuencia, durante el proceso de molienda industrial debe dar bajo rendimiento de harinas de rotura, con gran cantidad de sémolas gruesas, medianas y finas.
- El endosperma debe presentar una estructura semicristalina o córnea y una fuerte interacción química entre proteínas, almidón y sus otros constituyentes.
- Debe presentar valores de proteínas, gluten, W alveográfico, absorción de agua y estabilidad farinográfica apropiados para las distintas industrias de panificación.

Por su parte, se puede definir al trigo blando como el grano de *Triticum aestivum* que no cumple simultáneamente con los ítems a, b, y c. Tal grano no es apto para la industria de la panificación, pero sí para la galletitera. Finalmente, el trigo semiduro queda definido como el grano de *Triticum aestivum* que cumple con solamente algunos de los ítems a, b, y c, es decir, presenta valores intermedios entre duro y blando.

El trigo duro es apto para la industria panadera.

El trigo blando no es apto para la panificación, pero sí para la galletitería.

En el grano de trigo existen tres zonas, bien diferenciadas en el endosperma (**Tabla 5**) que difieren en sus características, principalmente el contenido de sustancias minerales (cenizas): central, media y periférica.

Tabla 5. Principales características de las distintas zonas del endosperma del grano de trigo, en función de su molienda.

Endosperma	Cenizas (%)	Proteína	
		Cantidad (%)	Calidad
Total	0.6	10.5	
Centro	0.4	9.0	muy buenas
Medio	0.5	11.0	intermedias
Periferia	1.5	13.0	regular

3.3. Industria molinera

La obtención de harina blanca en la industria tiene varias etapas: recepción y almacenado de grano, limpieza, acondicionamiento, molienda y almacenaje de los productos terminados.

Recepción y almacenado: El grano de trigo que se recibe es analizado comercialmente a fin de evaluar si cumple con el Estándar Comercial correspondiente. Luego se puede realizar una molienda experimental para analizar la calidad industrial y con estos resultados se clasifica el trigo. El grano, antes de ser almacenado, pasa por una limpieza que consta de una zaranda que separa las impurezas grandes y, de canales de aspiración que se llevan las impurezas livianas. Luego se lo acopia en silos.

Limpieza: Antes de moler el trigo hay que eliminar todo lo que no es grano, pues hay semillas que manchan la harina, otras que la perfuman e incluso hay otras que sin ser tóxicas reducen el valor nutritivo de la harina y actúan como diluyente. Incluso puede contener elementos dañinos para el propio molino. Este proceso consta de tres etapas: limpieza en seco, acondicionamiento (mojado y reposo de grano) y limpieza húmeda. La limpieza en seco se realiza con varios equipos, entre los más importantes se encuentran: separadores magnéticos, máquinas pulidoras, zarandas, canales de aspiración, separadores a disco, mesa densimétrica, y clasificadoras ópticas. Las impurezas que no se removieron en la limpieza seca son eliminadas en la limpieza húmeda, la que se efectúa después de la etapa de acondicionado.

Acondicionamiento: Consiste en dosificar humedad al grano de trigo (entre 15 a 17%) y dejarlo en reposo por 10 a 30 horas. En esta operación se logra que el salvado sea menos quebradizo, aumentando la facilidad de separación en la molienda entre el endosperma y el salvado y mejorando la disgregación del endosperma para que la harina sea más fácil de cernir. Así, se logra que la harina se contamine menos con escamas de salvado y por lo tanto será más blanca y con menor contenido de cenizas. Existe un contenido óptimo de humedad para la molienda, si es muy alto aumenta la cohesión entre el salvado y el endosperma, por lo cual será más difícil de separar y también será más difícil la separación de las partículas por cernido. También debe considerarse la humedad máxima requerida en los productos que se elaboran. El contenido máximo de humedad permitido en la harina es de 15% (Código Alimentario Argentino, 1992).

Molienda: La “molienda gradual” es un proceso continuo de ruptura del grano y clasificación de los fragmentos hasta obtener el máximo rinde de harina con el menor contenido mineral. Consiste en la separación del endosperma del resto de los componentes del grano, la purificación de los trozos de endosperma (llamados sémola y semolín) y su transformación en harina por reducción de tamaño. La molienda consta fundamentalmente de dos etapas bien diferenciadas: rotura del grano y reducción de tamaño de las partículas.

3.3.1. Molino experimental

La molienda es un proceso complejo. A fin de facilitar su comprensión se explicará en primer término el proceso en un molino experimental o de laboratorio “Bühler MLU 202” (**Figura 4**) y en segundo término se explicarán las diferencias entre el molino experimental y uno industrial.

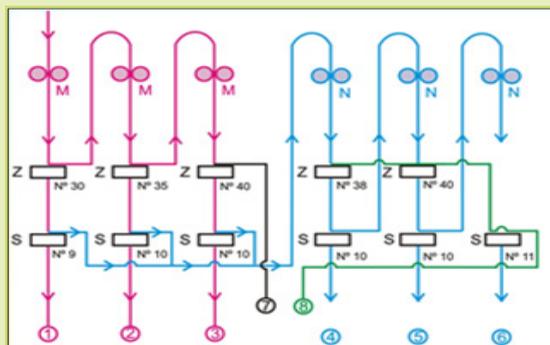


Figura 4. Esquema del molino experimental Bühler MLU 202. M: cilindros de rotura (estriados), N: cilindros de reducción (lisos), Z: zarandas de alambre, S: zarandas de seda, 1: harina de primera rotura, 2: harina de segunda rotura, 3: harina de tercera rotura, 4: harina de primera reducción, 5: harina de segunda reducción, 6: harina de tercera reducción, 7: afrecho, 8: semita (según Manual de molino Bühler MLU 202).

Roturas: La rotura o apertura del grano se logra cuando éste pasa entre dos cilindros (M, **Figura 4**) cuyas superficies poseen un estriado particular y que giran a distinta velocidad, los cuales logran abrir el grano rompiendo muy poco las cubiertas protectoras (pericarpio). Este par de cilindros se denomina “primera rotura”, el producto de su molienda cae sobre un juego de tamices superpuestos, con movimiento circular accionado por una rueda excéntrica, llamado “plansifter”, el primero de alambre con mayor abertura (N°30, **Figura 4**) y el segundo de seda más cerrado (N°9, **Figura 4**). El producto grueso, parcialmente molido es rechazado por el tamiz de alambre y va al par de cilindros de “segunda rotura”. El producto intermedio que pasa el tamiz de alambre y es retenido por el tamiz de seda (sémolas, semolines, con y sin cáscara adherida) es enviado al primer par de cilindros lisos. El producto pasante del tamiz de seda es harina de primera rotura (1, **Figura 4**). Este proceso se repite en los otros dos pares de “cilindros de rotura o rayados”. La diferencia entre los cilindros de rotura es el número de estrías y la separación entre cilindros, al ser menor el tamaño de la partícula que entra aumenta la cantidad de estrías y se reduce la luz. Los productos que se obtienen en la segunda y tercera rotura son tamizados en otros dos plansifter. En cada uno de estos pasajes se obtienen sémolas y semolines más pequeños, que junto con los de la primera rotura van al primer cilindro liso. Además, se obtienen harinas de segunda y tercera rotura (2 y 3, **Figura 4**). El rechazo del tercer tamiz de alambre (N° 40, 7, **Figura 4**) sale del proceso como una mezcla de afrecho, afrechillo y germen.

Reducciones: En el molino de laboratorio las sémolas de diferente tamaño, con o sin pericarpio proveniente de las tres roturas, son conducidas al primer par de cilindros lisos. Los cilindros lisos (N, **Figura 4**) reducen el tamaño de las sémolas grandes a más pequeñas hasta convertirlas en harina, pero también producen el laminado del pericarpio que las acompañan, aumentando su tamaño y facilitando así la limpieza de los productos. Las sémolas que pasan al primer juego de cilindros lisos caen sobre un tamiz de alambre (N°38, **Figura 4**), cuyo rechazo son cáscaras de trigo, e.d. pericarpio laminado con algo de endosperma que salen del proceso. El material pasante llega a un tamiz de seda (N°10, **Figura 4**) cuyo rechazo va al segundo par de cilindros lisos y el producto que atraviesa el tamiz es harina de primer liso (4, **Figura 4**). En el molino experimental de la **Figura 4** las reducciones se repiten tres veces, obteniéndose tres harinas (4, 5 y 6, **Figura 4**) y un rechazo de los tres pasajes conocido como “semita” (8, **Figura 4**). Finalizada la molienda, en el molino experimental se obtienen: (i) tres harinas de rotura, (ii) tres harinas de reducción, y (iii) dos subproductos: afrecho o salvado junto al germen y semita. La harina total es el conjunto de todas las harinas.

3.3.2. Molino industrial

Un molino industrial tiene dos roturas más que el de laboratorio (cinco en total) con sus respectivos plansifter, efectuándose un proceso semejante al experimental en otra escala. Otra diferencia importante en los molinos industriales es que los caudales de sémolas gruesas, intermedias y finas provenientes de las tres primeras roturas, antes de ir a los cilindros lisos, pasan por “sasores”. Estos separan partículas por tamaño y por peso específico. Básicamente se trata de un tamiz inclinado, atravesado perpendicularmente por una corriente de aire regulable. Al tener el pericarpio menor peso específico que el endosperma las partículas de sémola limpias entran en contacto con el tamiz y lo atraviesan, mientras que las que tienen cáscara adherida flotan y llega al final del tamiz. En consecuencia el sasor es un accesorio purificador de sémolas.

Los flujos de sémolas provenientes de los cilindros de rotura son enviados a los distintos cilindros lisos. El afrecho, al igual que en el molino experimental, cuando pasa la última rotura sale del proceso, sin endosperma adherido. Además, hay máquinas cepilladoras o terminadoras de afrecho y afrechillo con el objetivo de aumentar el rendimiento de harinas de rotura despegando la harina adherida a las cáscaras. Los productos obtenidos en los cilindros lisos pasan a través de los plansifters donde se separa las partículas más gruesas de harina que ingresan nuevamente a la molienda. En el molino industrial hay hasta 10 pares de cilindros lisos para obtener la mayor cantidad de harina posible.

En la industria se obtienen harinas 000, 0000, sémolas y semolines (según la denominación del Código Alimentario Argentino, 1992). La harina 0000 está conformada por la suma de las harinas que se obtienen en los tres primeros cilindros lisos. La suma de las harinas que se obtienen en el resto de los pasajes constituye la harina 000. Para obtener sémolas y semolines, se debe desviar la sémola que entra al primer par de cilindros lisos a un sasor donde se limpia, separando las partículas con cáscaras de las partículas de sémolas y semolines puras. En la industria también se produce salvado, germen y semita. El rechazo del último par de cilindros lisos constituye la semita conformada por la cubierta del grano molida y harina. Es una mezcla muy fina de cáscaras y harinas que se utiliza para alimento balanceado. El germen se separa de la molienda en los plansifters de los cilindros lisos y pasa a la sección de embolsado. Industrialmente la diferencia entre afrecho o salvado y el afrechillo o salvadillo es solamente el tamaño; mediante tamices apropiados se pueden separar las partículas grandes (salvado) de las más pequeñas (salvadillo) dependiendo de los requerimientos de los compradores de estos materiales.

Almacenaje y embolse de productos terminados: Los distintos productos terminados en el molino se almacenan en silos de chapa o de material. Los productos se embolsan por medio de máquinas automáticas y de ahí por medio de cintas transportadoras son enviados a los depósitos desde donde se hace su distribución, o son cargados al granel.

4. Métodos de evaluación de la calidad de la harina de trigo

La calidad de un pan es fundamentalmente el resultado en la calidad de la harina con que se fabrica y ésta, es el resultado del trigo que se muele, cuya calidad se define a campo como resultado del cultivar, las condiciones ambientales y el manejo del cultivo. Dada la diversidad de usos del grano de trigo resultaría conveniente separar los granos desde la cosecha para satisfacer los diferentes mercados; sin embargo, en Argentina no se ha implementado aun tal sistema.

4.1. Principales factores que influyen sobre la calidad de la harina

a) **Genéticos:** un trigo duro (hard) tiene una constitución genética diferente de uno blando (soft) y, en igualdad de condiciones ambientales, dará harina con parámetros de calidad distintos, apta para otros usos. Del mismo modo, la composición proteica es característica de cada cultivar, incluso puede utilizarse para identificarlos.

b) **Ambientales:** Ejercen su influencia durante todo el ciclo del cultivo, pero son decisivos durante el llenado del grano. Por ejemplo, las altas temperaturas en el llenado modifican la cantidad y composición de las proteínas de reserva, aumentada la relación gliadina/glutenina ya que la síntesis de gliadinas es menos afectada por el calor. En tal caso, se obtendrán masas más débiles y pegajosas que darán panes chatos y pesados. Cuando las condiciones ambientales durante el llenado del grano son desfavorables, se obtendrán granos flacos, incluso chuzos, de bajo peso hectolítrico y mayor proporción de proteínas por menor acumulación de almidón. Estos granos tendrán bajo rendimiento molinero y alto gluten. La situación inversa, con condiciones durante el llenado más favorables que las habituales, favorecen la presencia de grano “panza blanca” (por su baja concentración de nitrógeno) proporcionalmente más ricos en hidratos de carbono, de alto rendimiento molinero y bajo contenido de gluten. La ocurrencia de lluvias frecuentes entre la madurez y la cosecha puede producir el grano “lavado” (granos no cristalinos) sin modificaciones internas, pero, opaco y con menor peso hectolítrico. Un período prolongado de humedecimiento del grano luego de su madurez por lluvias sucedidas puede ocasionar la ruptura de la dormancia e iniciarse la germinación del grano en la planta produciendo “grano brotado”, con altos valores de actividad alfa-amilásica, dando masas no panificables.

c) **Culturales:** La fertilización nitrogenada tiene un efecto fundamental con todos los aspectos de la calidad en los que participan las proteínas. Por otra parte, la fecha de floración es importante para situar al período de llenado del grano en el momento más adecuado para expresar la calidad intrínseca del cultivar. Ambos factores inciden directamente en la calidad del grano, mientras que otros factores (densidad de siembra, manejo sanitario e hídrico del cultivo) inciden más indirectamente a través del rendimiento.

d) **Bióticos:** Presencia de granos de malezas en el trigo cosechado, granos enfermos y dañados por plagas, se asocian con pérdidas de calidad. Cada cereal tiene un ítem en la comercialización en el que se presta atención a algunos factores abióticos en particular; en trigo la presencia de trébol de olor, granos con carbón, granos picados y roídos, es especialmente castigada.

e) **Poscosecha:** La cosecha con humedad superior al 16% (2% por encima de la humedad de comercialización) exige el secado de los granos para su almacenamiento. El proceso es delicado y si no se realiza adecuadamente puede provocar alteraciones desfavorables de en la calidad. Las buenas condiciones de almacenamiento son indispensables para evitar el ardido, brotado y fermentado, como así también la proliferación de daños por insectos (“granos picados”, “germen roído” por gorgojos y/o carcomas y/o palomitas).

4.2. Evaluación de la calidad industrial

La evaluación de las características del grano de trigo y su harina, y la predicción de su posible comportamiento en la panificación revisten hoy una importancia mucho mayor que antes, debido a la expansión de los métodos de amasado continuo y las instalaciones automáticas. Algunos de los métodos utilizados para evaluar la calidad se basan en la medición de dos relaciones primordiales de las masas:

- a) La capacidad de retener el gas producido durante la fermentación: relacionada con la concentración y calidad del gluten de la harina.
- b) La capacidad de producir gas: relacionada con el nivel de enzimas y la cantidad disponible de azúcares fermentescibles.

Otros métodos miden el comportamiento frente a esfuerzos físico-químicos de una mezcla de harina y agua, lo que se denomina propiedades “reológicas” de la masa. Las propiedades reológicas se pueden definir por las siguientes medidas físicas:

- a) Resistencia de la masa al amasado.
- b) Fuerza necesaria para producir la ruptura por una determinada deformación.
- c) Extensibilidad, definida por la elongación máxima que se produce durante un estiramiento.
- d) Energía puesta en juego para lograr la deformación.

Con respecto a la capacidad de la masa para producir gas, el punto de partida es la fermentación por medio de la levadura o fermento. Durante el proceso, las enzimas de la levadura transforman los azúcares preexistentes en la harina y los provenientes de la acción diastática sobre el almidón, en CO₂ y alcohol. El CO₂ es el responsable del aumento de volumen de la masa lo que dará, según sea su producción, un pan de mayor o menor volumen. Existen métodos para medir la actividad diastática de la harina, su contenido de azúcares y su capacidad para desprender gases durante el reproceso fermentativo.

4.3. Métodos orientativos o aproximativos

Las características generales de estos métodos son:

- a) Requieren muy poca cantidad de muestra (3 a 10 g) lo que permite su uso en filiales tempranas de mejoramiento genético.
- b) Son muy influenciados por la habilidad del operador.
- c) Emplean harina integral, con excepción del método de Zeleny que usa harina blanca.

Este grupo incluye tres métodos: Pelshenke, Berliner y Zeleny, se describe solamente el primero por ser el más difundido.

Método Pelshenke: Consiste en hacer una bolita de masa con harina integral y una suspensión de levadura, se la coloca en un vaso con agua a temperatura constante de 32°C, la cual inicialmente se hunde hasta el fondo del vaso. A medida que avanza el proceso fermentativo, el CO₂ producido es retenido por la red proteica formada por el gluten y al disminuir el peso específico de la masa, esta va ascendiendo y se mantiene flotando un tiempo variable. Cuando la presión del gas producido vence la tenacidad del gluten, la bolita se desintegra y cae. El tiempo transcurrido desde que se coloca la bolita en el vaso hasta su caída, es el tiempo total de fermentación (TTF) y se expresa en minutos. Si la bolita cae entera se toma el tiempo en el momento en que un extremo de la masa toca el fondo del vaso. Si cae desintegrada se espera a que se deposite 1/3 de la masa. Como los tiempos absolutos son influenciados por distintos factores, por ej. actividad de la levadura, en cada tanda de muestras se coloca un testigo o patrón, de TTF conocido; dividiendo el tiempo del patrón por el promedio de la tanda, se obtiene un factor de corrección (FC), luego el tiempo de cada muestra se multiplica el FC, lo que permite comparar resultados de distintas tandas. Se trabaja con 3 g de harina integral y 1.8 cm³ de solución de levadura al 10 %. La escala que se usa para interpretar los resultados es:

- a) trigos blandos: 0 – 40 min
- b) trigos semiduros: 40 – 90 min
- c) trigos duros: > 90 min

4.4. Métodos precisos o exactos

Las características de estos métodos se oponen a la de los orientativos:

- a) Requieren mayor cantidad de muestra (150 – 300 g).
- b) El trabajo lo realiza un mecanismo, la influencia del operador es mucho menor.
- c) Se emplea harina blanca.
- d) Los resultados se registran a través del tiempo volcándose en gráficos.

Estos métodos se pueden clasificar en tres tipos: (i) evaluación de la estructura de la masa, (ii) determinación de la producción y retención gaseosa y (iii) determinación de la actividad diastásica.

4.4.1. Métodos que evalúan la estructura de la masa

Permiten conocer los siguientes parámetros:

- a) Capacidad de absorción de agua.
- b) Consistencia que pueden alcanzar las masas luego de un período de amasado.
- c) Capacidad de la masa para soportar distintos esfuerzos mecánicos.
- d) Posibilidad de dar panes de mayor o menor volumen.

Según su principio de funcionamiento estos métodos pueden clasificarse en: amasadoras registradoras y extensógrafos.

4.4.1.1. Amasadoras registradoras

Registran las reacciones de la masa frente a un trabajo mecánico, la obtención de la estructura óptima, su permanencia en ese estado y su posterior ablandamiento o caída. En este grupo se incluyen: el farinógrafo de Brabender y el mixógrafo de Swanson y Working (se describe solamente el primer método por ser el más difundido).

Farinógrafo de Brabender: Registra los cambios que el amasado produce en la estructura de la masa. Las variaciones de fuerza que hacen las paletas mientras trabajan la masa, se registran en un dinamómetro que transcribe el resultado en un gráfico en función del tiempo de amasado (Norma 15855, IRAM, 2000). Este método forma parte de los análisis de calidad que deben presentarse para la inscripción de los nuevos cultivares de trigo y se utiliza para establecer el tipo comercial y grupo de calidad al cual pertenece el nuevo cultivar. Para realizar la prueba se coloca harina blanca en la amasadora y se agrega una cantidad de agua para lograr una consistencia establecida (500 unidades Brabender, UB). El dispositivo registra la respuesta de la masa a los esfuerzos mecánicos en un gráfico en función del tiempo llamado “farinograma” (**Figura 5**), sobre el que se determinan los valores que permiten interpretar la calidad de la harina:

- a) Absorción (%): cantidad de agua que es necesario agregar a la masa para lograr la consistencia patrón de 500 UB.
- b) Desarrollo (minutos): es el tiempo que transcurre desde que comienza a formarse la masa a partir del agregado de agua hasta que la curva llega a su punto máximo.
- c) Estabilidad de la masa (minutos): es el tiempo que permanece la masa en su máxima consistencia, paralela a la línea de 500 UB.
- d) Estabilidad sobre la línea de 500 UB (minutos): tiempo que transcurre desde que la parte superior de la curva toca la línea de 500 UB hasta que la abandona.
- e) Decaimiento o debilitamiento de la masa (UB): es la diferencia que hay (medida en el eje Y) entre el centro de la curva al abandonar el máximo y el centro de la curva a los 12 min de empezar a caer.

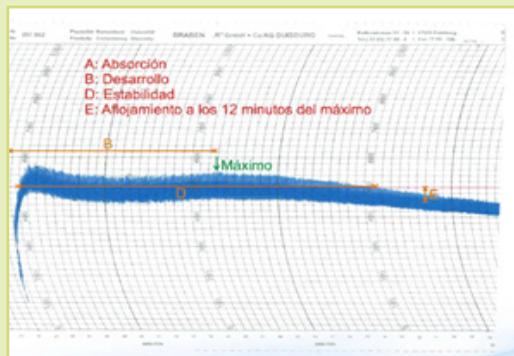


Figura 5. Ejemplo de farinograma con 58 % de absorción, 13 min de desarrollo, 21 min de estabilidad y 45 UB de decaimiento a los 12 min del máximo.

Actualmente, los equipos electrónicos calculan en forma automática todos los valores. Al relacionar los valores anteriores con la panificación se puede decir que: (i) cuanto mayor sea la absorción mayor será el rendimiento en masa y mayor el volumen de pan con una determinada cantidad de harina; (ii) cuanto menor sea el tiempo de desarrollo menor deberá ser el amasado; (iii) cuanto mayor sea la estabilidad mayor deberá ser el tiempo de fermentación y mayor el esfuerzo que puede soportar esa masa; (iv) cuanto mayor sea el decaimiento menor deberá ser el tiempo de fermentación y menor el esfuerzo que puede soportar esa masa.

4.4.1.2. Extensógrafos

Miden y grafican la respuesta de las masas a un esfuerzo mecánico de deformación cuando se las estira, se deforman y se analiza el modo en que reaccionan. A este grupo pertenecen: el alveógrafo de Chopin y el extensógrafo de Brabender (se describe solamente el primer método por ser el más difundido).

Alveógrafo de Chopin: Se basa en la deformación de una película de masa mediante volúmenes de aire conocidos hasta que el alveolo (burbuja) producido no puede resistir más la presión del aire y se rompe (Norma 15857, IRAM, 2012). Este método forma parte de los análisis de calidad que deben presentarse para la inscripción de los nuevos cultivares de trigo y se utiliza para establecer el tipo comercial y grupo de calidad al cual pertenece el nuevo cultivar. Para realizar la determinación se prepara la masa con harina, agua y sal. Terminado el amasado se corta la masa en discos, se dejan reposar y se insuflan con aire. La presión interna que se origina en la masa se relaciona con la fuerza de resistencia a la deformación la cual es graficada en función del tamaño del alveolo. El gráfico obtenido se denomina alveograma (**Figura 6**), las 5 curvas correspondientes a cada disco de un ensayo permiten trazar un diagrama medio, del cual se obtienen los siguientes parámetros:

- Altura de la curva (P, mm): representa la “tenacidad” de la masa.
- Longitud de la curva (L, mm): va desde el comienzo de las curvas hasta el punto donde cae verticalmente la curva media como consecuencia de la ruptura del alvéolo; junto con G representan la “extensibilidad” de la masa.
- Índice de hinchamiento (G): es el promedio del volumen de aire insuflado para formar y romper el alveolo; representa la extensibilidad de la masa la cual está en relación directa con la longitud (L) del diagrama.
- Índice de estabilidad o equilibrio (P/L o P/G): es la relación que existe entre la tenacidad y la extensibilidad de la masa.
- Trabajo de deformación (W, joules 10^{-4} o ergios 10^3): es el trabajo mecánico necesario para deformar 1 g de masa desde el estado inicial compacto hasta su rotura, representa la superficie por debajo de la curva del alveograma. Expresa la “fuerza” de la masa y el poder corrector de los trigos.

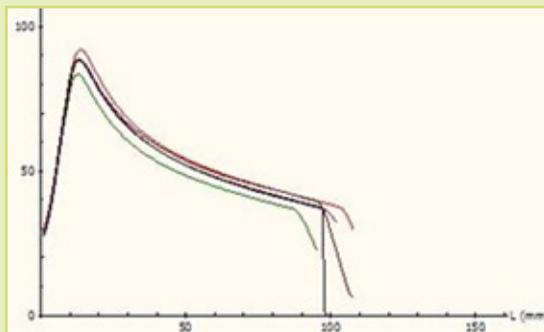


Figura 6. Ejemplo de alveograma con los siguientes valores promedios (cada curva corresponde a una repetición de la misma muestra): $P = 97 \text{ mm}$, $L = 96 \text{ mm}$, $G = 21,8 \text{ cm}^3$, $W = 343 \cdot 10^{-4} \text{ J}$, $P/L = 1,01$, $le = 64.6 \%$, $W40 = 175 \cdot 10^{-4} \text{ J}$.

El valor de W caracteriza en forma bastante precisa la calidad industrial del grano, resultado altamente influenciado por el cultivar. Los trigos se pueden clasificar en función del W de la siguiente manera:

- a) Blandos (soft): $150 - 200 \text{ J } 10^{-4}$
- b) Semiduros (filler o relleno): $200 - 300 \text{ J } 10^{-4}$
- c) Duros: $300 - 400 \text{ J } 10^{-4}$
- d) Superduros (duros A): $> 400 \text{ J } 10^{-4}$

Se pueden establecer asociaciones entre los valores alveográficos y las características de las masas:

- a) P bajo; L bajo; W bajo: Masas quebradizas, plásticas y cortas, son masas inertes, la casi totalidad del CO_2 producido durante la fermentación escapa, por lo tanto se obtiene una masa fermentada de poco volumen.
- b) P alto; L bajo; W medio: Masas cortas y compactas, que desarrollan con mucha dificultad durante la fermentación pues su extensibilidad no es suficiente, dando poco volumen.
- c) P medio; L medio; W alto: Masas elásticas y extensibles, vivas, corresponden a una harina fuerte, con propiedades óptimas para trabajos largos; poseen buena tolerancia a la fermentación, una vez fermentadas dan masas de fácil ablandamiento y aguante satisfactorio.
- d) P bajo; L alto; W bajo: Masas extensibles, fluidas, blandas; durante la fermentación se aflojan y adoptan una forma baja, tienen tendencia a deshacerse; poseen poca tolerancia a la fermentación (fermentan rápidamente), el trabajo debe ser rápido; dan panes planos porque el volumen es bajo; con excesiva fermentación se deshacen.

4.4.2. Métodos que determinan producción y retención gaseosa

Dentro de este grupo se describen tres métodos: zimotaquígrafo de Chopin, fermentógrafo de Brabender y reofermentógrafo de Chopin (se describe solamente el primer método).

Zimotaquígrafo de Chopin: Es un equipo que mide producción y capacidad de retención gaseosa. Para realizar la prueba, la masa se prepara en el alveógrafo con harina, sal, levadura y una cantidad de agua que depende de la humedad de la harina y del valor P del alveógrafo. La masa se coloca en una cuba a temperatura constante, cerrada herméticamente, conectada a un registrador volumétrico, en forma directa o intercalando en el circuito un frasco de absorción de CO_2 . En un gráfico se registra el caudal correspondiente al paso del aire con y sin CO_2 . En una primera etapa, la masa retiene todo el CO_2 producido expulsando el aire, por lo cual los trazos del gráfico con y sin CO_2 resultan similares, la duración de este período depende de la calidad de la harina. Luego la masa va perdiendo CO_2 , el

cual se mezcla con el aire de la cuba. Como la proporción de CO₂ en el aire aumenta, los trazos correspondientes al paso del aire sin CO₂ va disminuyendo respecto del trazo del aire con CO₂. El momento (medido en horas) en que la masa comienza a desprender CO₂, es el punto de máxima fermentación; el volumen total de gas producido se relaciona con el volumen máximo que podría alcanzar la pieza de masa, éste es muy variable y depende de la harina. El coeficiente de retención (R) se obtiene dividiendo la diferencia entre el volumen total de gas y el volumen de CO₂ perdido, por el volumen total de gas. Este índice es muy útil pues expresa la fuerza de la harina; valores cercanos a 1 dan idea de una harina fuerte, valores inferiores indican una disminución de la fuerza. El reofermentógrafo de Chopin es un zimotaquígrafo modernizado.

4.4.3. Métodos de determinación de actividad diastásica

La actividad diastásica es la capacidad de producir azúcar en un intervalo de tiempo. Este grupo incluye dos métodos: falling number y amilógrafo de Brabender; se describe solamente el primer método por ser el más difundido.

Falling number (Índice de caída): Se basa en medir el tiempo de fluidificación (degradación) del engrudo de almidón, correspondiente a la primera fase de actividad de la alfa-amilasa, bajo condiciones similares a las del proceso de cocción. La prueba consiste en efectuar una rápida gelificación del almidón, introduciendo un tubo con una mezcla de harina y agua en un baño de agua hirviendo agitando la suspensión mecánicamente; al cabo de 1 min de la inmersión se detiene el agitado dejando caer un vástago hasta el fondo del tubo por su propio peso. Se mide el tiempo (segundos) desde el momento de inmersión hasta que el vástago alcanza el fondo (“tiempo de caída”), el cual es una medida de la actividad alfa-amilásica. Esta prueba se utiliza para la detección de granos brotados (Norma 15862, IRAM, 2003).

4.5. Ensayo de panificación

Se trata de un ensayo de panificación en laboratorio (Norma 15858-1, IRAM, 1996), en teoría es el método ideal para averiguar en forma fehaciente las características de una harina, mediante la visualización del comportamiento de la misma al transformarse en masa y posteriormente en pan. La validez del ensayo depende de que tan realista sea el método de panificación respecto del que se utilizará en las panaderías o industria. En Argentina, cuando se solicita la inscripción de un nuevo cultivar, el legajo debe incluir resultados de pruebas reológicas y de panificación. Al evaluar la calidad del pan se tienen en cuenta los siguientes aspectos: peso del pan, volumen del pan, características externas (color de corteza y simetría) y características internas (color de miga, tamaño y distribución de alveolos y textura).

4.6. Determinaciones complementarias

Este grupo incluye métodos importantes, cuyos datos en forma aislada no son capaces de definir la calidad del grano o una harina de trigo.

4.6.1. Humedad

El contenido de humedad del grano de trigo y sus productos es importante para una buena conservación y molienda. El método estándar de determinación de la humedad del grano de trigo en Argentina es por secado en estufa con circulación forzada de aire a 130 °C durante 60 min (Norma 15850, IRAM, 2009).

4.6.2. Cenizas

El método estándar de determinación de cenizas es por calcinación a 920°C de una muestra de 5 g de harina durante 1:30 h, o 2-3 g de grano o afrecho durante 2:15 hs (Norma 15851, IRAM, 2009). En el grano de trigo, el contenido mineral aumenta desde el centro, donde se encuentra la mejor harina, hacia la periferia. Según el Código Alimentario Argentino (1992) los valores máximos de cenizas, sobre sustancia seca, permitidos en los diferentes tipos de harinas de trigo que se comercializan son:

- a) Harina tipo 0000 = 0.492 %
- b) Harina tipo 000 = 0.650 %
- c) Harina tipo 00 = 0.678 %
- d) Harina tipo 0 = 0.873 %
- e) Harina tipo ½ 0 = 1.350 %
- f) Harina de Graham = 2.300 %

La diferencia radica en el diferente contenido mineral de cada harina, está relacionado con el grado de extracción. La harina de Graham es harina integral, es decir, el grano molido con todos sus componentes.

4.6.3. Determinación de gluten

Consiste en preparar una masa con harina y agua y lavarla bajo un chorro de agua suave, a mano o con lavadora mecánica, hasta arrastrar toda la materia soluble o sea, hasta que una gota del líquido de lavado arrojada sobre agua limpia no la enturbie. Luego se seca el gluten sobre rodillos para eliminar el exceso de agua y se pesa. Este valor se conoce como porcentaje de gluten húmedo. Actualmente hay equipos que automáticamente amasan y lavan, en condiciones standard, luego se centrifuga y se obtiene el gluten húmedo; se lo seca entre planchas de teflón a 130°C por 5 min (Norma 15864, IRAM, 2013). La determinación de gluten es muy afectada por las condiciones operatorias y del operador mismo. En Argentina, la determinación de gluten forma parte de los análisis de calidad que deben presentarse para la inscripción de los nuevos cultivares de trigo y se utiliza para establecer el grupo de calidad del nuevo cultivar.

4.6.4. Determinación de proteínas

Los métodos más usados son:

Método de Kjeldahl: Determina el nitrógeno total de la muestra, por medio de mineralización con ácido sulfúrico y titulación de la solución extractante. El nitrógeno multiplicado por un factor (5,7) permite estimar el porcentaje de proteína del trigo, harina o subproductos. Este es el método patrón para la determinación de proteínas totales (Norma 15852, IRAM, 2002) y del Estándar de comercialización de trigo pan (Norma XX, SENASA, 1996).

Determinación con infrarrojo cercano (NIR): Se utiliza un equipo previamente calibrado con muestras de valor conocido. Este mide, por medio de una célula fotoeléctrica, la energía de distintas longitudes de onda del infrarrojo cercano que se reflejan o son absorbidas por la muestra.

4.6.5. Índice de maltosa

Es una forma de expresar la actividad diastásica de la harina. Utiliza como sustrato el almidón de la misma harina. Un índice alto señala una alta actividad diastásica y el pan obtenido tendrá sus lados cóncavos, con bandas llamadas "bandas de maltosa". Un método más moderno para medir la actividad diastásica es el Índice de Caída (Falling number) ya explicado.

4.6.6. Almidón

El contenido de almidón en los subproductos del trigo es importante pues es una forma de monitorear la molienda. Si el molino no está debidamente ajustado es posible perder harina que se irá con los subproductos, los que darán altos valores de contenido de almidón y valores bajos de cenizas. La determinación de almidón presenta algunas dificultades por su composición variable, por ello pueden diferir los resultados en función del método utilizado. En líneas generales, los métodos se pueden resumir en los siguientes grupos: determinación por diferencia (una vez investigado el contenido de los otros componentes, como humedad, azúcares, proteínas, grasas, fibras y cenizas), separación mediante lavado (la muestra se lava con agua, luego se seca y se pesa el percolado), transformación del almidón en azúcares (mediante hidrólisis ácida o enzimática y determinación del azúcar producido), formación de complejos con el yodo (se realiza la coloración del almidón con yodo), método de Rask (el cual consiste en la solubilización del almidón y subsiguiente precipitación), determinación de almidón dañado (por medio de la formación de complejos con yodo, o la hidrólisis ácida o enzimática o la determinación del azúcar producido).

4.6.7. Fibra (celulosa)

En trigo se presenta por lo menos en dos modalidades físicas: (i) celulosa fuerte, parecida a la madera, que constituye la parte principal del salvado y de las cubiertas externas del grano, (ii) celulosa menos resistente que la anterior y que forma las paredes de las células parenquimatosas del endosperma. Durante la molienda, la mayor parte de la celulosa del grano de trigo se elimina con los subproductos. Las harinas de clase superior contienen poca celulosa o fibra cruda, su porcentaje se incrementa al aumentar el grado de extracción. Se han propuesto diferentes métodos, basados en la determinación de celulosa, para estimar el grado de extracción de la harina.

4.6.8. Acidez

Se determina por medio de métodos volumétricos ácido-base. El grado de acidez de una harina aumenta con el transcurso del tiempo como consecuencia de su deterioro, especialmente si está conservada en ambientes húmedos y calurosos. Los valores de acidez sirven para monitorear si un producto o subproducto almacenado ha sufrido alteraciones con el correr del tiempo.

4.6.9. Color de la harina

Depende fundamentalmente de la naturaleza del trigo y de la eficacia con que se lo limpie, del grado de extracción y de su finura. Los métodos más empleados para la determinación del color son fotoeléctricos, prueba de Pekar, y prueba con pirocatequina.

4.6.10. Granulometría de la harina

Las partículas de harina más finas poseen generalmente menor contenido de gluten y una fuerza gasificadora mayor que las gruesas, provenientes del mismo trigo. Ello se debe a que contienen mayor cantidad de gránulos de almidón dañado y ofrecen mayor superficie para al ataque de las enzimas diastásicas. Las harinas muy finas son preferidas para pastelería y las más gruesas para la producción de pan. Los métodos de determinación son el análisis por tamizado y el análisis por sedimentación.

4.6.11. Contenido de azúcares

En general, los azúcares se determinan por su poder de reducción sobre el sulfato de cobre de la solución de Fehling o midiendo su capacidad de desviar el plano de luz polarizada con polarímetro.

5. Panificación de la harina de trigo

Técnicamente el valor panificable de una harina es el resultado de la capacidad que tiene de producir gas (empuje) y la capacidad para retener ese gas (estructura). Los mejores resultados de panificación se logra cuando ambos factores están en su punto óptimo, esto es cuando la presión del CO₂ es máxima y la masa (en función de su elasticidad y extensibilidad) puede soportar la presión del gas. En éste punto se debe introducir la masa en el horno. Antes del punto de coincidencia, ambos factores carecen del desarrollo suficiente y pasado ese punto ambos se habrán debilitado. Según qué tan rápido se produzca esta coincidencia, la masa se adaptará para una conducción corta o larga en panadería. En la panificación se identifican tres etapas: amasado, fermentación y cocción.

5.1. Amasado

Comercialmente se realiza colocando los ingredientes (harina, agua, sal y aditivos) en la amasadora y por último la levadura. Se amasa determinado tiempo, hasta obtener una masa lisa (homogénea) y elástica, en esta etapa se desarrolla la matriz proteica (gluten) de la masa que no estaba presente en la harina.

El agua es absorbida por las proteínas de la harina, ayudando a formar la red de gluten, tiene función nutritiva sobre las levaduras y facilita la producción de las reacciones diastásicas. El poder de absorción de agua de una harina puede variar entre 53 a 63 %. No es posible hacer un cálculo previo preciso de la cantidad de agua a agregar, se busca lograr una consistencia en la masa suave al tacto, si se añade poca agua la masa quedará dura y desarrollará mal en el horno, un exceso hará la masa resulte pegajosa y difícil de trabajar. La temperatura del agua es importante para lograr una temperatura final de masa de 27 °C.

Las levaduras pueden ser de distinto tipo: (i) natural, no es otra cosa que un trozo de masa del día anterior, "masa madre"; (ii) cultivada, se trata de cultivos industriales de *Sacharomices cerevisae*, esta puede ser líquida (crema) suministrada en cisternas refrigeradas y únicamente está destinada a las grandes panificadoras, o prensada reduciendo la cantidad de agua de la levadura en crema, es la más empleada; (iii) instantáneas, se obtiene por liofilización, viene cerrada al vacío y no es necesario rehidratarla para usar.

La sal a agregar consiste en cloruro de sodio a razón de 2% sobre la harina. Como la sal frena la actividad de las levaduras, cuanto más tarde se incorpore mayor será el volumen del pan y la miga será más blanca. Además, la sal aumenta la conservación del pan.

El agregado de aditivos depende del tipo de producto y del proceso; los de uso más frecuente son: (i) agentes oxidantes (mejoradores), contribuyen a formar la red de gluten favoreciendo la retención gaseosa, los más usados son azodicarbonamida y ácido ascórbico; (ii) emulsionantes, permiten lograr miga más regular con corteza más fina y crujiente; (iii) enzimas, pueden ser amilasas (se utilizan en harinas con baja actividad de alfa-amilasa, para mejorar la fermentación), oxidativas (contribuyen con la oxidación la red de gluten, incrementan la estabilidad facilitando el manejo de la masa), hemicelulasas (interactúan con la red de gluten dando mayor absorción de agua y mejorando la textura),

lipasas (mejoran la estructura, la textura de la miga y la estabilidad de la masa), proteasas (mejoran la reología de la masa); (iv) agentes reductores, aflojan la red de gluten, evita que las galletas se retraigan.

La etapa de amasado también incluye (i) el sobado, consistente en pasar la masa a través de dos rodillos que giran en sentido inverso, luego se dobla la masa por la mitad y se la vuelve a pasar una determinada cantidad de veces, p.ej. 10 veces; (ii) descanso, consiste en dejar relajar la masa sobre el torno (mesa) por lo menos 10 minutos; (iii) cortado y armado de las piezas a obtener.

5.2. Fermentación

Se trata de una serie de reacciones bioquímicas que finalmente conducen a la formación de CO_2 , alcohol, cetonas y aldehídos que son las causantes del aroma y sabor final del pan. El complejo enzimático diastático presente en la harina o agregado con los aditivos, transforman los azúcares solubles y los gránulos de almidón dañado en azúcares simples, los que a su vez son transformados por el complejo enzimático de las levaduras liberando CO_2 . Las burbujas de CO_2 provocan el incremento de volumen, lo que se conoce como “maduración de la masa”, una masa está madura cuando ha logrado durante la fermentación la máxima expansión posible; en éste momento la masa está lista para su cocción, previo “corte”. El corte regula la liberación de los gases durante la cocción ya que la zona con incisión tarda más en endurecerse permitiendo el empuje del CO_2 .

5.3. Cocción

Durante la cocción ocurren cambios que transforman la masa en pan (**Figura 7**). La temperatura del horno debe estar entre 180 a 250 °C, dependiendo del panadero. Hasta los 50 °C se acelera la acción fermentativa de las levaduras, aumentando el volumen del pan durante los primeros minutos del horneado (“crecida en el horno”). Por encima de los 55 °C las levaduras se inactivan y se paraliza la fermentación. Esto ocurre primero en las capas externas de la masa o sea que, cuando la corteza ya ha tomado estructura sigue habiendo expansión en el interior del pan, incrementándose la presión sobre los alvéolos, provocando un aumento en la estructura de la miga. A los 50 °C comienza el proceso de desnaturalización y coagulación del gluten, que continua con mayor rapidez hasta los 80 °C, los alvéolos se dilatan por acción del calor, sus paredes se vuelven cada vez más finas. Con el aumento de temperatura se acelera la actividad de la alfa-amilasa y comienza la gelificación del almidón que repercute en la estructura de la miga, en su consistencia y en la conservación del pan. A los 76°C se inactiva la alfa-amilasa. La expansión de la pieza continúa hasta que el gluten coagula totalmente (80 °C) lográndose la consistencia final de la pieza. El alcohol se volatiliza, la evaporación del agua de la superficie provoca la formación de la corteza, cuyo brillo y color depende de las dextrinas y azúcares formados.

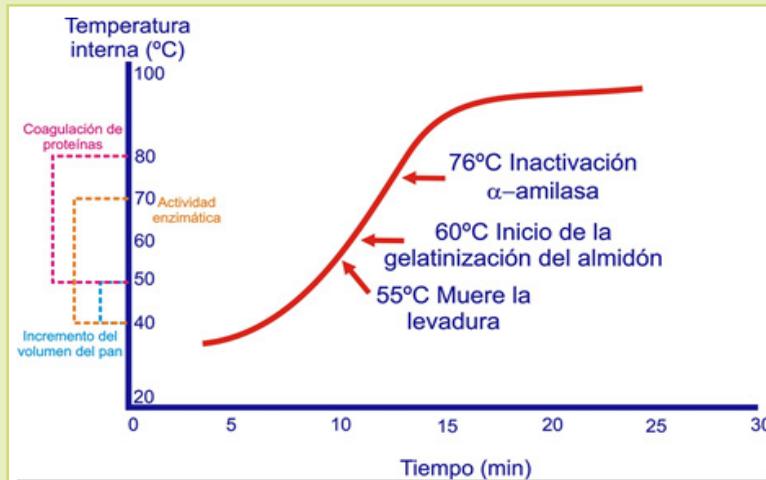


Figura 7. Relación idealizada entre la temperatura en función del tiempo y los principales procesos que ocurren durante la cocción de un pan.

6. Referencias

- Código Alimentario Argentino. 1992. Harinas Tomo I-a. Cap. IX. Art.661-Res. 167, 26.1.82. Pag 225. De La Canal & Asociados S.R.L., Buenos Aires.
- Dupont F.M. y Altenbach S.B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. J. of Cereal Science, 38: 133-146.
- Eliasson A. y Gudmundsson M. 1996. Starch: physicochemical and functional aspects. En: Carbohydrates in Food. Ed. By Eliasson, A. Marcel Dekker, USA. 431-503.
- IRAM. 1996. Norma 15858-1. Ensayo de panificación experimental. Método para ser usado en programas de mejoramiento de trigo.
- IRAM. 2000. Norma 15855. Harina de trigo. Características físicas de las masas. Determinación de la absorción de agua y de las propiedades reológicas, utilizando un farinógrafo.
- IRAM. 2002. Norma 15852. Determinación de proteínas totales. Método de Kjeldahl modificado.
- IRAM. 2003. Norma 15862. Determinación de la actividad de la alfa-amilasa (número de caída), según Hagberg-Perten.
- IRAM. 2009. Norma 15850. Trigo. Método práctico para la determinación de humedad en granos, harinas y subproductos.
- IRAM. 2009. Norma 15851. Cereales y productos de cereales. Determinación de cenizas por incineración.
- IRAM. 2012. Norma 15857. Harina de trigo (*Triticum aestivum* L.). Características físicas de las masas. Determinación de las propiedades reológicas mediante el uso de un alveógrafo.
- IRAM. 2013. Norma 15864. Trigo y harina de trigo. Determinación de gluten húmedo, de gluten seco y de índice de gluten. Método de lavado automático.
- Pomeranz Y. 1988. Composition and functionality of wheat flour components. In Wheat: Chemistry and Technology. 219-370. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, MN.
- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 1996. Resolución SAGyP 1075/94. Norma XX.
- Wheat Foods Council. 2012. A kernel of wheat. <http://www.wheatfoods.org/resources/kernel-wheat> [18 agosto 2017].