
APTITUD INDUSTRIAL DE TRIGO

Autor: Daniel Vázquez*

*Q.F., PhD. Programa Nacional de Investigación Cultivos de Secano. INIA La Estanzuela.

Título: APTITUD INDUSTRIAL DE TRIGO

Autor: Daniel Vázquez

Serie Técnica N° 177

©2009, INIA

ISBN: 978-9974-38-269-5

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., Dr. Dan Piestun - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García - Vicepresidente



Ing. Agr. José Bonica

Dr. Alvaro Bentancur



Ing. Agr., MSc. Rodolfo M. Irigoyen

Ing. Agr. Mario Costa



AGRADECIMIENTOS

A José Hernández, Daniela Ramallo, María E. García y Patricia González, por su continuo aporte a la aptitud industrial de trigo en Uruguay.

CONTENIDO

Página

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo | 1 |
| 1.2. Trigo | 1 |
| 1.3. Producción y consumo | 2 |
| 2. CALIDAD | 2 |
| 2.1. ¿Qué es calidad? | 2 |
| 2.2. Calidad física | 2 |
| 2.3. Calidad molinera | 3 |
| 2.4. Calidad para uso final | 3 |
| 2.5. Inocuidad | 3 |
| 3. COMPONENTES Y PROPIEDADES | 3 |
| 3.1. Estructura y composición del grano del trigo | 3 |
| 3.2. Componentes de la harina | 5 |
| 3.2.1. Almidón | 5 |
| 3.2.2. Proteínas | 5 |
| 3.2.3. Componentes menores | 6 |
| 3.2.3.1. Otros carbohidratos | 6 |
| 3.2.3.2. Lípidos | 6 |
| 3.2.3.3. Minerales | 6 |
| 3.2.3.4. Enzimas | 6 |
| 3.3. Dureza del grano | 7 |
| 3.4. Reología de la masa del trigo | 7 |
| 4. ANÁLISIS Y SU INTERPRETACIÓN | 8 |
| 4.1. Análisis sobre trigo | 9 |
| 4.1.1. Calidad física | 9 |
| 4.1.1.1. Materias extrañas e impurezas | 9 |
| 4.1.1.2. Granos dañados | 9 |
| 4.1.1.3. Peso hectolítrico | 10 |
| 4.1.1.4. Peso de mil granos | 11 |
| 4.1.2. Molienda integral | 11 |
| 4.1.3. Humedad | 11 |
| 4.1.4. Proteína | 12 |
| 4.1.5. Dureza | 13 |
| 4.1.6. Falling Number | 14 |
| 4.1.7. Gluten | 15 |
| 4.1.8. DON | 16 |
| 4.2. Análisis sobre harina | 16 |
| 4.2.1. Extracción de harina | 16 |
| 4.2.2. Análisis físico-químicos | 16 |
| 4.2.2.1. Humedad | 16 |
| 4.2.2.2. Falling Number | 16 |
| 4.2.2.3. Proteínas | 17 |
| 4.2.2.4. Cenizas | 17 |

| | Página |
|--|---------------|
| 4.2.2.5. Color | 18 |
| 4.2.2.6. Gluten | 19 |
| 4.2.2.7. Sedimentación | 19 |
| 4.2.3. Análisis reológicos | 20 |
| 4.2.3.1. Farinograma | 20 |
| 4.2.3.2. Mixograma | 22 |
| 4.2.3.3. Alveograma | 23 |
| 4.2.3.4. Extensograma | 25 |
| 4.2.3.5. Texturómetro | 25 |
| 4.2.4. DON | 26 |
| 4.2.5. Otros análisis | 26 |
| 4.2.6. Panificación | 26 |
| 4.3. Espectrofotometría de infrarrojo cercano | 27 |
| 5. TRIGOS DE BUENA CALIDAD PARA USO FINAL | 28 |
| 5.1. Requisitos | 28 |
| 5.1.1. Requisitos para panificación | 29 |
| 5.1.1.1. Gluten fuerte | 29 |
| 5.1.1.2. Propiedades de mezclado | 30 |
| 5.1.1.3. Masa equilibrada | 30 |
| 5.1.1.4. Proteína (gluten) | 30 |
| 5.1.1.5. Otros requisitos | 31 |
| 5.1.2. Requisitos para otros productos | 31 |
| 5.2. Factores que afectan la calidad | 31 |
| 5.2.1. Genéticos | 31 |
| 5.2.1.1. Proteínas | 31 |
| 5.2.2.2. Dureza | 33 |
| 5.2.2.3. Otros componentes | 33 |
| 5.2.2. Ambientales | 33 |
| 5.2.2.1. Suelo | 33 |
| 5.2.2.2. Manejo | 34 |
| 5.2.2.3. Clima | 34 |
| 5.2.2.4. Enfermedades | 34 |
| 5.3. Cómo lograr trigos de buena calidad | 34 |
| 5.3.1. Calidad versus rendimiento | 35 |
| 5.3.2. Pago por calidad | 35 |
| 5.3.3. Postcosecha y clasificación de trigos | 35 |
| 6. CALIDAD DE TRIGO EN INIA | 36 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 37 |

APTITUD INDUSTRIAL DE TRIGO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

Tradicionalmente, el trigo se ha comercializado como un “producto agropecuario”, sin mayores especificaciones. En los últimos años, ha pasado a convertirse en un “insumo industrial”, con la cantidad de requisitos en aumento y cada vez más exigentes. Las industrias reciben un continuo aumento de las exigencias de parte del consumidor, y hacen extensivas las mismas a los insumos industriales. Por consiguiente, el agricultor se ve en la necesidad de incluir los requisitos industriales como un aspecto más a considerar cuando decide producir trigo. El presente trabajo pretende ayudar al productor y sus asesores a entender los requisitos industriales, y al industrial a comprender las dificultades que conlleva la producción de grano con aptitud industrial. Por consiguiente, es un texto exclusivamente tecnológico, donde no se busca presentar información relevante sobre la calidad nutricional del trigo.

Luego de este primer capítulo, se presenta una breve introducción al concepto de calidad de trigo. Se sigue posteriormente con los componentes principales del grano, lo que permite avanzar a continuación al cuarto capítulo, donde se explican cuales son los fundamentos de los principales análisis de calidad de trigo, así como su interpretación. Una vez explicados estos conceptos, se comentan los principales medios para lograr trigos de buena calidad. Por último, se presentan algunos aspectos del trabajo de INIA en el tema.

1.2. Trigo

Los frutos de las gramíneas (familia Gramineae) que se consideran comestibles son llamados “cereales”. Tanto para Uruguay como a nivel internacional, desde el punto de vista de consumo humano, el cereal más

importante es el trigo, que a su vez es uno de los cultivos más antiguos (Orth y Shellenberger 1988).

En Uruguay la especie que se cultiva es *Triticum aestivum* o simplemente “trigo”. Es un hexaploide (AABBDD), con genoma proveniente de *Triticum monococcum* (AA), *Aegilops squarrosa* (*Triticum tauschii*, DD) y una tercer especie aún desconocida (BB) (Belderok 2000a).

La segunda especie en importancia a nivel mundial es el *Triticum turgidum*, también conocido como *Triticum durum*, trigo *durum*, o trigo candeal. Se consumen anualmente entre 30 y 35 millones de toneladas. Casi la totalidad del consumo en Norteamérica y Europa es para la elaboración de pastas, aunque en el norte de Africa y Medio Oriente se utiliza para la elaboración de panes étnicos y otros productos locales conocidos como cuscús y bulgur. La textura de su grano, que puede llegar a ser muy duro y vítreo, permite la extracción de “sémola”, un producto de molienda cuyas partículas son de tamaño mayor que la harina. En varios países de Europa la pasta no puede contener harina de “trigo pan”, sino que debe ser elaborada 100% con sémola de trigo *durum* (Bozzini 1988). En Uruguay no se cultiva básicamente por problemas agronómicos y sanitarios, además de tener un mercado muy pequeño por no haber consumidores habituados a sus productos.

El “trigo sarraceno»” (buckwheat) pertenece a la familia Polygonaceae, por lo que no solo no es “trigo” sino que ni siquiera es un cereal por no ser una gramínea. El cultivo de otras especies que si son “trigos” (*Triticum monococcum* y *T. timopheevi*) es totalmente irrelevante a nivel internacional (Orth y Shellenberger 1988).

Dado que el trigo pan es la única especie que se cultiva en Uruguay, el resto del texto se referirá exclusivamente a este trigo.

1.3. Producción y consumo

El trigo es el principal alimento a nivel mundial, con un consumo de más de 600 millones de toneladas métricas (Vocke y Allen 2007). La difusión de su utilización se debe a su gran versatilidad y adaptabilidad. Como cultivo se adapta a ambientes muy extremos: se siembra tanto a nivel del mar como a más de 3000m, desde regiones secas a lluviosas, en regiones cálidas como en templadas, y en distintos tipos de suelos (Bushuk 1986). A su vez, como fuente alimenticia se puede adaptar a una gran diversidad de productos: panes de distintos tipos, galletitas saladas (“cracker”) y dulces (“cookies”), tortas, bizcochuelos, pastas, pitas, etc.

Los productos alimenticios derivados del trigo son la principal fuente de calorías en Uruguay. El área de trigo cultivado en Uruguay en los últimos 10 años ha oscilado entre 125.000 y 250.000 hectáreas, con una producción de entre 144.000 y 650.000 toneladas (DIEA 2003, DIEA 2007), con un aumento significativo en la zafra 2008: se cosecharon más de 1:3 millones de toneladas de las más de 470.000 hectáreas sembradas (DIEA 2008).

El principal destino del trigo uruguayo es el mercado interno (algo más de 400.000 toneladas) con importaciones en los años en que hay déficit y exportaciones en los años en que hay superávit (Souto 2007). Desde la creación del MERCOSUR, ha habido un sistemático crecimiento tanto en exportaciones como en importaciones en todas las fases de la cadena, salvo durante la crisis de principios de la presente década (Souto 1999, Souto 2007). Las exportaciones de harina en el 2007 superaron levemente las 17.000 toneladas, con destino casi exclusivamente al sur de Brasil (IICA 2007, Souto 2007).

La industria molinera nacional es muy heterogénea en tamaño y grado de modernización. El destino principal de la harina son las panaderías (70%), con menor incidencia de fábricas de galletitas (9%) y pastas (8%) (Souto 1999). Entre las panaderías, coexisten más de 1000 “artesanales”, con industrias altamente automatizadas, y toda la gama intermedia.

2. CALIDAD

2.1. ¿Qué es calidad?

En el sentido más amplio del concepto, se tiene un trigo de “buena calidad” cuando satisface los requisitos del comprador. Así, el trigo es de buena calidad molinera cuando cumple con los requisitos del molinero, o de buena calidad panadera cuando cumple con los requisitos del panadero. A su vez, un trigo que es de buena calidad para un producto, puede no ser de buena calidad para otro. Por ejemplo, un trigo de buena calidad para galletitas dulces (tipo “cookies”) no va a tener las propiedades que requiere el panadero. O sea, no será un trigo de “buena calidad” panadera. Es necesario agregar que el concepto de calidad es altamente subjetivo, y muchas veces los requisitos que se le exigen a un producto tienen motivos históricos o culturales.

En el caso particular del trigo, la dinámica del concepto se ha movido hacia niveles de mayor exigencia debido a distintos motivos. Por un lado, el consumidor ha aumentado en los últimos años los requerimientos de los productos que consume. Por otro, la evolución de la tecnificación de la industria de proceso de las harinas hace que las exigencias sean cada vez mayores. A su vez, regulaciones sobre el tipo de aditivos que se pueden utilizar han aumentado la presión de requisitos sobre el grano.

Dado que la mayoría del trigo que se comercializa en la región tiene como destino el producir harina para elaborar pan, cuando se dice que un trigo es de «buena calidad» se sobreentiende que tiene buena calidad molinera y panadera. Pero en realidad cada eslabón de la cadena agroindustrial tiene requisitos específicos, y por consiguiente existen conceptos diferenciales: calidad física, calidad molinera y calidad panadera.

2.2. Calidad física

Es necesario que un grano sea sano, limpio y de buen llenado, o sea de buena calidad física, para que el almacenamiento se lleve a cabo sin problemas y para lograr productos industriales homogéneos y de buena

calidad industrial. Para ello, se debe contar con buena sanidad y manejo adecuado. A su vez, el grano debe ser almacenado en buenas condiciones (baja humedad, libre de insectos, etc.) para mantener sus cualidades molineras e incluso panaderas (Hugo y Godiño 2000).

2.3. Calidad molinera

Prácticamente, todo el trigo en Uruguay es utilizado para la elaboración de harina para consumo humano. Según el Reglamento Bromatológico Nacional (Ministerio de Salud Pública 1994), la harina es el producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo, que se ajuste a las exigencias establecidas para el mismo. Una variedad de trigo se considera de buena calidad molinera cuando es capaz de producir un alto porcentaje de harina de buena calidad para su uso final, sin necesidad del uso (excesivo) de aditivos.

2.4. Calidad para uso final

Dentro de la calidad para uso final, la mayoría de la harina obtenida en nuestro país es consumida como pan, o un producto derivado, por lo que en general se habla de “calidad panadera”. Un trigo se considera de buena calidad panadera cuando tiene propiedades que le permiten producir el pan deseable según criterios del panadero y/o el consumidor.

Pastas, galletitas, tortas y otros productos farináceos sumados en total no llegan al 30% del consumo de harina. Cada uno de estos productos requiere un tipo de harina especial, y por lo tanto, internacionalmente existen variedades de trigo seleccionadas para cada producto específico. Dada la importancia del pan, las variedades y manejo desarrollados por INIA están orientadas a la elaboración de pan. Si bien en distintos momentos se han desarrollado variedades para otros usos específicos, éstas no llegaron a nivel comercial por no existir las condiciones de mercado adecuadas.

2.5. Inocuidad

El principal problema de inocuidad que tiene el trigo en Uruguay es causado por la presencia de las micotoxinas de *Fusarium graminearum*. La principal toxina presente es el deoxinivalenol o DON (Díaz de Ackerman y Kohli 1996). El principal problema que ocasiona la ingesta aguda de DON es anorexia (Rotter *et al.*, 1994), mientras que la ingesta crónica causa baja de peso y disminución de la inmunidad. No se ha detectado evidencia de carcinogenicidad (Pieters *et al.*, 1999).

3. COMPONENTES Y PROPIEDADES DEL TRIGO Y SUS PRODUCTOS

3.1. Estructura y composición del grano del trigo

El trigo produce un fruto seco, que es una cariósida llamada “grano”. El mismo está compuesto por el endospermo amiláceo, el germen y varias capas de cubierta (figuras 3.1 y 3.2). El peso del grano normalmente oscila entre 30 y 40 mg, pero no es extraño encontrar, aún en Uruguay, granos con peso mayores y menores si las condiciones ambientales son altamente favorables o desfavorables (Castro *et al.*, 2005b). La variabilidad del peso depende de la variedad, de las condiciones de cultivo y de la posición en la espiga (Arana *et al.*, 2007, Hosney 1991, Quaglia 1991).

Si bien histológicamente se pueden identificar más partes del grano, desde el punto de vista de su aplicación industrial se puede dividir el grano en tres partes fundamentales: las cubiertas, el endospermo y el germen, cada una con una composición química característica (cuadro 3.1).

Las cubiertas son las que van a componer el salvado en la separación de la molienda, y constituyen entre 13 y 17% del peso del grano en base seca. La capa más externa es llamada pericarpio, mientras que la más interna es la aleurona. El contenido de mine-

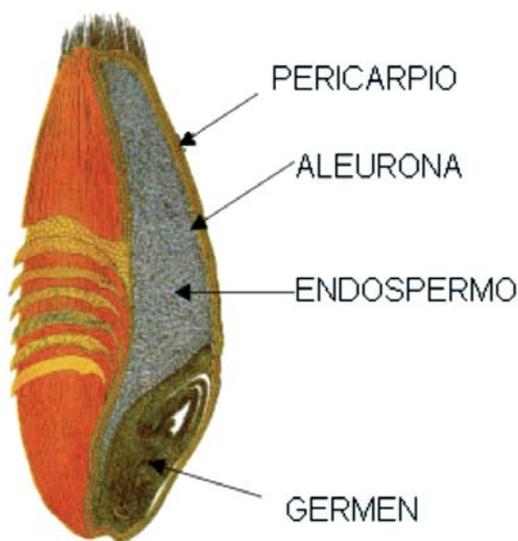


Figura 3.1. Grano de trigo.

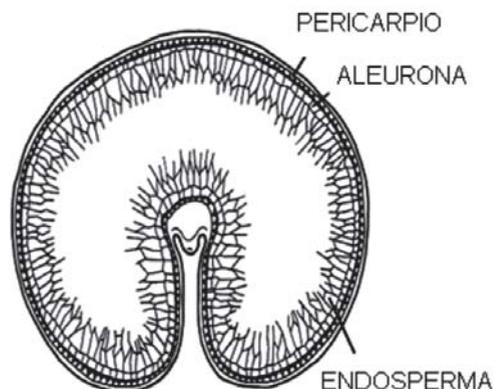


Figura 3.2. Grano de trigo: corte transversal.

Cuadro 3.1. Composición química del grano y sus principales componentes, en base seca (Belderok 2000b).

| Componente | Grano | Endospermo | Cubiertas | Germen |
|---------------------|-------|------------|-----------|--------|
| Proteínas | 16 | 13 | 16 | 22 |
| Lípidos | 2 | 1,5 | 5 | 7 |
| Carbohidratos | 68 | 82 | 16 | 40 |
| Fibra | 11 | 1,5 | 53 | 25 |
| Cenizas (minerales) | 1,8 | 0,5 | 7,2 | 4,5 |
| Otros | 1,2 | 1,5 | 2,8 | 1,5 |

rales y de proteínas de las cubiertas es mayor que el del endospermo, pero esas proteínas no son formadoras de gluten (Belderok 2000b, Posner y Hibbs 1997, Quaglia 1991).

Los trigos se separan en “rojos” o “blancos” de acuerdo a si poseen pigmentos rojizos en el pericarpio o no. Esta es una separación genética simple, determinada por los 3 loci homólogos *R-1* (Morris 1998). Tradicionalmente se ha preferido el cultivo de los trigos rojos para panificación ya que se entendía que la ausencia de estos pigmentos estaba asociada a una indeseable germinación en espiga, pero se ha podido desarrollar genotipos de color “blancos” (sin los pigmentos) sin problemas de pregerminado (Paulsen *et al.*, 1983). Paralelamente, el color blanco es preferido por ciertos mercados

ya que permite una mayor extracción de la harina sin que ésta se oscurezca (Morris 1998).

De entre las capas que componen el salvado, la cubierta interior, incluida por algunos autores como parte del endospermo, es la aleurona. Su composición es abundante en proteínas, lípidos, sustancias minerales, vitaminas y enzimas (Quaglia 1991).

El endospermo amiláceo es más del 80% del grano en base seca, y es el constituyente más importante a los efectos del trigo como alimento. Está constituido por células que si bien son morfológicamente similares, son de mayor tamaño al acercarse al centro. El principal componente celular son gránulos de almidón de distinto tipo, inmersos en una matriz proteica (Quaglia 1991).

El germen es entre 2.0 y 3.5% del grano, y tiene un alto contenido de proteínas grasas y vitaminas (Hoseney 1991, Posner y Hibbs 1997, Quaglia 1991).

Dada la composición química, se puede deducir que si bien la harina blanca contiene una cantidad de calorías levemente superior por su contenido de carbohidratos, la harina integral aporta otros nutrientes importantes de acuerdo a recientes recomendaciones (Kahlon 2006; Programa Nacional de Nutrición, 2005) como fibras, minerales y vitaminas.

3.2. Componentes de la harina

3.2.1. Almidón

El almidón es el principal componente del grano, siendo más de dos tercios del peso total. Se encuentra en estado parcialmente cristalino en gránulos lenticulares intracelulares cuyo tamaño tiene una distribución bimodal (Lineback y Rasper 1988). Desde el punto de vista alimenticio, es la principal fuente de calorías del trigo y el motivo por el cual fue domesticado. Los componentes principales del almidón de trigo son la amilosa (cadenas lineales de moléculas de glucosa) y amilopectina (cadenas ramificadas de moléculas de glucosa). La amilopectina es el principal componente, siendo en general el contenido de amilosa entre 17 y 29% del almidón. Recientemente se han liberado variedades con contenido de amilosa menor a 1%. Este tipo de trigo se los conoce como “ceroso” o “waxy”, y han sido desarrollados por su buena calidad para “fideos asiáticos” o “noodles” (Morris y Konzak 2001).

3.2.2. Proteínas

El trigo es único porque posee proteínas que tienen la capacidad de formar una masa con las propiedades necesarias para la formación de pan (Gianibelli *et al.*, 2001). Estas características mecánicas únicas son una combinación balanceada de elasticidad y viscosidad. Si bien las propiedades panaderas están afectadas por otros componentes, no existe ninguna duda que las proteínas son el componente clave (Shewry *et al.*,

2003; Li *et al.*, 2003), porque al mezclarse harina con agua, la mayoría de las proteínas forman una red con propiedades únicas llamada “gluten”. Por ello es que si bien el almidón fue la razón por la que el trigo se domesticó, muy probablemente sean las proteínas el motivo por el que llegó a ser el principal alimento de la humanidad.

Granos obtenidos de plantas que crecieron en condiciones normales tienen un contenido proteico que oscila entre 8 y 16% (MacRitchie 1992), siendo en Uruguay muy frecuente el rango 10-12.5% (Ernst *et al.*, 2006). Si bien este contenido proteico no es despreciable, la calidad alimenticia de las proteínas del trigo es baja por su perfil aminoacídico. En particular, es bajo el contenido de lisina (Bushuk 1986).

Se han reportado más de 1300 polipéptidos distintos en el endospermo del trigo (Gianibelli *et al.*, 2001). Dentro de esta mezcla tan compleja, las proteínas varían en sus proporciones, estructuras y propiedades, tanto entre genotipos, como dentro del mismo genotipo cultivado en distintos ambientes. De hecho, las proteínas tienen una complejidad cuyo alcance aún no está claramente establecido (Shewry *et al.*, 2003).

Si bien existen sistemas de clasificación de proteínas de endospermo más modernos, clásicamente se agrupan de acuerdo a la solubilidad en distintos solventes en cuatro tipos: gluteninas, gliadinas, albúminas y globulinas. Esta separación es antigua y simple, pero sobrevivió hasta el presente ya que existe una clara relación entre la solubilidad de las proteínas y su funcionalidad: las proteínas que solo se solubilizan en un ácido o base débil, las gluteninas, son las que confieren elasticidad al gluten y por consiguiente a la masa, mientras que las proteínas que son insolubles en agua pero se disuelven en alcohol etílico al 70%, las gliadinas, confieren extensibilidad. Cabe destacar que la separación en estos grupos no es siempre clara, y existe superposición (Shewry 2003).

Las gluteninas están entre las proteínas más grandes de la naturaleza, con reportes de pesos moleculares mayores a 20 millones. Son una mezcla heterogénea de polímeros que se forman uniendo cadenas

polipeptídicas no estequiométricamente mediante puentes disulfuro. Las cadenas que forman dichos polímeros se subdividen en dos grandes grupos: gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS, por su sigla en inglés) y de bajo peso molecular (LMW-GS). Las que más influyen en la calidad panadera son las HMW-GS, de las que cada genotipo tiene sólo 4 o 5 unidades. Por ello, es común caracterizar la calidad de una variedad por su perfil de gluteninas de alto peso molecular (Gianibelli 2001, Shewry *et al.*, 2003).

El grupo de las gliadinas está conformado por una gran diversidad de polipéptidos que están tanto en el grano como en la masa como monómeros (Bushuk 1986). Si bien son decenas o cientos de cadenas polipeptídicas distintas, sus secuencias se parecen mucho entre sí (Bruzzone y Asp 1999, Shewry *et al.*, 2003). Además de su carácter de indispensables para poder formar un gluten adecuado, las gliadinas son relevantes por causar la enfermedad celíaca, una enteropatía caracterizada como intolerancia a proteínas de algunos cereales por individuos con cierta predisposición genética. Esta intolerancia es provocada por una secuencia de aminoácidos presente en muchas de las gliadinas y sus proteínas homólogas de cereales relacionados (Bruzzone y Asp 1999, Kasarda y D'Ovidio 1999).

Las albúminas y globulinas no participan en la formación del gluten, por lo que su importancia tecnológica es menor (Bushuk 1986).

3.2.3. Componentes menores

3.2.3.1. Otros carbohidratos

El endospermo tiene un porcentaje menor pero no despreciable de otros carbohidratos: 2% de pentosanos, 2% de azúcares y 0.4% de celulosa (Bushuk 1986). Desde el punto de vista tecnológico, los pentosanos (básicamente arabinoxilanos) son los más importantes, ya que influyen en la cantidad de agua absorbida y las propiedades del gluten formado (Garófalo *et al.*, 2008, Wang *et al.*, 2004).

3.2.3.2. Lípidos

El contenido de lípidos en la harina es bajo: en el entorno a 2%, aunque su presencia es fundamental para la elaboración del pan. La variabilidad del contenido y composición de lípidos entre distintos trigos es mínima, es decir, todos los trigos tienen el contenido de lípidos indispensable para una buena panificación (Bushuk 1986, Morris 1998).

3.2.3.3. Minerales

El contenido de minerales del endospermo es mucho menor a 1%, mientras que el resto del grano es entre 4 y 8% (Belderok 2000b). Una análisis muy utilizado por la industria harinera es el contenido de cenizas, que es un estimador del contenido total de minerales. La importancia de este análisis se basa en la diferencia del contenido de minerales en distintas partes del grano: cuanto mayor sea el contenido de cenizas, mayor será la contaminación de harina con salvado. Por consiguiente, el análisis de minerales mediante la determinación del contenido de cenizas es una buena medida de qué tan puro es el endospermo en la harina.

3.2.3.4. Enzimas

Al llegar a la madurez del grano, la actividad de las enzimas presentes en la harina obtenida de granos sanos de trigo desciende al mínimo. En los granos germinados o «pre-germinados» la actividad enzimática, y en particular de alfa-amilasa, puede subir hasta niveles no deseados.

Cuando se inicia la germinación del grano, uno de los primeros cambios bioquímicos es la síntesis *de novo* de alfa-amilasa en la capa de la aleurona. Al avanzar la germinación, la enzima es transportada hacia la región interna del endospermo. La actividad alfa-amilásica aumenta entonces hasta niveles por encima de lo deseado por la industria (Kruger y Reed 1988). Recientes trabajos han confirmado la presencia, en determinados trigos, de altas actividades de alfa-amilasa aún antes de que haya ningún signo visible de germinación (Wrigley 2006).

La polifenol-oxidasa (conocida como PPO por su sigla en inglés) y enzimas relacionadas causan un deterioro de color de los productos finales obtenidos con harina, y en particular de las pastas (Kruger y Reed 1988, Vázquez *et al.*, 1999, Vázquez *et al.*, 2001). La variabilidad de la actividad de esta enzima es básicamente genética (Vázquez *et al.*, 2000).

El resto de las enzimas presentes en trigo (proteasas, lipasas, otras oxidasas, etc.) tienen actividades que son irrelevantes desde el punto de vista tecnológico (Kruger y Reed 1988).

3.3. Dureza del grano

Los granos de trigo pan se pueden dividir en dos grupos claramente diferenciables de acuerdo a la textura o “dureza”: duros y blandos. Esta simple diferenciación tiene una implicancia clara en la utilización industrial (Belderok 2000b).

La dureza del grano depende del grado de adhesión que tienen los gránulos de almidón con la matriz proteica (Simmonds *et al.*, 1973). Cuando esta adhesión es débil, la rotura del endospermo durante la molienda se produce en el límite exterior del gránulo de almidón. Cuando es fuerte, la rotura se produce a través del gránulo. Por consiguiente, las partículas de harina obtenidas a partir de un grano blando va a tener poco almidón expuesto, mientras que las obtenidas de un grano duro va a tener muchos gránulos de almidón dañados.

Al tener distintas superficies expuestas, las propiedades de las partículas de harina de trigo duro son distintas de las correspondientes a un trigo blando. Las primeras son más fáciles de separar del resto del grano de trigo, y por consiguiente un trigo duro va a tener mayor porcentaje de extracción de harina.

Si bien la división de trigos en “duros” y “blandos” es básicamente genética, y está determinada por un solo gen (*Ha*) (Morris 1998), existe cierta variabilidad entre los genotipos “duros”, y el efecto ambiental no siempre es despreciable. Básicamente, el contenido de proteínas y de pentosanos

afecta la dureza, aunque en menor grado (Maghirang y Dowell 2003).

Al leer bibliografía de distintos orígenes es necesario prestar atención especial a qué se le llama trigos “duros” y trigos “blandos”. En la bibliografía en inglés se le denomina “hard” al trigo pan de endospermo duro y “soft” al trigo pan de endospermo blando. La bibliografía de España llama “blando” al trigo pan (*T.aestivum*) y “duro” al *Triticum durum*. La bibliografía latinoamericana en general se refiere a trigos duros y blandos de acuerdo a su endospermo, y al *Triticum durum* lo llama “candeal”. Pero estas reglas no son absolutas, por lo que es necesario prestar especial atención.

3.4. Reología de la masa del trigo

Ya se ha dicho que son las proteínas las que producen las propiedades únicas de la masa obtenida con harina de trigo. A su vez, se sabe que otros componentes (dañado de almidón, pentosanos, enzimas, etc.) también afectan sus propiedades. Si bien analizar cada uno de estos componentes es posible, la metodología para realizarla es compleja. Además, aún no está totalmente aclarada la relación entre composición y funcionalidad. Dado que lo que realmente importa es cómo se comporta la masa formada con harina y agua en lugar de qué componentes tiene la harina, muchas veces se caracteriza un trigo (y su harina) por las propiedades reológicas de la masa obtenida.

La reología es la ciencia que estudia la respuesta de un cuerpo al que se le aplica una fuerza o deformación definida (Steffe 1996). Los análisis de la “reología fundamental” trabajan con propiedades físicas claramente definidas. Pero la reología fundamental es tan compleja que en general no es práctica, en particular en estudios de masas de harina y agua. La reología “empírica” o “imitativa” realiza estudios donde se imita lo que sucede en el proceso industrial, y que se han demostrado empíricamente que sus resultados están correlacionados con las características del producto final. A nivel comercial la tecnología de cereales solo aplica la reología empírica (Steffe 1996, Menjivar 1990).

Desde el punto de vista del proceso industrial, hay dos momentos del proceso de panificación que importa estudiar su reología. Uno es el comportamiento durante el amasado o mezclado de agua y harina (propiedades de mezclado), y el otro es la fermentación o leudado (propiedades de extensión).

La primer etapa de panificación se inicia agregando agua y otros ingredientes (al menos sal y levadura; también se puede utilizar grasas, aditivos, etc.) a la harina, y mezclando los ingredientes con maquinaria adecuada. Los objetivos de esta etapa van más allá de simplemente homogeneizar la mezcla de los ingredientes. Es importante la hidratación de las partículas de la harina. El agua es absorbida por las proteínas, el almidón y los pentosanos. Es en esta etapa en que se forman minúsculas burbujas de aire que luego formarán los alvéolos del pan. Un objetivo fundamental es el “desarrollo de la masa”, lo que causa que se le llame más comúnmente “amasado” y no “mezclado”. El desarrollo de la masa es la formación de una compleja red de proteínas (gluteninas y gliadinas) formando enlaces de distinto tipo, con determinadas propiedades viscoelásticas. La consistencia de la masa depende de la relación por un lado entre la cantidad de agua agregada y la capacidad de absorción de la harina, y por otro de las propiedades del gluten formado. Durante el transcurso del amasado, la consistencia aumenta hasta llegar a un máximo, para luego empezar a decaer debido a que la red proteica empieza a ser destruida por exceso de mezclado. Es en ese momento de mayor consistencia cuando la masa tiene las propiedades reológicas requeridas, y por lo tanto es cuando el amasado debe detenerse para dejar lugar al proceso siguiente.

La masa obtenida debe tener elasticidad y extensibilidad adecuadas. Un cuerpo es elástico cuando al ser sometido a una deformación, por si solo tiende a volver a la forma original. Un cuerpo es extensible cuando se puede extender sin romperse. La elasticidad es fundamental para poder conservar la forma de la masa durante el crecimiento de la misma. La extensibilidad es la que permite que la masa crezca. La masa tendrá propiedades reológicas adecuadas durante el

proceso de fermentación, cuando pueda equilibrar la resistencia a la deformación (elasticidad) con la extensibilidad.

Un concepto incluido muchas veces por la bibliografía, y con distintos criterios, es el de “fuerza” de trigo, de masa o de gluten. Originalmente, el concepto se empezó a utilizar para referirse a la resistencia que debe tener una masa de forma de sostenerse a si misma durante el proceso de panificación (Wooding *et al.*, 1999). Dado que el componente que sostiene la estructura de la masa es el gluten, el concepto de fuerza se ha aplicado tanto a masa como a gluten, y generalizando, a trigo. Este criterio se ha vuelto difuso, y muchas veces se utiliza el concepto de fuerza como sinónimo de distintas propiedades: calidad panadera, de buenas propiedades de mezclado o alta resistencia a la extensión (Mailhot y Patton 1988, Tipples *et al.*, 1982, Wrigley 1994, Gaines *et al.*, 2006).

La confusión puede llegar a ser mayor cuando se utilizan otros conceptos. Para panificación se necesitan masas fuertes obtenidas con trigos que a su vez, tengan textura dura. Si bien ambos componentes deben estar presentes en el mismo trigo, cabe destacar que son propiedades independientes. A su vez, para la elaboración de galletitas es conveniente contar con masas de trigos débiles y blandos. Esto ha hecho que en muchos países los trigos duros que han llegado al mercado son de masa fuerte, y que los trigos blandos son de masa débil. Por lo tanto, es común encontrar confundidos los conceptos de “fuertes” con “duros” por un lado, y de “débiles” con “blandos” por otro, cuando en realidad “fuerza” y “dureza” son propiedades independientes.

4. ANÁLISIS Y SU INTERPRETACIÓN

Para conocer la calidad de un trigo es posible realizar una larga serie de análisis. Éstos se pueden realizar partiendo de grano entero, de una molienda integral del trigo o de la harina extraída con una molienda que reproduzca el proceso industrial.

En el texto se incluyen referencias a normas vigentes en Uruguay, tanto del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) como del Ministerio de Salud Pública (MSP), así como las metodologías aprobadas por organismos locales o internacionales. Se incluyen métodos aprobados por la AACCI (American Association of Cereal Chemists International; www.aacenet.org) y por UNIT-ISO (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas – International Standard Organization). Otras normas de aplicación internacional son las de la ICC (International Association for Cereal Science and Technology), pero Uruguay no es miembro de dicha asociación, por lo que se evita su mención en este texto.

4.1. Análisis sobre trigo

4.1.1. Calidad física

Los análisis de calidad física son los más usuales en la comercialización del trigo. En Uruguay, existe una norma de comercialización en la que se establece una reglamentación técnica en la que se dividen a los trigos en 3 grados de acuerdo a su calidad física. Los datos reglamentados y los valores requeridos figuran en el cuadro 4.1 (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca 1998).

4.1.1.1. Materias extrañas e impurezas

La presencia de cualquier materia que no sea un grano de trigo sano y maduro va a afectar negativamente la calidad. En general se le llama “impureza” a cualquier parte de la planta de trigo que no sea grano o un fragmento, y “materia extraña” a todo material que no pertenezca a la planta de trigo, incluyendo piedras, semillas de otros vegetales, insectos vivos o muertos, etc. Es de uso corriente establecer un máximo de materias extrañas e impurezas (cuadro 4.1).

4.1.1.2. Granos dañados

Si bien todo grano dañado afecta negativamente la calidad molinera y panadera, al realizar el análisis en general se separan los granos dañados por manipulación errónea de los que sufrieron daños que no pudieron ser evitados aún con una manipulación correcta.

Entre los primeros se destacan los granos quemados, tostados o cambiados de color durante el secado artificial. Entre los segundos se incluyen los granos verdes, dañados por heladas (presentan concavidades pronunciadas), brotados (cuando la cubierta del germen está rota y aparece el brote), fusariosos (aspecto blanquecino o hasta púrpura) y roídos.

Cuadro 4.1. Especificaciones para los grados 1, 2 y 3 de acuerdo al decreto 25/998 (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca 1998).

| Grado | 1 | 2 | 3 |
|--|--------|--------|--------|
| Peso hectolítrico (kg/hl), mínimo | 79 | 76 | 73 |
| Materias extrañas (%), máximo | 0,75 | 1,5 | 3 |
| Dañados por manipulación (%), máximo | 0,5 | 1 | 1,5 |
| Otros dañados (%), máximo | 1 | 2 | 3 |
| Granos con carbón (%), máximo | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| Granos quebrados y/o chuzos (%), máximo | 1,5 | 3 | 5 |
| Humedad (%), máximo | 13,5 | 13,5 | 13,5 |
| Picado (%), máximo | 1 | 1 | 1 |
| Insectos y/o ácaros vivos | Exento | Exento | Exento |
| Semillas de trébol de olor (cantidad/100g), máximo | 8/100 | 8/100 | 8/100 |
| Cornezuelo (%), máximo | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Proteína (%), valor de referencia | 11,5 | 11,5 | 11,5 |

Los granos quebrados y aquellos que no tuvieron un llenado de grano adecuado (“chuzos”) usualmente se pesan aparte del resto de los granos no sanos (ver Cuadro 4.1).

4.1.1.3. Peso hectolítrico

Es el peso de 100 litros (1 hectolitro) de granos de trigo expresado en kilogramos. Es un parámetro que resume los distintos componentes de la calidad física. Al ser una medida expresada en unidades de peso sobre unidades de volumen, es una estimación de la densidad de una partida de granos, la que a su vez depende de dos factores: la densidad de cada uno de los granos y de cómo los granos se acomodan. De estos dos factores, el segundo es el que más influye sobre el peso hectolítrico. Por consiguiente, la forma, textura exterior, el tamaño y su uniformidad son los componentes claves de este parámetro.

El peso hectolítrico tiene la particularidad de resumir en un solo valor qué tan sano y qué tan bien se llenó el grano durante su formación en la espiga. Ese aspecto es importante ya que cuanto más sano sea el grano (sin enfermedades, ni picaduras, ni roturas, ni impurezas, etc.) mejor será el proceso industrial desde dos puntos de vista. Primero,

mejor será la separación del endosperma amiláceo del resto del grano, y por consiguiente mayor será la extracción de harina. Segundo, con un grano sano no existirá ninguna interferencia durante el proceso industrial, por lo que contribuye a una mayor homogeneidad del producto final. Si bien existen diferencias entre los genotipos, las influencias ambientales (manejo, clima, enfermedades) son las más importantes en la determinación de la calidad física.

Para la determinación del peso hectolítrico, se utilizan recipientes estandarizados sobre los que se deja caer el grano en forma preestablecida (Figura 4.1). Tanto la forma del recipiente como la altura y velocidad con que cae el grano van a influir en el valor del peso hectolítrico determinado, por lo que es fundamental seguir las especificaciones. Internacionalmente la técnica estandarizada es la AACC 55-10 (American Association of Cereal Chemists 2000).

Cuanto mayor sea el peso hectolítrico, mejor será el trigo. Los valores establecidos en el decreto 25/998 (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca 1998) son 79 hl/kg, 76 hl/kg y 73 hl/kg para grado 1, 2 y 3 respectivamente (Cuadro 4.1).



Figura 4.1. Equipo de determinación de peso hectolítrico (Seedbuero Equipment Co, USA).

4.1.1.4. Peso de mil granos

El peso del grano, normalmente expresado como peso de mil granos (o peso de mil semillas) depende del tamaño y su densidad. En general, a mayor peso, mayor porcentaje de endospermo y por consiguiente se espera una mayor extracción de harina.

La determinación usualmente se hace pesando dos muestras de tamaño similar (por ejemplo 100 g), contando y pesando los granos, para luego hacer los cálculos correspondientes (1000 x peso de la muestra tomada/número total de granos contados). Se promedian los resultados, teniendo en cuenta que la diferencia debe ser menor a 5%.

4.1.2. Molienda integral

Si bien existen métodos de análisis que pueden trabajar sobre el grano entero, varios análisis de trigo necesitan que el mismo sea molido, y por ello se incluye este apartado. Existen dos tipos de molienda. Por un lado, está la molienda que consiste en simplemente disminuir el tamaño de partícula, formando un polvo (harina integral) que tiene la misma composición química que el total del grano (Figura 4.2). Por otro, está la molienda similar a la que se realiza en los molinos harineros, también llamada “extracción de harina”. Básicamente, ésta consiste en

la separación del endosperma del resto del grano, y su posterior disminución de tamaño. De esta forma, se obtiene un polvo blanco al que se le denomina generalmente harina de trigo o simplemente “harina”.

4.1.3. Humedad

La humedad es de importancia fundamental en la determinación de calidad de un lote de trigo, ya que es clave tanto para la conservación como para la comercialización. Un alto contenido de humedad siempre atenta contra la calidad, e incluso puede ser un factor de rechazo (Hugo y Godiño 2000). El nivel de importancia se ve reflejado en la gran variedad de metodología disponible para su análisis, cada una con sus ventajas por precisión, precio, simplicidad, velocidad o la combinación de algunos de estos factores.

En el presente texto se hace una reseña básica sobre la metodología para determinar la humedad y no se pretenden abarcar todas las metodologías disponibles, ya que existen buenas referencias nacionales (Hugo y Godiño 2000). Existen métodos directos, donde se determina directamente el contenido de agua, e indirectos, donde miden una propiedad relacionada con el contenido de agua y se estima la humedad en base a una calibración realizada previamente. Entre los primeros están el de Brown y Duvel y los de



Figura 4.2. Molino de molienda integral, Perten 3100 (Perten Instruments AB, Suecia).

secado en estufa, mientras que entre los segundos se destacan los de conductividad y los de espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR).

El método propuesto por la reglamentación nacional es el de Brown y Duvel. Con este método se utiliza un equipo específicamente diseñado, en el que destila el agua utilizando un baño de aceite a 180°C, y se mide el volumen de agua obtenida en un cilindro graduado. A nivel internacional está en desuso.

La metodología directa o primaria a nivel internacional más utilizada es la determinación por estufa: se eleva la temperatura de forma tal (100-130°C) que el agua se evapora, y se establece que la humedad es la diferencia en peso. Para una correcta determinación se debe realizar solo en muestras de tamaño de partícula muy pequeño. Por consiguiente, es necesario moler el grano de trigo. Esto debe hacerse con cuidado, ya que la molienda aumenta la temperatura causando una disminución de la humedad, sobre todo si se parte de valores altos. Por ello, se ha difundido un método de determinación de humedad por estufa en dos etapas (método de la AACC 44-15; American Association of Cereal Chemists 2000). En la primera, se baja la humedad del grano entero. Luego se muele el grano, en un proceso que casi no pierde humedad, ya que en la primera etapa se redujo a menos de 10%. Por último, se lleva nuevamente a alta temperatura de forma de evaporar el agua restante. La humedad se determina en base al peso perdido por el grano en la primera etapa y por la harina integral en la segunda.

Existen otros métodos que utilizan la evaporación en distintas condiciones de forma tal de determinar la humedad, que si bien no siguen normas tan difundidas, tienen una precisión y reproducibilidad aceptable y son más rápidos que los antes mencionados.

Dado lo engorroso de los métodos directos, la importancia de la determinación y la buena calidad de métodos alternativos, es muy común utilizar los métodos indirectos. Tradicionalmente, los humedímetros basados en conductimetría han sido los más utilizados. Si bien han probado ser muy preci-

sos, es necesario verificar la calibración con trigos locales. La espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR) ha crecido mucho en los últimos años, aunque los equipos son demasiado caros si lo único que se quiere determinar es humedad. De todos modos, también es necesario verificar la calidad de la calibración periódicamente.

4.1.4. Proteína

La determinación de proteína en trigo se ha realizado tradicionalmente por el método clásico de Kjeldahl (método de la AACC 46-12, American Association of Cereal Chemists 2000). Este método requiere primero una etapa de mineralización, donde todos los componentes orgánicos pasan a componentes inorgánicos mediante un tratamiento muy extremo con ácido sulfúrico combinado con altas temperaturas, y utilizando catalizadores. En particular, todos los grupos aminos de las proteínas pasan a solución como amonio. Luego se realiza una destilación por arrastre de vapor de agua, donde el amonio pasa a amoníaco y es retenido en una solución de ácido bórico. Por último se realiza una valoración de la cantidad de iones amonio retenidos en esta solución de ácido bórico. Con este procedimiento se determina el contenido de nitrógeno de una muestra. Para convertir ese valor a contenido proteico, es necesario multiplicarlo por un factor. En el caso del trigo, el factor es 5.7. Para el análisis de Kjeldahl existe una amplia gama de equipamientos, que va desde los relativamente simples que utilizan materiales de vidrio similares a los que se utilizaban hace más de un siglo, hasta artefactos semiautomáticos (Figuras 4.3 y 4.4).

En los años recientes, hay disponibles comercialmente equipos que utilizan la metodología Dumas (marca Leco o similares), que es más precisa y limpia, pero también requieren mayor inversión. Se basa en someter la muestra a altas temperaturas en presencia de distintos compuestos, de forma de pasar todo el nitrógeno de la muestra a nitrógeno gaseoso, y medir la cantidad de este último.

La metodología NIR es una muy buena opción, ya que se pueden comprar equipos



Figura 4.3. Digestor para Kjeldahl, modelo Kjeldatherm KB/KBL (Gerhardt Laboratory Systems, Alemania).



Figura 4.4. Destilador semiautomático para Kjeldahl Vapodest 20 (Gerhardt Laboratory Systems, Alemania).

que traen una calibración de muy buena calidad, aunque siempre se sugiere que la misma se verifique.

En Uruguay el contenido de proteínas en trigo se reporta en base a una humedad de 13.5% (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca 1998).

Este es el parámetro químico de calidad de trigo más demandado internacionalmente. Cuanto mayor es el contenido de proteína, mejor será la calidad panadera del trigo. Sin embargo, alta cantidad de proteínas no es suficiente. Es necesario que esa proteína sea de calidad suficiente, o sea, que sea capaz de formar un gluten de buena aptitud panadera.

4.1.5. Dureza

Los granos de trigo se pueden dividir en “duros” o “blandos” de acuerdo a la textura del grano. El factor clave es la presencia de un grupo de proteínas llamadas friabilinas, que inciden en la fuerza con que los gránulos de almidón están unidos entre si. Cuando esta fuerza es grande, los granos son “duros”. En este caso, la porción más frágil del endosperma será el gránulo de almidón, y por consiguiente la rotura durante la molienda será a través del gránulo. En los gra-

nos “blandos”, la unión entre los gránulos es débil y la rotura se deberá a la separación de los gránulos, que permanecerán mayoritariamente intactos (Igrejas *et al.*, 2001).

Existen varios métodos que permiten determinar dureza basándose en distintos principios: la energía necesaria para romper el grano o molerlo, el tiempo que se necesita, etc. Un método simple y recomendable es el PSI (Particle Size Index, índice de tamaño de partícula; Williams y Sobering 1986). Básicamente, el trigo integral molido se tamiza, y el porcentaje de lo que pasa en condiciones estandarizadas es el PSI: a mayor valor, más blando es el grano (método de la AACC 55-30, American Association of Cereal Chemists 2000).

4.1.6. Falling Number

El Falling Number o “número de caída” o “índice de caída” es una estimación del contenido de alfa amilasa, basándose en una viscometría de un gel formado por el almidón del trigo (Hagberg 1960). Este método fue desarrollado comercialmente por la firma Perten Instruments (Suecia), la que provee el equipo necesario para una determinación (Figura 4.5) que está ampliamente normalizada a nivel internacional (UNIT-ISO 3093-93, método de la AACC-56-81B,

American Association of Cereal Chemists 2000).

Básicamente, se pesa una cantidad de harina o harina integral y se suspende en agua en forma estandarizada en un tubo de ensayo específico. De inmediato se introduce un émbolo que cumple la función de agitador y se sumerge en el baño del equipo que debe estar a 100°C. Automáticamente, se activa un agitador que sube y baja el émbolo, formando primero una suspensión homogénea y luego un gel. A los 60 segundos, el agitador se detiene de tal forma que el émbolo queda en la parte superior del gel, y lo deja caer. El equipo determina el tiempo que transcurre desde que se inició la agitación hasta que el émbolo cayó determinada distancia. Por consiguiente, determina la viscosidad del gel formado en estas condiciones. Si existe un alto contenido de actividad alfa amilásica, la misma actuó sobre el almidón y el gel será débil. Por lo tanto, el “Falling Number” será bajo, ya que el émbolo caerá rápidamente. Dado que el tiempo se mide desde antes de iniciarse la agitación de un minuto, el tiempo de caída nunca puede ser inferior a 60 segundos. De hecho, si en el tubo sólo se coloca agua, el valor será de 62 segundos. Si no existe actividad alfa amilásica, el émbolo tardará en caer. Valores por encima de 300 segundos indican baja actividad enzimática.

Cuando se tiene trigos con bajos valores de Falling Number, es importante tener en cuenta que no se trata de una propiedad aditiva. Es decir, si se mezclan dos trigos en iguales cantidades, uno con un Falling Number de 100 seg y el otro con un valor de 300 seg, la mezcla no tendrá un valor de 200 seg. En realidad, el valor será sensiblemente menor. Esto es debido a que es una medida indirecta. Una aproximación adecuada se obtiene al considerar como valor aditivo el inverso del valor de Falling Number al que se le resta 62 (el tiempo en segundos que cae el agitador si no hay harina en el tubo). O sea, para el ejemplo anterior:



Figura 4.5. Falling Number (Perten Instruments AB, Suecia).

$$\begin{aligned}
 \text{Falling Number mezcla} &= 62 + \frac{1}{\frac{1}{\text{Falling Number A} - 62} + \frac{1}{\text{Falling Number B} - 62}} \\
 &= 62 + \frac{1}{\frac{1}{300 - 62} + \frac{1}{100 - 62}} = 128 \text{ seg}
 \end{aligned}$$

Otro aspecto a tener en cuenta es que este análisis requiere un muestreo de trigo especial. Como todo producto de la naturaleza, dentro de una partida de trigo, su composición tiene una variación grano a grano, pero esta variación es para la mayoría de los parámetros muy pequeña. En el caso de que una partida de trigo tenga algunos granos pregerminados, éstos tendrán una actividad alfa-amilásica que puede llegar a ser más de 100 veces mayor que un grano no germinado. Por lo tanto, si la muestra es pequeña (25g o menos), existe una alta probabilidad de que la muestra no sea representativa. A los efectos de minimizar este inconveniente, se sugiere moler no menos de 250g de trigo (Tipples 1969, Tipples 1971).

4.1.7. Gluten

La propiedad que tienen las proteínas funcionales del trigo de unirse para formar la red llamada “gluten” es utilizada para su análisis.

En el procedimiento analítico, primero se forma una masa con trigo integral molido o harina y una cantidad preestablecida de agua. Esta masa se lava con una corriente de agua o una solución salina diluida. Durante este lavado se separa de la masa el almidón y otros componentes solubles en agua (polisacáridos, minerales, y proteínas no formadoras de gluten, principalmente). Al finalizar el lavado, queda una masa muy elástica formada por las proteínas formadoras de gluten más el agua que dichas proteínas retienen, que es casi el doble del peso de la proteína. A esta masa se le llama “gluten húmedo”. El valor normalmente se informa en forma de porcentaje.

En general, el valor de gluten húmedo está altamente relacionado con el contenido de proteínas. Para que el gluten se forme, la proteína debe mantener sus propiedades funcionales. Por ejemplo, si el trigo fue sometido a un tratamiento térmico a temperaturas relativamente altas con el objetivo de ser secado, las proteínas perdieron sus propiedades funcionales. Por lo tanto, aunque el valor de proteínas sea alto, puede tener un bajo porcentaje de gluten húmedo, o incluso no formarse durante el amasado.

Si el porcentaje de gluten húmedo está por encima de 30, se considera que es un muy buen valor.

Si bien el parámetro que se informa generalmente es gluten húmedo, también se puede obtener el “gluten seco”, que es la misma masa luego de un proceso de secado. Su valor se reduce a poco más de un tercio del valor de gluten húmedo.

El análisis se puede realizar manualmente (método AACC 38-10, American Association of Cereal Chemists 2000), pero su reproducibilidad no es muy buena, por lo que se recomienda el uso de los equipos mecanizados que realizan el lavado en forma automática. Si bien existen equipos de distintos orígenes, el más estandarizado internacionalmente es el Glutomatic (Figura 4.6), de la firma sueca Perten Instruments (UNIT-ISO 944-94, AACC 38-12, American Association of Cereal Chemists 2000).

El Glutomatic, además de proveer el dato de gluten húmedo en 6 minutos, y el valor de gluten seco en un minuto más, permite también determinar el Gluten Index. Para ello, el gluten húmedo se centrifuga en un dispositivo perforado, de forma tal que solo un



Figura 4.6. Glutomatic (Perten Instruments AB, Suecia).

porcentaje de la masa pasa a través del mismo. El porcentaje de gluten húmedo que no traspasa ese tamiz en esas condiciones es el Gluten Index. De acuerdo con el fabricante, un valor alto (por encima de 90) significa que es un trigo “fuerte”. Es de hacer notar que el Gluten Index fue desarrollado para trigos europeos, que en general son más débiles que los uruguayos. Por consiguiente, en nuestro país es muy común observar valores por encima de los 90.

4.1.8. DON

Se puede realizar la determinación de la micotoxina DON sobre trigo molido integral mediante métodos que van desde sencillos de baja precisión, a otros más complejos y confiables. Entre los primeros, los métodos basados en kit de ELISA son muy atractivos por requerir una baja inversión inicial. En el extremo de los métodos más precisos están los cromatográficos, ya sea de capa fina (TLC), gaseosa (GLC) o líquida (HPLC). Una metodología intermedia que ha mostrado ser muy útil en los programas de INIA es el fluométrico (FluoroQuantâ) (Plattner 1999, Pomeranz *et al.*, 1990).

4.2. Análisis sobre harina

4.2.1. Extracción de harina

Si bien muchos análisis se pueden hacer a partir del trigo entero o molido integral, en otras ocasiones es necesario trabajar con la harina. Para ello se utilizan molinos de laboratorio que tienen la propiedad de poder extraer harina a partir de granos de trigo, con

propiedades similares a las que obtienen los molinos industriales.

Entre los molinos que permiten obtener harina a nivel de laboratorio, debemos separar entre aquellos que permiten un nivel de extracción similar al industrial (70-75%) y aquellos que si bien obtienen una harina apta para analizar, no aportan un valor de porcentaje de extracción extrapolable. Entre los primeros, el Laboratorio de Aptitud Industrial de Cultivos de INIA La Estanzuela cuenta con un Buhler MLU 202 (Figura 4.7), mientras que de los segundos, se cuenta con un Brabender Quadrumat Jr (Figura 4.8). Cabe destacar que existen otras opciones a nivel comercial.

4.2.2. Análisis físico-químicos

4.2.2.1. Humedad

Los análisis de humedad en harina más utilizados son los basados en gravimetría por estufa y las espectrofotometrías de infrarrojo cercano, similares a las descriptas para trigo.

El valor de humedad es importante *per se* por la conservación de la harina, pero a su vez es necesario para la realización de otros análisis. Por ejemplo, es un requisito previo para la determinación de Falling Number o la realización de alveogramas. También es esencial para poder presentar el dato referido a la humedad, como en el caso del contenido de proteínas.

4.2.2.2. Falling Number

Los mismos conceptos vertidos para trigo, son válidos para harina. Cabe hacer no-



Figura 4.7. Molino Buhler MLU 202 (Buhler AG, Suiza).



Figura 4.8. Molino Brabender Quadrumat Junior (Brabender GmbH & Co KG, Alemania).

tar que como la enzima alfa-amilasa se sintetiza en la aleurona. Normalmente, solo una pequeña parte de la aleurona debería pasar a la harina. Por lo tanto, el contenido de alfa amilasa en harina será menor que en trigo, y el valor de Falling Number será mayor en algunas decenas de segundos.

4.2.2.3. Proteínas

Los mismos métodos utilizados para trigo, se pueden aplicar en harina. Como el contenido de proteínas en el endospermo es menor que en el resto del grano, la harina tendrá un contenido de proteína que en general oscila entre 0.8 y 1.5% menor.

En Uruguay normalmente se reporta en base a 14.0% de humedad (Ministerio de Salud Pública 1995). Este valor es necesario tenerlo en cuenta cuando se compara con el valor de proteína de trigo, ya que la base de humedad que utilizan el trigo y la harina son distintas.

4.2.2.4. Cenizas

Para determinar el contenido de minerales de un alimento, es una práctica usual incinerar la muestra para quemar todos los compuestos orgánicos, y pesar las cenizas residuales. Ya se dijo que en el caso de harinas, el contenido de cenizas refleja el grado de contaminación del endospermo con el resto del grano de trigo. Su importancia radica en el concepto que en general posee el consumidor en cuanto a que cuanto más blanca es una harina, mejor. Cabe resaltar que el color no tiene necesariamente ninguna relación con el resto de las propiedades tecnológicas de la harina.

Cuanto menor es el contenido de cenizas, más se acercará a la harina óptima para el consumidor. De hecho, es un valor muy utilizado para tipificar las harinas. En el Reglamento Bromatológico Nacional (Ministerio de Salud Pública 1994) se tipifican las harinas por “ceros” de acuerdo al contenido de cenizas (Cuadro 4.2)

Cuadro 4.2. Especificaciones de contenido de cenizas para harinas de acuerdo al Reglamento Bromatológico Nacional (Ministerio de Salud Pública 1994 y 1995).

| Harina tipo | Cenizas máximo, % (m/m) |
|-------------|-------------------------|
| 0000 | 0,50 |
| 000 | 0,65 |
| 00 | 0,70 |
| 0 | 0,87 |

Para su análisis se utiliza una mufla (horno especial que permite trabajar a altas temperaturas) y se incinera a una temperatura que puede oscilar entre 550 (Norma UNIT-ISO 2171-93) y 600°C (método de la AACC 08-01, American Association of Cereal Chemists 2000) durante hasta 5 horas (Figura 4.9).

4.2.2.5. Color

Como ya se ha dicho, el color de la harina es un parámetro al cual el consumidor le da mucha importancia. Sin embargo, no existe un método de análisis que tenga una difusión predominante, a pesar de que existe una tendencia a aumentar los requisitos sobre este parámetro. Hay que tener en cuenta que hay dos factores independientes que influ-

yen sobre él. Por un lado, la contaminación con salvado afecta negativamente. Por otro, existen pigmentos en el endospermo que otorgan un color amarillento o cremoso a la harina. Los primeros son claramente indeseables, mientras que los segundos pueden ser positivos en algunos casos (Kruger y Reed 1988). Este es un ejemplo claro donde la calidad depende de factores subjetivos, culturales e históricos.

Una práctica usual es medir el color de una mezcla de harina con agua mediante reflectancia a 540nm. Dado que esta longitud de onda es cercana a la visibilidad máxima del ojo humano (555nm), lo que en realidad mide este método es "brillo". El sistema es conocido como medidor de color de Kent-Jones (Kent-Jones color grader) (Figura 4.10) (Oliver *et al.*, 1992).



Figura 4.9. Mufla Thermolyne 6000 (Barnstead International USA).



Figura 4.10. Determinador de color Satake Colour Grader IV (Satake USA Inc, USA).

Está teniendo mayor difusión el uso de equipos colorimétricos con tri-estímulos basados en las curvas estándares de la Commission Internationale de L'Eclairage (CIE), que producen los parámetros L^* , a^* y b^* . Esta metodología tiene la ventaja de trabajar directamente sobre la harina (Oliver *et al.*, 1992).

4.2.2.6. Gluten

La determinación de gluten por medios mecánicos en harina es muy similar a la que se realiza en trigo molido.

Cabe realizar la consideración que el resultado esperado no es el mismo. Las proteínas formadoras de gluten están en el endosperma. Por lo tanto, el contenido de gluten es mayor en la harina que en el trigo. Sin embargo, no siempre se observa esto, ya que dependiendo del método de molienda integral del trigo y del lavado de gluten realizado, componentes del pericarpio pueden quedar retenidos en la masa de gluten formada, causando un resultado mayor que el real.

4.2.2.7. Sedimentación

A partir de la década de los años '40, Zeleny y colaboradores propusieron una técnica analítica que permitía obtener un valor muy correlacionado con el volumen de pan mediante un test muy simple (Pinckney *et al.*, 1957; Zeleny 1947). En este tipo de ensayos, la harina se mezcla con un reactivo

que contiene ácido láctico, se agita de forma de hidratar todas las partículas y luego se deja sedimentar. El almidón, las proteínas solubles, minerales y otros compuestos se disuelven en el reactivo. Por otro lado, existen proteínas formadoras de gluten que no solo no se disuelven, sino que son capaces de absorber agua e hincharse. Se ha observado que cuanto mayor sea el contenido de agua que puede absorber una proteína de gluten, mejor será su comportamiento en la panificación. Por consiguiente, el volumen de sedimentación va a ser proporcional al contenido de proteínas formadoras de gluten y de su calidad. Si bien en muchos casos se trabaja con tubos de ensayo, y por consiguiente se toma la altura del sedimento luego de determinado tiempo, la tendencia es a utilizar probetas, de forma que permite medir directamente el volumen de sedimentación.

Este tipo de tests ha tenido una amplia difusión a nivel de investigación y desarrollo, pero su uso a nivel comercial es limitado, aunque se aplica en la comercialización de trigo en Chile (Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile 1985). Si bien la metodología original (Pinckney *et al.*, 1957) ha sido estandarizada (método de la AACC 56-50, American Association of Cereal Chemists 2000), múltiples modificaciones se aplican en distintos laboratorios. Algunas de estas modificaciones incluyen SDS (lauril sulfato de sodio) a los efectos de

facilitar la hidratación de las partículas (Peña *et al.*, 1990, método de la AACC 56-70, American Association of Cereal Chemists 2000). En particular, en La Estanzuela se aplica la variación propuesta por Peña *et al.*, (1990).

4.2.3. Análisis reológicos

Si bien la reología fundamental ha tenido un importante crecimiento en la última década, aún no ha logrado igualar el suceso de la reología empírica o imitativa. Desde los años 20s se han desarrollado equipos que trabajan con la masa imitando lo que sucede durante el proceso industrial. Utilizando estos equipos es posible predecir el comportamiento de una harina durante el proceso de panificación. Su uso es sencillo y son relativamente rápidos, en comparación con reología fundamental (Menjivar 1990).

4.2.3.1. Farinograma

El farinógrafo fue liberado comercialmente en Alemania en 1930. La firma Brabender OHG (Duisborg, Alemania) provee de un equipo que permite analizar las propiedades de mezclado de una harina. Si bien el equipo estándar está provisto de amasadora de 300g, existe la posibilidad de comprar una amasadora de 50g y hasta una de 10g (Figura 4.11). Cualquiera de ellas tienen amasadores de igual geometría: dos brazos en forma de Z que rotan a distinta velocidad

en direcciones opuestas. Un dinamómetro se usa para registrar la resistencia que presenta la masa al movimiento de los brazos amasadores, a medida que el agua se agrega desde una bureta. Este sistema permite registrar una gráfica llamada «farinograma», donde se grafica la resistencia versus tiempo. Esta resistencia o «consistencia» es expresada en unidades Brabender (UB). El registro es en un papel en el que en el eje horizontal un centímetro equivale a un minuto (tiene impresa una línea cada 30seg) y tiene marcas horizontales cada 20BU (Figura 4.12).

La cantidad de agua a agregar debe ser tal que la máxima consistencia sea de 500 UB. Para ello, usualmente es necesario realizar más de un intento, hasta que se logra agregar la cantidad adecuada de agua, sin realizar ninguna interrupción durante su agregado. Esta cantidad de agua se le llamará «absorción farinográfica» o simplemente «absorción». Este valor es de relevancia económica para el panadero, ya que cuanto mayor sea la absorción de agua, mayor cantidad de pan se puede elaborar con la misma cantidad de harina. Un valor de absorción por debajo de 55% (55 litros de agua para 100 kg de harina) se considera muy bajo. El valor deseable usualmente está por encima de 60%.

Del farinograma se pueden obtener diversos parámetros (Figura 4.12). El tiempo de



Figura 4.11. Farinógrafo (Brabender GmbH & Co KG, Alemania).

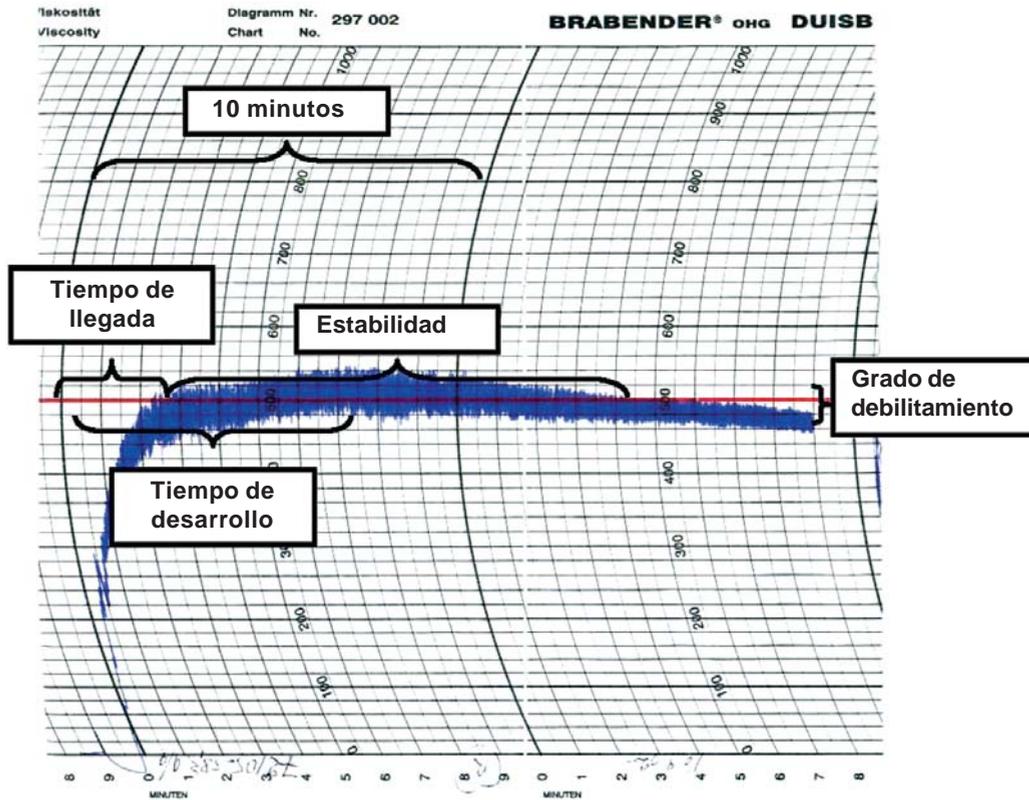


Figura 4.12. Equipo de determinación de peso hectolítrico (Seedbuero Equipment Co, USA).

llegada se expresa en minutos, y es el tiempo que transcurre desde que se inició el amasado hasta que la parte superior de la gráfica llega a la consistencia máxima de 500 UB. El “tiempo de desarrollo” o “tiempo de amasado” es el tiempo en minutos que transcurre desde que se agrega el agua a la harina y el tiempo inmediatamente anterior a los primeros signos de la disminución de la consistencia.

El parámetro más importante a obtener de un farinograma es la estabilidad: es el tiempo que va desde que la gráfica llegó a la consistencia de 500UB hasta que toda la gráfica queda por debajo de la misma línea. Durante el amasado, tanto industrial como analítico, luego de llegar a la formación de la red de gluten, si se siguen aplicando deformaciones, la misma se empieza a debilitar. Cuando se llega a este debilitamiento se dice que la masa está “sobremezclada”

(overmixing) o “sobreamasada”. La resistencia a este sobreamasado es lo que se conoce como “estabilidad al amasado”. Cuanto mayor sea la estabilidad, más adecuada será la harina para la panificación mecanizada. Esta propiedad es menos importante cuando la panificación es artesanal, ya que el panadero estará cerca de la amasadora para prevenir el sobreamasado.

Otro valor muy utilizado es el grado de debilitamiento: la diferencia en altura entre el centro de la curva en el tiempo de desarrollo y el centro de la curva 12 minutos después de ese punto. En algunos casos, lo que se solicita es el grado de debilitamiento pero 20 minutos luego del tiempo de desarrollo (Miller *et al.*, 1956, Steffe 1996).

Si bien el origen del farinograma es alemán, el equipo ha tenido una gran difusión en muchos otros países, incluyendo Estados Unidos y en los últimos años, Uruguay.

La metodología está estandarizada por la norma UNIT-ISO 5530-1-94 y el método AACC 54-21 (American Association of Cereal Chemists 2000).

4.2.3.2. Mixograma

El mixógrafo fue desarrollado por la National Manufacturing Division (TMCO, Lincoln, NE, USA) en 1933 (Figura 4.13). Si bien se utiliza casi exclusivamente en centros de investigación, es una alternativa muy atractiva al farinógrafo ya que permite realizar los análisis en forma más rápida.

El sistema de mezclado consiste en dos pares de pequeñas varillas verticales delga-

das de acero inoxidable ("pins"), que se mueven en rotación planetaria alrededor de otros tres pins que están fijos y equidistantes en el recipiente de amasado. Este recipiente está adherido a una base que puede oscilar sobre un eje vertical. Cuando esta base se mueve, se registra la resistencia en un papel o en formato electrónico (Figura 4.14). La cantidad de agua que se agrega depende de la cantidad total de proteína que contiene la harina. Las amasadoras disponibles son para 2, 10 o 35 gramos (Dong *et al.*, 1992, Hosenev 1985, Miller *et al.*, 1956, Steffe 1996).

Si bien se pueden obtener una mayor cantidad de parámetros, los más utilizados del



Figura 4.13. Mixógrafo (National Manufacturing Division TMCO, USA).

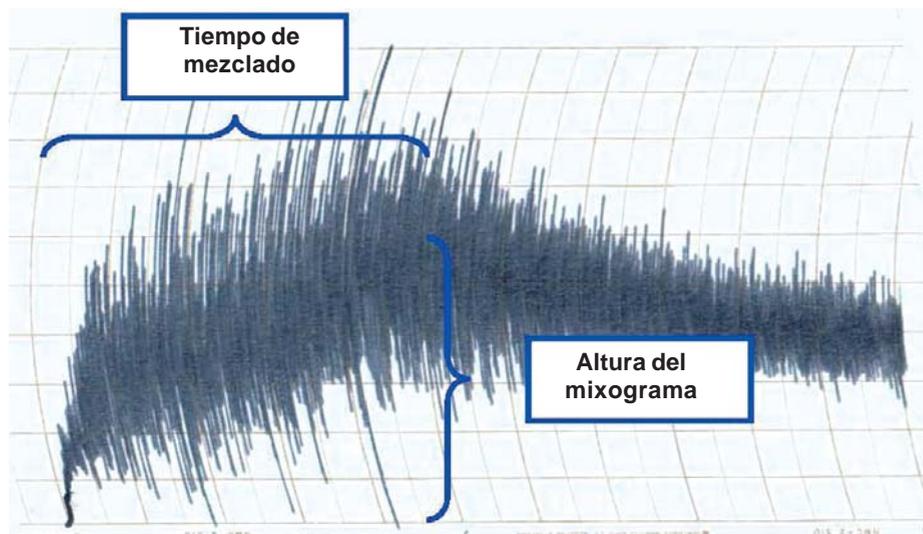


Figura 4.14. Mixograma.



Figura 4.15. Alveógrafo (Chopin Technologies, Tripette et Renaud, Francia).

mixograma son el tiempo de amasado o tiempo de desarrollo o tiempo de mezclado, y la altura máxima del mixograma (Figura 4.14).

Dado que tanto el farinógrafo y el mixógrafo miden características muy parecidas, sus resultados están altamente correlacionados. De todas formas, cabe destacar que como sus geometrías son distintas y las cantidades de agua que se agrega son distintas, no siempre sus valores son intercambiables (Safari-Ardi and Phan-Thien 1998).

El mixógrafo ha sido estandarizado (método AACC 54-40), aunque su baja difusión comercial ha causado que no exista una técnica de UNIT-ISO.

4.2.3.3. Alveograma

Dada la necesidad de contar con un equipo que pueda predecir el comportamiento de una harina durante la panificación, en Francia se desarrolló el alveógrafo en 1937 (Viot 1995). Dado que en Uruguay la industria panificadora sigue la escuela francesa, es hoy el equipo reológico más utilizado.

En un alveógrafo (Chopin Technologies, Tripette et Renaud, Francia), la masa se prepara en su amasadora con harina (250g), agua (125ml, a ajustar dependiendo el contenido de humedad de la harina) y cloruro de sodio mezclados un tiempo estandarizado de 8 minutos. La masa se lamina y se cortan cinco discos, que se dejan descansar 20 minutos a 25° C en una cabina especialmente diseñada. A continuación se coloca sobre

una base, se sujeta con un aro y se infla con aire que fluye a velocidad de volumen constante desde el centro de dicha base (Figura 4.15). Este proceso da lugar a una burbuja de masa prácticamente esférica (Figura 4.16). La presión necesaria para inflar la burbuja se registra hasta que ésta se rompe. La



Foto 4.16. Burbuja de masa formada con un alveógrafo.

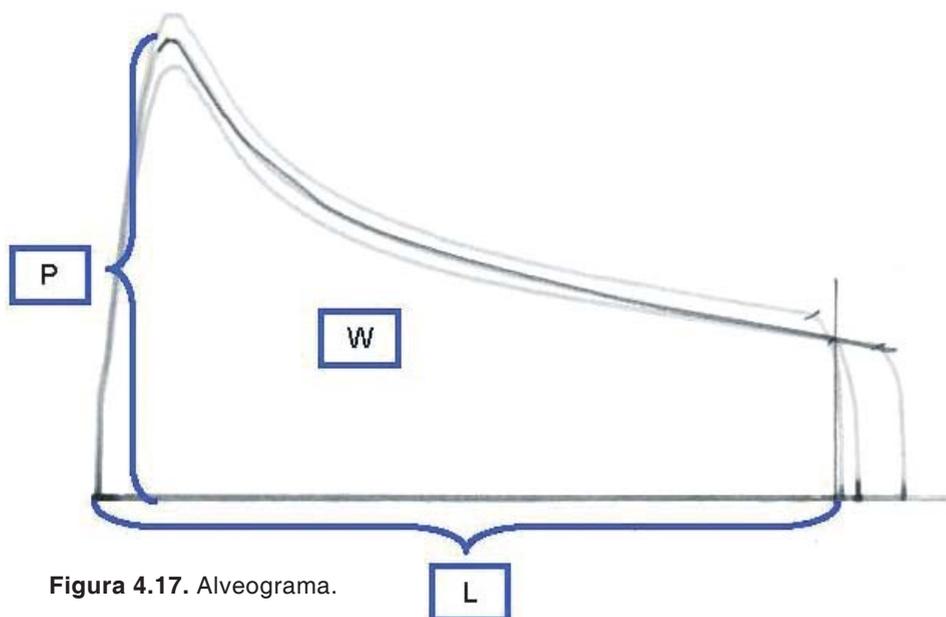


Figura 4.17. Alveograma.

curva obtenida es llamada alveograma (Figura 4.17) (Steffe 1996). La curva rápidamente aumenta hasta un máximo; una vez que la pared de la burbuja se vuelve más delgada a causa del inflado, la resistencia disminuye lentamente, ocasionando la forma característica (Blokma 1957; Launay *et al.*, 1977a, b). Este registro puede hacerse en papel o en forma digital mediante un "Alveolink".

Del alveograma se pueden obtener varios parámetros. El más utilizado es el W, o fuerza panadera. A partir del área bajo la curva, y mediante una simple multiplicación por un factor, se puede calcular el trabajo necesario para inflar la burbuja hasta que se rompe. Usualmente el valor de W se expresa en diezmilésimos de joules ($j \times 10^{-4}$). Cuando el W es menor a $200 j \times 10^{-4}$ se considera un trigo de masa débil, mientras que si el valor es mayor a $300 j \times 10^{-4}$ se considera un trigo de masa fuerte.

La altura máxima de la gráfica, expresada en milímetros y multiplicada por 1.1, es llamada tenacidad o resistencia máxima o simplemente "P". La distancia que va desde que se inicia el inflado hasta que la burbuja se rompe, expresada en milímetros, es llamada extensibilidad o L. Más que informar tan solo el valor de P o de L por si solos, muchas veces se informa su cociente: P/L.

Cuando este valor es alto (por encima de 1.5, y sobretodo por encima de 2.5) se tiene una masa demasiado elástica, que resiste a ser extendida. Por consiguiente, el pan obtenido será de bajo volumen. Cuando el valor de P/L es muy bajo (0.5 o menos), la masa tendrá tan poca elasticidad que probablemente el pan no pueda mantener su forma. De lo dicho, se desprende que un valor de P/L entre 0.5 y 1.5 es óptimo.

El alveograma está estandarizado por el método de la AACC 54-30 y por la norma UNIT-ISO 5530-4-93.

Si bien el uso del alveógrafo es muy extendido en Francia, España y varios países en América del Sur, es aún muy resistido en otras regiones del mundo (Preston *et al.*, 1987; Chen y D'Appolonia 1985). El principal defecto que se le asigna es que trabaja con cantidad de agua constante, cuando hay harinas que necesitan distinta cantidad de agua para lograr sus propiedades óptimas. Otro problema es que la absorción con que trabaja (50%) está muy por debajo de la que se utiliza en panificación. El primero de estos problemas ha recibido atención por parte de los fabricantes, ya que Chopin ha desarrollado el Consistógrafo. Es un equipo similar al alveógrafo, pero que tiene un sensor en la amasadora, que permite conocer la presión de la masa, o sea, su consistencia. La

metodología propone agregar agua hasta lograr determinada consistencia, y luego realizar el alveograma sobre esta masa. Si bien el método ya ha sido estandarizado por la AACC y la ICC, su uso aún no tiene mayor difusión.

4.2.3.4. Extensograma

Casi simultáneamente con el desarrollo del alveógrafo en Francia, se desarrolló el extensógrafo por la empresa alemana Brabander (Brabender OHG, Duisburg, Alemania).

Para su utilización, se toma un cilindro de masa obtenido con el farinógrafo. El mismo es sostenido horizontalmente con un cepo, y luego es extendido en forma vertical desde el centro del cilindro, a velocidad constante. Se registra la fuerza necesaria para este movimiento versus tiempo, dibujando lo que se llama extensograma o extensigrama. Similarmente a lo que sucede con el alveógrafo, los parámetros más importantes están relacionados con el área, resistencia máxima y extensibilidad al momento de ruptura (Mailhot and Patton 1988, Steffe 1996).

Su difusión es mucho menor a la del alveógrafo. Entre sus desventajas está que la preparación de muestra es bastante tediosa, y que la extensión es uniaxial, en com-

paración con la extensión biaxial del alveógrafo.

4.2.3.5. Texturómetro

Si bien los equipos antes mencionados han tenido y se espera que tengan una amplia difusión, existen situaciones especiales en las que pueden no cumplir con los requisitos del analista. Por ejemplo, algunos ensayos de extensibilidad se deben realizar con cantidades pequeñas de muestra, pero ni el alveógrafo ni el extensógrafo pueden utilizarse con menos de 250g de harina. En otros casos, se necesitan probar distintas velocidades de extensión, lo que no es permitido por la metodología estándar.

Para solucionarlo, se puede recurrir al uso de un texturómetro con algunas adaptaciones especiales. Básicamente, un texturómetro o analizador de textura contiene un brazo que sube o baja a velocidad o fuerza constante.

El uso que ha encontrado mayor difusión es el de ensayos de micro-extensibilidad (Figura 4.18) (Anderssen *et al.*, 2004, Basman *et al.*, 2002, Békés *et al.*, 2003, Grausgruber *et al.*, 2002, Ingelin and Lukow 1998, Kieffer *et al.*, 1998, Purcell *et al.*, 2000, Suchy *et al.*, 2000, Uthayakumaran *et al.*, 1999, Wieser *et al.*, 2000). Distintos trabajos han mostrado su correlación tanto con otros mé-



Figura 4.18. Ensayo de microextensibilidad utilizando un texturómetro CNS Farnell QTS-25 (Brookfield Engineering Laboratories Inc, USA).

todos extensionales como con propiedades de panificación (Grausgruber *et al.*, 2002, Kieffer *et al.*, 1998, Suchy *et al.*, 2000, Vázquez *et al.*, 2005).

4.2.4. DON

Los métodos analíticos aplicados a harina son los mismos que los que se aplican a trigo molido integral. En Uruguay está reglamentado que las harinas no pueden contener más de 1 ppm (mg/kg) de DON (Ministerio de Salud Pública 2001).

4.2.5. Otros análisis

Existen otros análisis que si bien tienen menor difusión en lo que tiene que ver con la calidad del trigo, corresponde mencionarlos en el presente texto.

El “dañado de almidón” o más precisamente, dañado de gránulo de almidón, es un parámetro de gran importancia en cualquier industria que procese harinas. Dependiendo de la dureza del grano y de cómo fue molido, los gránulos de almidón tendrán mayor o menor daño. Para la determinación de “dañado de almidón”, se utilizan métodos enzimáticos o no enzimáticos (iodometría) (Morgan *et al.*, 1995).

En la panificación, una harina con alto dañado de almidón tendrá mayor cantidad de almidón expuesto y, por lo tanto, absorberá más agua. Esta consecuencia es positiva para el panadero, pero no lo es para la fabricación de galletitas, ya que en el horneado se debe evaporar el exceso de agua agregado. Por consiguiente, los trigos duros, que causarán mayor dañado de almidón, se desarrollan para panificación y los trigos blandos son aptos para la fabricación de galletitas. A su vez, la mayor exposición del almidón brinda una ventaja extra al panadero ya que permite una mayor fermentabilidad y por consiguiente una mayor producción de gas, con el consecuente aumento en el volumen. Cabe hacer notar que el dañado de almidón también puede ser modificado con ajustes en el proceso de molienda (Morris 1998, Iglesias *et al.*, 2001).

Dado que las proteínas de un trigo son los principales determinantes de su calidad,

existen varios tipos de análisis de proteínas que son relevantes. Entre estos análisis, se incluyen las electroforesis (Khan *et al.*, 2003). En este método se separan las proteínas en geles de poliacrilamida en base a su tamaño y a su carga eléctrica, permitiendo saber qué proteínas (o qué cadenas polipeptídicas) están presentes. Por lo tanto es un análisis básicamente cualitativo, aunque en algunas condiciones también puede ser cuantitativo. Existe una importante gama de variantes, que permite separar solo gluteninas o gliadinas, o una parte de cada grupo. Entre sus usos más frecuentes, está el establecer un ranking de calidades en base a cuales son las gluteninas de alto peso molecular presentes (Payne *et al.*, 1982, Payne *et al.*, 1987). Paralelamente, las electroforesis de gliadinas han mostrado ser muy útiles para ser aplicadas en identificación varietal (Bushuk *et al.*, 1978, Lookhart *et al.*, 1990, Zillman *et al.*, 1979a, b).

Las cromatografías líquidas de alta resolución (HPLC) permiten separar a las proteínas en grupos, o a los grupos en cada uno de sus componentes, y cuantificarlos. Esta tecnología ha encontrado una amplísima difusión en muchas áreas analíticas, y las proteínas formadoras del gluten no son una excepción (Díaz Dellavalle *et al.*, 2006, Lookhart *et al.*, 2003, Preston *et al.*, 2003). La más difundida es la SE-HPLC (size exclusión-HPLC, HPLC de exclusión por tamaño), que permite separar las gluteninas polimerizadas de las monoméricas, y hasta estimar la distribución de su peso molecular (Dalla Rizza *et al.*, 2005, Haraszi *et al.*, 2008, Labuschagne *et al.*, 2004, Larroque *et al.*, 2000). También la RP-HPLC (reverse-phase-HPLC, HPLC de fase reversa) ha encontrado su aplicación, ya sea para determinaciones cualitativas (Weegels *et al.*, 1996) como cuantitativas (Wieser *et al.*, 1994).

4.2.6. Panificación

Como se puede apreciar en el presente texto, la calidad de trigo y de harina es altamente compleja. Existen muchos factores que actúan simultáneamente, y en general interactúan unos con otros. Por consiguiente, es muy difícil poder predecir todos los

aspectos que pueden afectar la aptitud panadera. La mejor forma de poder predecir qué tan bueno será el pan que se puede obtener a partir de un trigo, es elaborar ese mismo pan con ese mismo trigo. Por ello, existen tests de panificación que buscan poder comparar distintas partidas de trigos o harinas en forma objetiva. Estos métodos son lentos, tediosos y de difícil reproducibilidad, pero de indudable utilidad.

Al momento de elegir el test de panificación es necesario utilizar uno que represente el pan que será utilizado a nivel comercial. Por ello, si bien existen métodos estándares a nivel internacional, como el de la AACCC 10-10B (American Association of Cereal Chemists 2000), en La Estanzuela se ha desarrollado un método que representa el pan tipo francés más consumido en nuestro país (Paulley *et al.*, 1994, Vázquez 2007).

4.3. Espectrofotometría de infrarrojo cercano

Si bien la espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR o NIRS) es una tecnología para realizar algunos de los análisis que ya fueron mencionados, su importancia creciente amerita su tratamiento particular (Figura 4.19).

Esta técnica está basada en la absorción o transmisión de radiación electromagnética en la región más cercana del espectro visible (luz infrarroja cercana). La espectroscopia clásica puede en teoría determinar la concentración de compuestos químicos. Sin embargo, esta información es enmascarada por interferencias entre los distintos componentes y otros factores como por ejemplo el tamaño de partícula. Cuando se utiliza como método indirecto, basado en previas calibraciones, la espectrofotometría NIR se convierte en una poderosa técnica capaz de realizar análisis en forma simple y rápida, eliminando o minimizando las posibles interferencias (Hruschka 2001, Miller 2001).

Si bien existen referencias desde hace más de 30 años (Williams 1975), esta tecnología ha tenido un gran crecimiento en las últimas dos décadas. Este fenómeno se explica por un lado, por avances en sensores infrarrojos, y por otro por los progresos en tecnologías de computación, tanto hardware como software. Hoy en día se dispone de equipos con monocromadores que permiten obtener información en más de 1000 longitudes de ondas en segundos (MacClure 2001). Un motivo más para su amplia difusión es el tipo de muestra que utiliza: puede ser harina, trigo molido integralmente o simplemente



Figura 4.19. Espectrofotómetro de infrarrojo cercano NIRSystems 6500 (Foss NIRSystems Inc, Denmark)

te grano. El tamaño de muestra puede llegar a ser muy pequeño, y el análisis es no destructivo (Williams 2001).

Básicamente, un haz de luz de determinada longitud de onda incide sobre la muestra. El equipo puede determinar la intensidad de la luz que refleja (equipos basados en reflectancia; NIR) o pasa a través de la muestra (equipos basados en transmitancia; NIT), y registra el valor. Un software específico toma la información, y la compara con otros datos obtenidos de cientos de muestras de composición conocida. En base a algún cálculo estadístico (análisis de regresión simple, regresión múltiple, componentes principales o PCA, cuadrados mínimos parciales o PLS, redes neuronales, etc.) el software permite predecir cual es el valor de la propiedad a estudiar (Hruschka 2001, Williams 1996).

Dado que es una metodología indirecta, los equipos de NIR deben ser calibrados. Muchas veces esta calibración viene de fábrica, y otras veces se puede o se debe realizar por el mismo usuario. Cada una tiene sus ventajas y desventajas, pero lo importante es verificar su aplicabilidad periódicamente.

Es posible realizar distintas determinaciones, con distinta precisión, que se puede ajustar o no a los requisitos del usuario. Los valores que mejor predice la tecnología NIR son los de humedad y proteína, con errores comparables o menores a los de los métodos de referencia (Williams 1996, Vázquez *et al.*, 2007).

Para el resto de los componentes de calidad de trigo, es necesario prestar atención a cual es la precisión de la predicción, y si ésta es útil o no a los intereses del usuario. Por ejemplo, Miralbés (2003) realizó una calibración basándose en 443 muestras, y si bien obtuvo valores de coeficiente de determinación de 0.99 para proteína y 0.95 para gluten húmedo, no obtuvo tan buenos valores para el resto de los parámetros. En particular para el W de alveograma el coeficiente de determinación fue de 0.84, pero hay que tener en cuenta que para ese particular set de muestras el coeficiente de determinación de W a partir de proteínas era aún

mayor: 0,86. Por lo tanto, aparentemente esta calibración podía estar prediciendo en realidad proteína, y no la propiedad que se quería determinar, el W. Se han reportado predicciones útiles para, entre otros, contenido de aminoácidos (Fontaine *et al.*, 2002), estabilidad farinográfica (Williams *et al.*, 1988), tiempo de mezclado de mixograma (Delwiche 1998), dureza (Vázquez *et al.*, 2007, Williams 1996), contenido de gluteninas (Wesley *et al.*, 2001) y volumen de sedimentación (Cozzolino *et al.*, 2006, Delwiche 1998, Vázquez *et al.*, 2007).

En resumen, la tecnología NIR tiene un altísimo potencial de aplicación en calidad de trigo, pero debe aplicarse con las precauciones correspondientes.

5. TRIGOS DE BUENA CALIDAD PARA USO FINAL

5.1. Requisitos

Teniendo en cuenta lo antes mencionado sobre composición y propiedades del trigo, y sobre cómo analizarlo, es posible entonces profundizar en cuales son los requisitos que se le exigen a un trigo para que sea de buena calidad industrial.

Ya se introdujo sobre qué es calidad física y molinera. Ambos conceptos son relativamente simples y lineales, por lo que no requieren mayor profundización. Pero los criterios para calidad de producto final en general, y de calidad panadera en particular, son más complejos.

Esta complejidad es multidimensional. Primero, la composición del grano es compleja. Las proteínas, apenas un octavo del peso de la harina, juegan un rol fundamental en la determinación del potencial panadero de un trigo. La cantidad es clave, pero también se debe tener en cuenta cuales están presentes y en qué proporción. La complejidad del tema queda evidente cuando se recuerda que se ha reportado más de 1200 cadenas polipeptídicas distintas en un solo grano de trigo (Gianibelli 2001). A su vez, otros componentes minoritarios, como pentosanos, tienen una influencia relevante,

con una complejidad *per se* (Wang *et al.*, 2004) y con una varios tipos de interacción con el gluten (Vázquez 2008). Segundo, la exigencia es compleja, ya que se le exige a la harina simultáneamente varios requisitos: que sea capaz de absorber la mayor cantidad de agua posible, que la masa se pueda extender y a su vez mantenga la forma que se le dio, etc. Tercero, para un tipo de productos finales se tendrá determinadas exigencias, y para otros, se le exigirá otros requisitos u otros valores. Un claro ejemplo: un pan dulce requerirá un gluten fuerte, capaz de soportar los ingredientes pesados e inertes (fruta abrillantada, nueces, etc.), mientras que una pizza necesita una masa extensible.

A su vez, se debe agregar los distintos criterios de “buen producto final”. Si nos limitamos al pan, vamos a ver que si el pan es de molde (tipo americano o lactal) se pretenderá que la miga sea uniforme y finamente dividida. De esta forma, al untar el pan con un producto, como manteca o mayonesa, la misma no traspasa la rebanada. Pero si el pan es tipo francés, se buscará que la distribución de celdas sea heterogénea, con una miga abierta, para favorecer la liberación de sabores y formar la textura deseada. Una simplificación en este sentido es que existe consenso general en que cuanto mayor sea el volumen del pan, se considera que el trigo es mejor. Claro que también existen detractores de esta regla, y aunque se tome como tal, debemos considerar que el proceso de panificación también será clave: distintos procesos favorecerán distintos trigos.

Como conclusión de lo antes dicho, es evidente que la selección del mejor trigo no siempre es simple. Para poder definir con precisión la calidad de un trigo no es suficiente contar con uno o dos valores. Tanto que a veces se realizan reportes con 15 o más parámetros. Por consiguiente, cuando se comparan los resultados de calidad de dos trigos es muy difícil poder decir cual es mejor, ya que si bien uno puede tener una propiedad mejor, otro puede tener mejor otra.

Teniendo en cuenta esta complejidad, podemos analizar algunos puntos claves.

5.1.1. Requisitos para panificación

5.1.1.1. Gluten fuerte

Para tener un trigo de buena calidad panadera se necesita tener un gluten fuerte. Ya se ha comentado la ambigüedad del concepto de fuerza (sección 3.4), pero de todas formas queda claro que es un concepto fundamental. El gluten debe ser fuerte de forma tal que su estructura sea capaz de mantener la estructura del pan.

Con el criterio general de “fuerza”, cuantos más ingredientes inertes tenga el pan, mayor será la exigencia. Llamamos “inerte” a aquel ingrediente que no colabora con la estructura del gluten. Entonces, por ejemplo un pan integral, tendrá el salvado que le dará mayor peso a la estructura, pero no contribuirá a fortalecer la red del gluten. Entre los productos de mayor consumo en Uruguay, el caso extremo es el pan dulce, donde la fruta seca es una masa inerte de peso considerable.

Si el pan será leudado y horneado en un molde, sus requisitos de fuerza serán distintos respecto a si es un pan francés leudado sobre una plancha. Al existir las paredes del molde, la estructura se podrá soportar por si misma, y por lo tanto, el requisito de fuerza puede ser menor (Sliwinski *et al.*, 2004). Pero este razonamiento es válido cuando se comparan panes de volúmenes similares. En general se pretende que el pan de molde sea un pan liviano, de volumen mayor que el pan tipo francés. Por lo tanto, la estructura que soporte la masa tendrá celdas con paredes más delgadas, y por consiguiente se requiere que las mismas sean más fuertes.

El criterio más utilizado en Uruguay para establecer requerimientos de fuerza es el W del alveograma: cuanto mayor sea, mejor será el trigo para elaborar pan. El valor mínimo requerido para W difiere con los autores, y con el producto a elaborar. La norma UNIT-ISO 951:94 sobre “Características generales” de la harina de trigo (UNIT-ISO) divide a las harinas panaderas en tres tipos:

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| Tipo A (la mejor): | $W > 280 \text{ j} \times 10^{-4}$ |
| Tipo B: | $W > 250 \text{ j} \times 10^{-4}$ |
| Tipo C: | $W > 220 \text{ j} \times 10^{-4}$ |

Cabe acotar que esta tipificación tiene un uso muy restringido, pero de todas maneras es un buen indicio de qué es lo que la industria pretende, ya que se llegó a estos valores por el consenso de diversos actores del sistema triguero nacional. La experiencia en el tema nos dice que, en general, se puede lograr un buen pan con un W de $200 \text{ j} \times 10^{-4}$, pero valores mayores son deseables. Un W mayor que $300 \text{ j} \times 10^{-4}$ va a asegurar una masa de fuerza adecuada, aún para productos exigentes. En otros países, los requisitos mínimos de W para pan francés bajan hasta $150 \text{ j} \times 10^{-4}$ (Calvel 1983). La mayoría de los trigos uruguayos tienen un valor de W que va desde 200 a $300 \text{ j} \times 10^{-4}$ (Castro *et al.*, 2007a, Ernst *et al.*, 2006).

5.1.1.2. Propiedades de mezclado

La fuerza va a estar relacionada con las propiedades de mezclado pero, además, las propiedades de mezclado son válidas *per se*, sobretodo la absorción y la estabilidad. Ya se mencionó la importancia de la absorción para el panadero. La estabilidad al mezclado históricamente no ha tenido mayor relevancia, pero el aumento de la mecanización ha aumentado su importancia. Si bien el mixógrafo se utiliza mucho a nivel académico, los valores relevantes comercialmente son los datos farinográficos.

Una absorción mayor a 60% es deseable. La estabilidad debe ser alta: no menos de 8 minutos, preferiblemente mayor a 12 minutos.

5.1.1.3. Masa equilibrada

La masa debe ser fuerte, pero a su vez, se requieren propiedades extensionales adecuadas. La extensibilidad es importante para que la expansión de la masa permita obtener un pan de alto volumen, pero siempre en un equilibrio con la fuerza del gluten (Faergestad *et al.*, 2000).

Este es un tipo de propiedades que aparentemente se ha menospreciado, pero se ha demostrado que es clave en nuestro país (Vázquez 2003, Vázquez y Watts 2004). La importancia que la bibliografía internacional le da a la fuerza, ha hecho que en algunos casos en que una harina no produce buen

pan, se solicite mayor fuerza, sin prestar atención al resto de las propiedades. Es común escuchar en estos casos frases como “el W es bajo”, pero muchas veces sucede que el problema no es fuerza sino que falta de equilibrio entre elasticidad y extensibilidad. De hecho, en muchas oportunidades se confunden estos dos conceptos, por lo que sugerimos prestar especial atención a las definiciones de estos conceptos ya mencionadas en la sección 3.4.

El alveógrafo vuelve a ser el equipo clave en estas características. En este caso, lo importante es tener un valor de P/L equilibrado. En general, se recomienda un valor cercano a 1. La norma UNIT-ISO 951:94 varía sus límites de 1.0-1.4 para la harina tipo A a 0.6-1.5 para la tipo C. En Uruguay es común obtener harinas con valores de 2.0 o aún mucho mayores, o sea, muchos trigos son tenaces (Ernst *et al.*, 2006).

5.1.1.4. Proteína (gluten)

Los requisitos antes mencionados son los que se le exigen directamente al comportamiento de la masa. Pero este comportamiento se corresponde con determinada composición. La calidad y cantidad de proteínas son los componentes claves.

Cabe considerar un concepto vertido por Finney (1985): “Cantidad de proteínas es principalmente una función del ambiente, y calidad depende básicamente del genotipo; sin embargo, la cantidad es influenciada por el genotipo, y la calidad es influenciada por el ambiente”. No obstante, es una buena aproximación entender que el genotipo (variedad o cultivar) define la calidad de las proteínas. Por consiguiente, para conocer la aptitud panadera de un lote de trigo, se puede lograr una buena estimación conociendo solamente el nombre de las variedades y el contenido de proteínas.

La mayoría de los cultivares que se siembran en Uruguay actualmente tienen proteínas de calidad aceptable a buena (Vázquez 2004, Vázquez y Castro 2006). Para un mayor conocimiento acerca de las variedades que se cultivan, se recomienda visitar la página web del convenio INASE-INIA, que reporta anualmente información que contri-

buye a definir la aptitud de los genotipos en evaluación, además de otras características (www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/index.html).

La cantidad recomendable de proteínas en grano de trigo, expresado en base a humedad 13.5%, es al menos 11.5%, aunque es deseable una cantidad mayor a 12%. Si nos referimos a gluten húmedo, el Reglamento Bromatológico Nacional (Ministerio de Salud Pública 1995) sugiere un valor mínimo de 32% para harinas tipo A, 28% para tipo B y 24% para tipo C. Cabe acotar que la cantidad mínima de proteína establecida en dicho reglamento es tan baja que no tiene aplicación tecnológica (7%).

5.1.1.5. Otros requisitos

Independientemente de las propiedades reológicas y de las proteínas, existen otros requisitos que no pueden dejarse de lado, pero que son independientes de los primeros.

El grano debe ser de textura dura, como lo son todos los trigos cultivados en Uruguay en el presente.

El valor de Falling Number es crítico. Las variedades que se cultivan en Uruguay son adecuadas para evitar un valor bajo en las condiciones normales, pero existen años en los que existen condiciones climáticas que causan pregerminado, y por consiguiente bajos valores de Falling Number. No existe consenso sobre el valor mínimo recomendable, con una oscilación que está entre 180 y 250 segundos.

Otro componente relevante es el color de la harina producida. Es un parámetro sobre el que no se ha publicado información en Uruguay, pero dado que su importancia está en aumento no puede dejar de mencionarse.

5.1.2. Requisitos para otros productos

Las galletitas dulces (cookies) tienen una estructura que depende básicamente de otro ingrediente: el azúcar. Por consiguiente, se pretende que la red de gluten no se forme, o que sea débil. Entonces, los mejores trigos para este tipo de galletitas tendrán bajo contenido de proteína, y de gluten débil. Algunos autores discrepan con este criterio. De

todas formas, lo seguro es que no es necesario un gluten fuerte. De hecho, si bien se han propuesto tanto el alveógrafo como el farinógrafo para evaluar la calidad galletera, existen equipos específicos para estudiar la misma, pero que no se aplican en Uruguay (Menjivar y Faridi 1994).

Para las galletitas saladas (tipo cracker), que tienen un proceso de fermentación, la formación del gluten es necesaria, pero los requisitos reológicos son distintos a los de los panes: en este caso el valor clave es la baja resistencia a la extensión (Menjivar y Faridi 1994).

El requisito clave de un trigo para galletitas, tanto dulces como saladas, es que sea blando. De esta forma, el dañado de almidón durante la molienda es mínimo, y por consiguiente la absorción de agua es baja. Con una baja absorción, existe un evidente ahorro de energía durante la cocción.

Para las pastas, el color de la harina pasa a ser un requisito clave. De hecho, para la harina panadera "tipoA", el Reglamento Bromatológico Nacional (Ministerio de Salud Pública 1994) solicita una ceniza máxima de 0.60%, mientras que para harina pastera "tipo A" baja el nivel máximo a 0.50%. El otro requisito clave para las pastas es que la tenacidad sea baja.

5.2. Factores que afectan la calidad

5.2.1. Genéticos

La genética de un trigo es condición necesaria, pero no suficiente, para poder lograr una buena calidad, aunque es posible encontrar quienes creen que solo conocer el nombre de la variedad es suficiente para conocer la calidad del lote. La genética establece un rango de calidades; el ambiente establece en que punto de ese rango está el trigo.

5.2.1.1. Proteínas

Ya se dejó claro que es necesario tener buena cantidad y calidad de proteínas.

La calidad de proteínas está evidentemente definida genéticamente. Los loci relevan-

tes son el *Glu-1* (gluteninas de alto peso molecular; brazo largo del cromosoma 1), *Glu-3* (gluteninas de bajo peso molecular; brazo corto del cromosoma 1), *Gli-1* (gliadinas, brazo corto del cromosoma 1), *Gli-2* (gliadinas, brazo corto del cromosoma 6) y *Gli-3* (gliadinas, brazo corto del cromosoma 1) (Morris 1998).

El control genético de la cantidad total de proteínas es mucho más complejo, y aún no está del todo claro cómo funciona. Esto último es debido a que el contenido de proteínas es controlado por muchos genes y que, por lo tanto, existe un fuerte impacto ambiental sobre el mismo (Shewry 2007).

Además de qué proteínas están presentes y la cantidad global, el otro factor a tener en cuenta es la regulación de la cantidad relativa de los distintos grupos de proteínas, cuya complejidad es obvia. Lo importante a tener en cuenta es que existe control genético sobre la composición, lo que indirectamente incide sobre las propiedades reológicas.

Cuando el contenido proteico es bajo, la calidad de las proteínas no se puede expresar plenamente, lo que impacta sobre la fuerza panadera. Por lo tanto, con bajo contenido de proteínas, aún variedades con adecuadas cadenas polipeptídicas poseen bajo valor de W. Al aumentar la cantidad de proteínas, la diferencia se hace más evidente. Un ejemplo de esto fue presentado en las Jornadas de Cultivos de Invierno organizadas por INIA en el 2005 (Vázquez 2005; cuadro

5.1; figura 5.1) en base a datos obtenidos para el registro nacional de cultivares (Castro *et al.*, 2005a). Allí se compararon los datos de W de alveogramas y contenidos de proteínas de dos cultivares de INIA en cuatro ensayos distintos. Se puede observar que tanto proteína como W varió para ambos genotipos. El valor de W de INIA Tero, una variedad fuerte, fue mayor al valor de W de INIA Mirlo, una variedad media a débil, para un valor de proteínas similar. Cultivándose en las mismas condiciones, el W de INIA Tero fue siempre mayor que el de INIA Mirlo. En cambio, la proteína fue similar para ambos en cada uno de los ensayos. Se puede concluir que las proteínas de INIA Tero son genéticamente mejores, pero ambas variedades son genéticamente comparables en cuanto al contenido de proteínas.

La relación P/L tiene menor control genético que el W, aunque de todos modos existen diferencias entre las variedades. Por ejemplo, INIA Tijereta e INIA Tero son cultivares con predisposición a la tenacidad (Ernst *et al.*, 2006; Verges 2005). El mayor efecto ambiental radica en que cuanto mayor es el contenido de proteínas, mayor es la extensibilidad (L) y por lo tanto menor es P/L (Faergestad *et al.*, 2000, Uthayakumaran *et al.*, 1999, Vázquez y Watts 2004).

Los valores farinográficos tienen un mayor control genético que los alveográficos, aunque también existe efecto ambiental. Por ejemplo, es claro que cuanto mayor sea el contenido de proteínas, mayor es la absorción.

Cuadro 5.1. Datos de W ($j \times 10^{-4}$) de alveograma y contenido de proteínas (Pt, %) de muestras de los cultivares de trigo de INIA Tero e INIA Mirlo en cuatro ambientes (Castro *et al.*, 2005).

| Ensayo | INIA Mirlo | | INIA Tero | |
|--------|------------|-----|-----------|-----|
| | Pt | W | Pt | W |
| 1 | 13,4 | 203 | 13,5 | 299 |
| 2 | 10,3 | 166 | 9,7 | 219 |
| 3 | 11,9 | 162 | 12,2 | 321 |
| 4 | 14,0 | 249 | 14,0 | 353 |

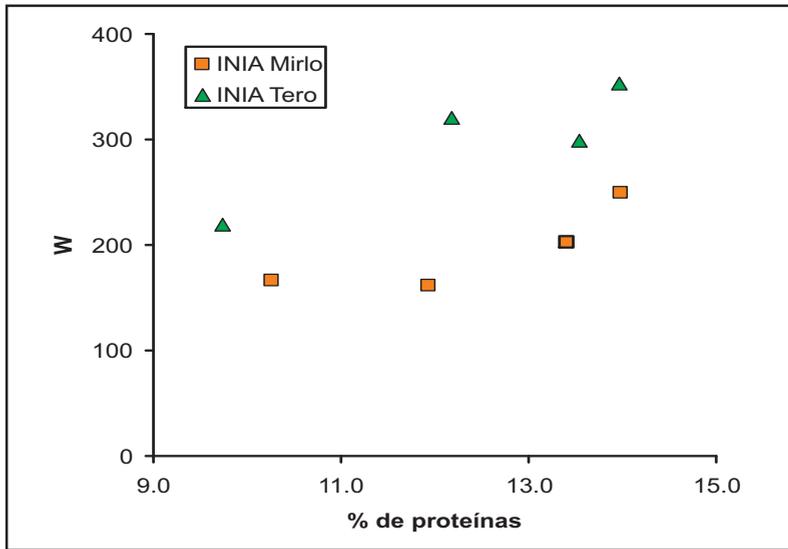


Figura 5.1. Datos de W ($j \times 10^{-4}$) vs contenido de proteínas (%) de muestras de los cultivares de trigo de INIA Tero e INIA Mirlo en cuatro ambientes (Castro *et al.*, 2005, Vázquez 2005).

5.2.2.2. Dureza

Los trigos son claramente divididos por su textura en “duros” y “blandos” en base a un solo gen (*Ha*). Dentro de cada grupo existen variaciones, pero menores que entre grupos. Cabe acotar que a mayor contenido de proteínas, mayor es la dureza (Morris 1998).

5.2.2.3. Otros componentes

La calidad física está básicamente definida por el ambiente, aunque existe influencia genética, de alta complejidad.

La calidad molinera depende básicamente de la calidad física, por lo que tiene una evidente influencia ambiental. También la dureza, que es determinada genéticamente, influye sobre la calidad molinera.

La predisposición a pre-germinar en espiga en determinadas condiciones ambientales está genéticamente determinada por los genes α -Amy-1 y α -Amy-2. De todas formas, debe haber condiciones climáticas que promuevan su expresión (Morris 1998).

El color del pericarpio está determinado genéticamente (*R-1*) (Morris 1998), así como el efecto de la PPO (polifenol-oxidasa) (Vázquez *et al.*, 2000).

5.2.2. Ambientales

Cabe acotar que en estudios de efectos genéticos, se define como efecto “ambiental” a todo efecto que no esté controlado genéticamente. Es común encontrar los efectos ambientales divididos en bióticos (básicamente, los causados por fitopatologías) y abióticos. Otro enfoque sería dividirlos en los “controlables” (por ejemplo, fertilización) y los “no controlables” (por ejemplo, precipitaciones). En este caso se dividen los efectos ambientales en cuatro grupos a los efectos de facilitar su explicación.

5.2.2.1. Suelo

El principal efecto que puede tener el suelo sobre la calidad está relacionado con el contenido de proteínas. Esto depende de la disponibilidad de nitrógeno durante el llenado de grano. Sobre este tema, existe una serie técnica de INIA que profundiza adecuadamente (García Lamothe 2004), por lo que se considera innecesario hacerlo aquí. De todas formas, es conveniente resaltar que probablemente la principal limitante de calidad de los trigos uruguayos sea la falta de disponibilidad de nitrógeno.

Cabe acotar que la disponibilidad de azufre es un componente determinante en la calidad de las proteínas, ya que el contenido de puentes disulfuro varía entre las distintas proteínas formadoras de gluten (MacRitchie y Gupta 1993, Wooding 2000).

5.2.2.2. Manejo

La regla general que se impone es que si algún componente del manejo más allá de la fertilización (por ejemplo, laboreo) causa una limitación a la disponibilidad de proteínas, entonces atenta contra la calidad (Souza *et al.*, 2004). La información que se ha publicado muestra mínimos efectos del manejo sobre la calidad (Castro y Vázquez 1997, Souza *et al.*, 2004).

5.2.2.3. Clima

La influencia climática que ocasiona los problemas más evidentes son las lluvias poco tiempo antes de la cosecha. Por un lado, se puede producir un efecto comúnmente llamado “lavado”, donde el grano pierde parte de los componentes solubles y entonces el peso hectolítrico baja. Por otro lado, la lluvia inmediatamente antes de la cosecha promueve la pregerminación en el grano. Esta pregerminación se da en genotipos susceptibles y cuando el llenado de grano sucede con determinadas condiciones climáticas, básicamente baja disponibilidad hídrica y altas temperaturas (Benech-Arnold 1997).

Hay que tener en cuenta que todo tipo de estrés a la planta puede llegar a afectar la calidad. Como regla general, cualquier extremo climático puede causar detrimento en su calidad. Por ejemplo, temperaturas en el entorno a 35°C pueden alterar la cantidad relativa de distintas proteínas del gluten (Wardlaw *et al.*, 2002). Se han reportado genotipos con resistencia genética a estrés térmico (Castro *et al.*, 2007b).

5.2.2.4. Enfermedades

Tal como sucede con efectos climáticos, el estrés que causan las enfermedades foliares afecta la calidad. El principal efecto es sobre la calidad física, causando una disminución del tamaño del grano, con el consiguiente efecto en la calidad molinera. Estos efectos pueden minimizarse utilizando

materiales resistentes o tolerantes a enfermedades o tratamientos químicos adecuados (Díaz de Ackerman *et al.*, 2006). Además, se obtienen resultados similares si se aplican tratamientos químicos para prevenirlos o combatirlos (Díaz de Ackerman *et al.*, 2006). Es probable que esta disminución de tamaño afecte más la síntesis de almidón que de proteínas, y por consiguiente la concentración de proteínas sea mayor. Pero este aumento de proteína, que puede mejorar la calidad panadera, es a costa de un detrimento de la calidad molinera y, por lo tanto, en realidad la calidad global del trigo será menor.

La fusariosis de la espiga o “golpe blanco” es la enfermedad que mayores problemas de calidad causa, fundamentalmente porque afecta directamente al grano. Primero, al dañar al grano disminuye su calidad física y, durante la molienda, será más difícil separar el endospermo del resto del grano. Por consiguiente, se extraerá menos harina y de peor calidad (más oscura y con mayor contenido de cenizas). Además, los hongos del género *Fusarium* producen exoenzimas, fundamentalmente amilasas y proteasas. Ambos tipos de enzimas actúan durante la panificación. Las primeras, contribuyen a una mayor producción de azúcares simples, que causan una serie de problemas, entre los que se destacan que la masa sea más pegajosa y el pan sea más oscuro. Las segundas afectan la red del gluten, debilitándolo, produciendo un pan de menor volumen e incapaz de mantener su forma (Gonnet y Bentancur 2004, Nightingale *et al.*, 1999, Vázquez 2002, Vázquez *et al.*, 2004). Por si todo esto fuese poco, falta mencionar el problema mayor: el *Fusarium* produce varias micotoxinas, entre las que se destaca el DON (Dexter y Nowicki 2003). Por consiguiente, en años en que el clima es favorable para la fusariosis, la calidad del trigo se verá seriamente afectada en muchos sentidos (Díaz de Ackerman y Kohli 1996).

5.3. Como lograr trigos de buena calidad

Si bien es importante entender cuales son los requisitos para que un trigo sea de calidad, y conocer cuales son los factores que

afectan la calidad, lo más importante es entender qué es necesario hacer para poder favorecer la producción de trigos de calidad. Aunque sea de Perogrullo, es necesario resaltar que al ser un producto agropecuario, es imposible asegurarse que el trigo que se produce sea de buena calidad, hasta que el mismo entra al molino. De todas maneras, si se elige la variedad adecuada y se realiza el manejo adecuado, es altamente probable obtener un trigo de buena calidad.

Básicamente, es necesario seleccionar una variedad que además de cumplir con los requisitos agronómicos deseables de buen rendimiento y sanidad sea de buena calidad, y se maneje adecuadamente. El manejo adecuado incluye selección de chacra apropiada, un buen manejo sanitario (Díaz de Ackerman *et al.*, 2006) y fertilización que cumpla con los requisitos (García Lamothe 2004). La información sobre la calidad de las variedades se puede obtener a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de cultivares que se realiza mediante el convenio INASE-INIA, que se encuentra publicada periódicamente en el sitio web www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/index.htm.

5.3.1. Calidad versus rendimiento

Mucho se ha dicho sobre la supuesta relación negativa entre rendimiento agronómico (toneladas por hectárea) y calidad. Es difícil poder ser concluyente al respecto, pero lo cierto es que es posible obtener un alto rendimiento y alta calidad simultáneamente.

Se dice que si una variedad es de alto rendimiento, no es de buena calidad. Lo que sucede es que por probabilidad es más difícil obtener una variedad que combine los alelos deseados de múltiples genes para conseguir alto rendimiento, con los alelos deseados para tener buena calidad. De todas formas, se pueden obtener cultivares con alto potencial de rendimiento y buena calidad (Verges *et al.*, 2006).

Cuando los nutrientes son limitantes y las condiciones climáticas son favorables, el rendimiento va a aumentar debido a mayor biosíntesis de almidón en el grano. Si el ni-

trógeno es limitante, la cantidad de proteínas no va a aumentar en la misma proporción. Este fenómeno es generalmente conocido como “dilución de proteínas” y puede solucionarse con una fertilización adecuada (García Lamothe 2004, 2006).

En cuanto a otros factores abióticos, recientemente se publicó un trabajo con el objetivo de analizar una serie histórica de datos de rendimiento y calidad, y se concluyó que «no siempre los rendimientos se incrementan en detrimento de la calidad» (Castro *et al.*, 2006).

5.3.2. Pago por calidad

Como se mencionó, técnicamente, es posible combinar buena calidad y alto rendimiento. Para lograrlo, muchas veces será necesario combinar insumos que pueden aumentar los costos de producción. Al respecto, ya se ha dicho que “mientras la industria no valore con un serio criterio técnico y remunere de un modo especial los trigos de condiciones panaderas excepcionales, cuando sean superados en rendimiento por otros trigos, su producción será antieconómica”. Ésta es una larga discusión. Tanto, que la frase entrecomillada fue publicada hace 80 años por Alberto Böerger (Boerger 1929).

En los países en que hay trigos de calidad, se logra porque se paga diferencialmente, siendo los casos más notorios el canadiense (Canadian Wheat Board 2008) y el australiano (www.awb.com.au/growers/nationalpool/goldenrewardscurrentseason/). En Uruguay, ningún intento en formalizar una situación equivalente ha sido fructífero.

5.3.3. Postcosecha y clasificación de trigos

Para lograr un trigo de calidad es necesario que la cosecha (y los manejos del grano post-cosecha sean adecuados) la adecuada. Dada la importancia del tema, INIA ya tiene una publicación específica sobre el mismo (Hugo y Godiño 2000).

Un aspecto importante al cosechar es no mezclar trigos de distintas características,

a menos que sea con un objetivo específico. Ya se ha mencionado que algunos trigos pueden tener aptitud para un tipo de productos, y otros trigos pueden ser buenos para otros. Si en el almacenamiento se juntan estos trigos se obtendrá una partida que no es buena para uno ni para otro. Sin embargo, si se conocen las propiedades de dos partidas de trigos homogéneas, es posible mezclarlas en determinada proporción para poder obtener un trigo de propiedades deseadas. Para ello, es posible estimar las propiedades de la mezcla, ya que la mayoría de los parámetros de calidad son aditivos, con la mencionada excepción del Falling Number.

Por último, es necesario hacer notar la importancia que tiene para la industria la uniformidad del lote. Cuanto más homogéneo sea, mejor será para el industrial ya que tendrá el “mismo” trigo desde el principio al final del proceso.

El manejo post-cosecha, lejos de ser un problema menor, ha sido visualizado como el principal déficit en la cadena agroindustrial triguera por distintos estudios y evaluaciones (Arbeletche y Gutiérrez 2003, Souto y Nozar 1995).

6. CALIDAD DE TRIGO EN INIA

La investigación en trigo en La Estanzuela empezó en el año 1914, y ya en los años '20s se desarrolló el primer laboratorio de calidad. Aún antes de tener este laboratorio, se enviaban muestras al exterior para ser analizadas (Böerger 1929). Si bien nunca se dejó de considerar la aptitud industrial, en la década de los '90s, con el aumento de la demanda, se realizó una inversión importante en equipamiento e investigación.

Los trabajos sobre aptitud industrial se iniciaron como soporte al programa de mejoramiento, pero hoy forma parte de todos los proyectos de investigación que tienen que ver con trigo. A su vez, se realizan trabajos de investigación integrados con el resto del sistema triguero uruguayo, básicamente a través de la Mesa Nacional de Trigo (www.inia.org.uy/sitios/mnt/home-mesa.htm) y se colabora con las universidades locales. Además, se participa en proyectos de inves-

tigación con pares de otros países de la región. Estos trabajos se publican por distintos medios, como ya se ha citado reiteradamente en el texto precedente.

El laboratorio de Aptitud Industrial de Cultivos de INIA La Estanzuela cuenta, al momento de realizar esta publicación, con el siguiente equipamiento para trabajar con trigo:

- Equipo para la determinación de peso hectolítrico
- Molinos Perten 3100 y Perten 3303 (molienda integral).
- Estufas para la determinación de humedad
- Equipamiento semi-automático para determinación de proteína por Kjeldahl (Kjeldatherm KB/KBL y Vapodest 20 de Gerhardt)
- Equipamiento para la determinación de dureza por PSI (Rotap Model RX 29-10 y tamices).
- Falling Number 1400
- Glutomatic 2200 con su centrífuga 2015 y secador de gluten Glutork 2020
- Molinos para extracción de harina: Quadrumat Jr. (Brabender) y Buhler MLU – 202
- Mufla para cenizas Barnstead/Thermolyne F 6020 C
- Determinador de color de harinas Satake Robison Milling System Color Grader.
- Agitador oscilatorio para determinación de volumen de sedimentación
- Farinógrafo Brabender modelo 810105 con amasadora de 50g.
- Mixógrafo National Manufacturing con amasadora de 10g
- Alveógrafo Chopin MA 95
- Texturómetro QTS Texture Analyser (CNS Farnell) con accesorios.
- Panificación: horno rotatorio, cabina de fermentación, amasadora de 100-200g, moldeadora sobadora, todos National Manufacturing.
- Espectrofotómetro NIRSystem 6500

Este equipamiento es utilizado para los trabajos de investigación internos y con asociados. A su vez, brinda servicio a otras

secciones de INIA, usuarios externos (productores, industrias, asesores, etc.), y está disponible a las iniciativas que la cadena triguera-molinera-panadera disponga.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS.** 2000. Approved Methods of the AACC, 10th Ed. Métodos 08-01, 10-10B, 38-10, 38-12, 44-15, 46-12, 54-21, 54-30, 54-40, 55-10, 55-30, 56-50, 56-70, 56-81B. The Association: St.Paul, MN, USA.
- ANDERSSON, R. S., BÉKÉS, F., GRAS, P. W., NIKOLOV, A. y WOOD, J. T.** 2004. Wheat-flour dough extensibility as a discriminator for wheat varieties. *J.Cereal Sci.* 39: 195-203.
- ARANA, S., VÁZQUEZ, D. y CALDERINI, D.** 2007. Relación entre la posición de grano en la espiga, el calibre y la calidad panadera en trigos de ciclo corto y largo. Workshop Internacional: "Eco Fisiología Vegetal Aplicada al Estudio de la Determinación del Rendimiento y la Calidad de los Cultivos de Granos" Primer Encuentro Red Raíces de Ecofisiología SECyT. Mar del Plata, Argentina.
- ARBELECHE, P. y GUTIÉRREZ, G.** 2003. Situación actual y perspectivas del mercado local de harinas de trigo. *Cangüé* 24: 54-62.
- BASMAN, A., KÖKSEL, H., y NG, P. K. W.** 2002. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. *Eur. Food Res. Tech.* 215: 419-424.
- BÉKÉS, F., LUKOW, O. M., UTHAYAKUMARAN, S. y MANN, G.** 2003. Small-Scale Quality Measurements. Pág. 61-89 en: *Wheat Gluten Protein Analysis*. Editado por Shewry, P. R. & Lookhart, G. L. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- BELDEROK, B.** 2000a. Developments in bread-making processes. Historical introduction. *Plant Foods for Human Nutr.* 55: 1-14.
- BELDEROK, B.** 2000b. The wheat grain. *Plant Foods for Human Nutr.* 55: 15-20.
- BENECH-ARNOLD, R. L.** 1997. Para que el brotado no se repita. *SuperCAMPO* 31: 22-25.
- BLOKSMA, A. H.** 1957. A calculation of the shape of the Alveograms of some rheological model substances. *Cereal Chem.* 34: 126-136.
- BÖERGER, A.** 1929. Observaciones sobre agricultura. Quince años de trabajos fitotécnicos en el Uruguay. La Estanzuela, Uruguay.
- BOZZINI, A.** 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. Pág. 1-16. En: *Durum wheat: chemistry and technology*. Editado por Fabriani, G. y Lintas, C. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- BRUZZONE, C. M. y ASP, E. H.** 1999. The cereal science and disease etiology of gluten-sensitive enteropathy. *Cereal Foods World* 44: 109-114.
- BUSHUK, W. y ZILLMAN, R. R.** 1978. Wheat Cultivar Identification By Gliadin Electrophoregrams. I.Apparatus, Method and Nomenclature. *Can.J.Plant Sci.* 58: 505-515.
- BUSHUK, W.** 1986. Wheat: chemistry and uses. *Cereal Food World* 31: 218-226.
- CALVEL, R.** 1983. La panadería moderna. Buenos Aires, Argentina.
- CANADIAN WHEAT BOARD.** 2008. Farmer payments. (www.cwb.ca/public/en/farmers/payments/; consultado el 22/01/08).
- CASTRO, M. y VÁZQUEZ, D.** 1997. Double purpose management of wheat for forage and grain production: influence on milling and baking quality. International Wheat Quality Conference. Manhattan, KS, USA.
- CASTRO, M., DÍAZ DE ACKERMANN, M., GERMÁN, S. y VÁZQUEZ, D.** 2005a. Resultados experimentales de evaluación para el registro nacional de cultivares, Trigo. Pág. 2-20. En: *Resultados experimentales de evaluación de trigos y cebadas de los últimos tres años para el registro nacional de cultivares, 2002-2003-2004*. Resultados experimentales N°2. Editado por INIA, La Estanzuela, Uruguay.

- CASTRO, M., DÍAZ DE ACKERMANN, M., VÁZQUEZ Y D. y SASTRE, M.** 2005b. Ensayos de trigo con control total de enfermedades. INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay. 14p.
- CASTRO, M., CERETTA, S. y VÁZQUEZ, D.** 2006. Análisis de la relación rendimiento de grano-calidad en trigo y factores abióticos que la afectan. Serie de Actividades de Difusión INIA 444: 30-35.
- CASTRO, M., DÍAZ DE ACKERMANN, M., GERMÁN, S. y VÁZQUEZ, D.** 2007a. Resultados experimentales de evaluación para el registro nacional de cultivares de trigo, período 2004-2005-2006. Pág. 2-27. En: Resultados experimentales de evaluación nacional de cultivares de trigos, cebadas y colzas de los últimos tres años. 2004-2005-2006. Resultados experimentales N°6. Editado por INIA, La Estanzuela, Uruguay.
- CASTRO, M., PETERSON, C. J., DALLA RIZZA, M., DÍAZ DELLAVALLE, P., VÁZQUEZ, D., IBÁÑEZ, V. and ROSS, A.** 2007b. Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution. Pág. 365-372. En: Wheat Production in Stressed Environments. Developments in Plant Breeding Vol.12. Editado por Buck, H., Nisi, J., Salomón, N., Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- CHEN, J. y D'APPOLONIA, B. L.** 1985. Alveograph studies on hard red spring wheat flour. Cereal Foods World 30: 862-867.
- COZZOLINO, D., DELUCCHI, I., KHOLI, M. y VÁZQUEZ, D.** 2006. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano para evaluar características de calidad en trigo. 2006. Agricultura Técnica 66: 370-375
- DALLA RIZZA, M., DÍAZ DELLAVALLE, P., VÁZQUEZ, D. y CASTRO, M.** 2005. Improved resolution of non silica-based size-exclusion HPLC column for wheat flour protein analyses. Cereal Chem. 82:287-289
- DELWICHE, S. R., GRAYBOSCH, R. A. y PETERSON, C. J.** 1998. Predicting protein composition, biochemical properties, and dough-handling properties of hard red winter wheat flour by near-infrared reflectance. Cereal Chem. 75:412-416.
- DEXTER, J. E. y NOWICKI, T. W.** 2003. Safety assurance and quality assurance issues associated with *Fusarium* head blight in wheat. Pág. 420-460. En: *Fusarium* head blight of wheat and barley, editado por Leonard, K. J. y Bushnell, W. R., The American Phytopathological Society, St.Paul, MN, USA.
- DÍAZ DE ACKERMANN, M. y KOHLI, M.M.** 1996. Research on *Fusarium* head blight of wheat in Uruguay. Pág 13-18. En: Proceeding of *Fusarium* head scab: global status and future prospects. Editado por Dubin, H. J., Gilchrist, L. y Reeves, J., CIMMYT, México.
- DÍAZ DE ACKERMAN, M., GARCÍA, A., VÁZQUEZ, D., GERMÁN, S. y PEREYRA, S.** 2006. Aspectos sanitarios y su incidencia en la calidad y el rendimiento. Serie de Actividades de Difusión INIA 444: 22-29.
- DÍAZ DELLAVALLE, P.; DALLA RIZZA, M.; VÁZQUEZ, D. y CASTRO, M.** 2006. Elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. Agricultura Técnica 66: 360-369.
- DIEA.** 2003. La agricultura de secano en Uruguay. Contribución a su conocimiento. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. 99p. Montevideo, Uruguay.
- DIEA.** 2007. Encuesta Agrícola Invierno 2007. Serie Encuestas N° 253. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay. (www.mgap.gub.uy/Diea/Encuestas/Se253/SE253_EncuestaAgricola_Invierno_07.htm)
- DIEA.** 2008. Comunicado de Prensa. Resultados de la encuesta agrícola "Primavera 2008". 23 de diciembre de 2008. (www.mgap.gub.uy/Diea/Comunicados/Prensa-agr%C3%ADcola-primavera-2008.pdf)
- DONG, H., SEARS, R. G., COX, T. S., HOSENEY, R. C., LOOKHART, G. L., Y SHOGREN, M. D.** 1992. Relationships between protein composition and mixograph and loaf characteristic in wheat. Cereal Chem. 69: 132-136.

- ERNST, O., CADENAZZI, M., BENTANCUR, O., GESTIDO, V., SUBURÚ, G., VÁZQUEZ, D. y GODIÑO, M.** 2006. Rendimiento y calidad de trigo. Resultados del relevamiento 2004-2005. VIII Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo. Mercedes, Uruguay.
- FAERGESTAD, E. M., MOLTEBERG, E. L., y MAGNUS, E. M.** 2000. Interrelationships of protein composition, protein level, baking process and the characteristics of hearth bread and pan bread. *J.Cereal Sci.* 31: 309-320.
- FINNEY, K. F.** 1985. Experimental breadmaking studies, functional (breadmaking) properties, and related gluten protein fractions. *Cereal Foods World* 30: 794-801.
- FONTAINE, J., SCHIRMER, B. y HERR, J.** 2002. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) enables the fast and accurate prediction of essential amino acid contents. 2. Results for wheat, barley, corn, triticale, wheat bran/middlings, rice bran, and sorghum. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3902-3911.
- GAINES, C. S., FRÉGAU REID, J., VANDER KANT, C. y MORRIS, C. F.** 2006. Note: Comparison of methods for gluten strength assessment. *Cereal Chem.* 83:284-286.
- GARCÍA LAMOTHE, A.** 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Serie técnica N°144. Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión, INIA, Uruguay.
- GARCÍA LAMOTHE, A.** 2006. El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo. Serie de Actividades de Difusión INIA 444: 8-22.
- GARÓFALO, L., FERREIRA, F., SOULE S. y VÁZQUEZ, D.** 2008. Cuantificación y caracterización de pentosanos en harinas uruguayas. VII Congreso Nacional de Trigo, I Encuentro del Mercosur. Santa Rosa La Pampa, Argentina.
- GIANIBELLI, M. C., LARROQUE, O. R., MAC RITCHIE, F. y WRIGLEY, C. W.** 2001. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chem.* 78: 635-646.
- GONNET, S. y BENCANCUR, M. J.** 2004. Método para medir actividad proteolítica de *Fusarium* sp. en harinas de trigo. *Agrociencia* 8: 39-44.
- GRAUSGRUBER, H., SCHÖGGL, G. y RUCKENBAUER, P.** 2002. Investigations on the validity of the micro-extensigraph method to measure rheological properties of wheat doughs. *Eur. Food Res. Tech.* 214: 79-82.
- HAGBERG, S.** 1960. A rapid method for determining alpha-amylase activity. *Cereal Chem.* 37: 218-222.
- HARASZI, R., LARROQUE, O. R., BUTOW, B. J., GALE, K. R. y BEKES, F.** 2008. Differential mixing action effects on functional properties and polymeric protein size distribution of wheat dough. *J. Cereal Sci.* 47: 41-51.
- HOSENEY, R. C.** 1985. Rheology of Fermenting Dough. Pág. 177-191. En: *Rheology of Wheat Products*. Editado por Faridi, H., American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- HOSENEY, R. C.** 1991. Estructura de los cereales. Pág. 1-30. En: *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Editado por Hoseney, R. C., Acibria, Zaragoza, España.
- HRUSCHKA, W.R.** 2001. Data analysis: wavelength selection methods. Pág. 39-58. En: *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. Editado por Williams, P. C. y Norris, K. H., American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- HUGO, W. y GODIÑO, M.** 2000. Tecnología de almacenamiento de granos de trigo. Serie técnica N° 107. Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión. INIA, Uruguay.
- IGREJAS, G., GABORIT, T., OURY, F. X., CHIRON, H., MARION, D. y BRANLARD, G.** 2001. Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationship to technological properties in French bread wheats. *J. Cereal Sci.* 34: 37-47.
- IICA.** 2007. Evaluación y situación de la cadena agroalimentaria de trigo. En: *Uruguay agroalimentario en cifras*. Editado por el Instituto Interamericano de Cooperación Agropecuaria, Montevideo, Uruguay.

(www.iica.org.uy/online/agroencifras/Trigo5-1.pdf)

- INGELIN, M. E. y LUKOW, O. M.** 1998. A two-gram flour test for extensibility and resistance to extension. Pág. 207-213 en: Wheat protein production and marketing. Editado por Fowler, D. B., Gedes, W. E., Johnston, A. M. y Preston, K. R. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá.
- KASARDA, D. D. y D'OIDIO, R.** 1999. Deduced amino acid sequence of an alpha-gliadin gene from spelt wheat (*spelta*) includes sequences active in celiac disease. *Cereal Chem.* 76: 548-551.
- KAHLON, T. S.** 2006. The new food guide pyramid: recomendations on grains, fruits, and vegetables. *Cereal Foods World* 51: 104-107.
- KHAN, K., NYGARD, G., POGNA, N. E., REDAELLI, R., NG, P. K. W., FIDO, R. J., y SHEWRY, P. R.** 2003. Electrophoresis of Wheat Gluten Proteins. Pág. 31-59. En: Wheat gluten protein analysis. Editado por Shewry, P. R. y Lookhart, G. L. The American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- KIEFFER, R., WIESER, H., HENDERSON, M. H., y GRAVELAND, A.** 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 27: 53-60.
- KRUGER, J. E. y REED, G.** 1988. Enzymes and color. Pág. 441-500. En: Wheat: chemistry and technology. Editado por Pomeranz, Y. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- LABUSCHAGNE, M. T., KOEN, E. y DESSALEGN.** 2004. Use of size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chem.* 81: 533-537.
- LARROQUE, O. R. y BÉKÉS, F.** 2000. Rapid size-exclusion chromatography analysis of molecular size distribution for wheat endosperm protein. *Cereal Chem.* 77: 451-453.
- LAUNAY, B., BURÉ, J. y PRADEN, J.** 1977a. Use of the Chopin Alveograph as a rheological tool. I. Dough deformation measurements. *Cereal Chem.* 54: 1042-1048.
- LAUNAY, B., BURÉ, J. y PRADEN, J.** 1977b. Use of the Chopin Alveograph as a rheological tool. II. Dough properties in biaxial extension. *Cereal Chem.* 54: 1152-1155.
- LI, W., DOBRASZCYK, B. J. y SCHOFIELD, J. D.** 2003. Stress relaxation behavior of wheat dough, gluten, and gluten protein fractions. *Cereal Chem.* 80: 333-338.
- LINEBACK, D. R. y RASPER, V. F.** 1988. Rheology and chemistry of dough. Pág. 131-215 En: Wheat: chemistry and technology. Editado por Pomeranz, Y. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- LOOKHART, G. L. y BIETZ, J. A.** 1990. Practical wheat varietal identification in the United States. *Cereal Foods World* 35: 404-407.
- LOOKHART, G. L., BEAN, S. R. y BIETZ, J. A.** 2003. HPLC of gluten monomeric proteins. Pág. 61-89 En: Wheat gluten protein analysis. Editado por Shewry, P. R. y Lookhart, G. L. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- MACCLURE, W. F.** 2001. Near-infrared instrumentation. Pág. 109-128 En: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. Williams, P. C. and Norris, K. H. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- MACRITCHIE, F.** 1992. Physicochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. *Adv. Food Nut. Res.* 36: 1-87.
- MACRITCHIE, F. y GUPTA, R. B.** 1993. Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulfur availability. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 1767-1774.
- MAGHIRANG, E. B. y DOWELL, F. E.** 2003. Hardness measurement of bulk wheat by single-kernel visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chem.* 80: 316-322.
- MAILHOT, W. C. y PATTON, J. C.** 1988. Criteria of flour quality. Pág. 131-215. En: Wheat: chemistry and technology. Editado por Pomeranz, Y. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- MENJIVAR, J. A.** 1990. Fundamentals aspects of dough rheology. Pág. 1-28. En: Dough rheology and baked product texture. Editado por Faridi, H. and Faubion, J. M. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.

- MENJIVAR, J. A. y FARIDI, H.** 1994. Rheological properties of cookie and cracker doughs. Pág. 283-322. En: The science of cookie and cracker production. Editado por Faridi, H., Chapman y Hall, New York, NY, USA.
- MILLER, B. S., HAYS, B. y JOHNSON, J. A.** 1956. Correlation of farinograph, mixograph, sedimentation and baking data for hard red winter wheat flour samples varying widely in quality. *Cereal Chem.* 5: 277-289.
- MILLER, C.E.** 2001. Chemical principles of near-infrared technology. Pág. 19-37. En: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. Editado por Williams, P. C. and Norris, K. H., American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN. GOBIERNO DE CHILE.** 1985. Reglamento para las transacciones, según calidad, de trigo para consumo. Decreto N° 244, de 29 de julio de 1985. Santiago, Chile.
- MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY.** 1998. Reglamento técnico de identidad y calidad para el trigo pan y trigo para panificación. Decreto 25/998. Montevideo, Uruguay.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY.** 1994. Reglamento bromatológico Nacional. Decreto 351/994. Montevideo, Uruguay.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY.** 1995. Modificación del reglamento bromatológico nacional. Decreto 373/995. Montevideo, Uruguay.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY.** 2001. Decreto 533/001. Montevideo, Uruguay.
- MIRALBÉS, C.** 2003. Prediction chemical composition and alveograph parameters on wheat by near-infrared transmittance spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 51:6335-6339.
- MORGAN, J. E. y WILLIAMS, P. C.** 1995. Starch damage in wheat flours: a comparison of enzymatic, iodometric, and near-infrared reflectance techniques. *Cereal Chem.* 72: 209-212.
- MORRIS, C. F.** 1998. Genetic determinants of wheat grain quality. Pág. 245-253. En: Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium. Editado por Slinkard, A. E., University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá.
- MORRIS, C. F. y KONZAK, C. F.** 2001. Registration of hard and soft homozygous waxy wheat germplasm. *Crop Sci.* 41: 934-935.
- NIGHTINGALE, M. A., MARCHYLO, B. A., CLEAR, R. M., DEXTER, J. E. y PRESTON, K. R.** 1999. *Fusarium* head blight: effect of fungal proteases on wheat storage proteins. *Cereal Chem.* 76: 150-158.
- OLIVER, J. R.; BLAKENEY, A. B. y ALLEN, H.M.** 1992. Measurement of flour color in color space parameters. *Cereal Chem.* 69: 546-551.
- ORTH, R. A. y SHELLENBERGER, J. A.** 1988. Origin, production and utilization of wheat. Pág. 1-14. En: Wheat: Chemistry and Technology, Vol. I. Editado por: Pomeranz, Y., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- PAULLEY, G., VÁZQUEZ, D., LYSENKO, E. y PRESTON, K. R.** 2004. Development and Optimization of an Uruguayan French style laboratory baking test using Canadian wheat flour. *Canadian J. Plant Sci.* 84: 949-954.
- PAULSEN, G.M., HEYNE, E.G., WALTER, T.L. y HOSENEY, R.C.** 1983. Agronomic and quality attributes of sibling hard white and hard red winter wheats. *Crop Sci.* 23: 859-862.
- PAYNE, P. I., CORFIELD, K. G., HOLT, L. M. y BLACKMAN, J. A.** 1982. Correlations Between the Inheritance of Certain High-molecular Weight Subunits of Glutenin and Bread-making Quality in Progenies of Six Crosses of Bread Wheat. *J.Sci.Food Agric.* 32: 51-60.
- PAYNE, P. I., NIGHTINGALE, M. A., KRATTIGER, A. F. y HOLT, L. M.** 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.* 40: 51-65.

- PEÑA, R. J., AMAYA, A., RAJARAM, S. y MUJEEB-KAZI, A.** 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cereal Sci.* 12: 105-112.
- PIETERS, M. N., FIOLET, D. C. M. y BAARS, A.J.** 1999. Deoxynivalenol: derivation of concentration limits in wheat and wheat containing food products. Editado por: National institute of public health and the environment, Bilthoven, Países Bajos.
- PINCKNEY, A. J., GREENAWAY, W. T. y ZELENY, L.** 1957. Further developments in the sedimentation test for wheat quality. *Cereal Chem.* 34: 16-25.
- PLATTNER, R.D.** 1999. HPLC/MS Analysis of *Fusarium* mycotoxins, fumonisins and deoxinivalenol. *Nat. Toxins* 7: 365-370.
- POMERANZ Y., BECHTEL D. B., SAUER D. B. y SEITZ L.M.** 1990. Fusarium head blight (scab) in cereal grains. Pág. 373-433. En: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. X. Editado por Pomeranz, Y., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- POSNER, E. S. y HIBBS, A. N.** 1997. Wheat: the raw material. Pág. 1-30. En: *Wheat flour milling*. Editado por Posner, E. S. y Hibbs, A. N., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- PRESTON, K. R., KILBORN, R. H. y DEXTER, J. E.** 1987. Effects of starch damage and water absorption on the Alveograph properties of Canadian Hard Red Spring Wheats. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 20:75-80.
- PRESTON, K. R. y STEVENSON, S. G.** 2003. Size exclusion chromatography and flow field flow fractionation of wheat proteins. Pág. 115-135. En: *Wheat gluten protein analysis*. Editado por Shewry, P. R. y Lookhart, G. L. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- PROGRAMA NACIONAL DE NUTRICIÓN.** 2005. Manual para la promoción de prácticas saludables de alimentación en la población uruguaya. Dirección Nacional de la Salud. Ministerio de Salud Pública. Montevideo, Uruguay. 115 p.
- PURCELL, U. G., DOBRASZCYK, B. J., TSIAMI, A. A. y SCHOFIELD, J. D.** 2000. Effects of adding gluten fractions on flour functionality. Pág. 413-416. En: *Wheat gluten*. Editado por Shewry, P. R. y Tatham, A. S., The Royal Society of Chemistry, Cornwall, Reino Unido.
- QUAGLIA, G.** 1991. El Trigo. Pág. 1-30 en: *Ciencia y tecnología de la panificación*. Editado por Quaglia, G., Acribia, Zaragoza, España.
- ROTTER, A. B., PELUSKY, D. B. y PRESTKA, J. J.** 1994. Toxicology of deoxinivalenol (vomitoxin). *J. Toxicol. Environ. Health.* 48: 1-34.
- SAFARI-ARDI, M. y PHAN-THIEN, N.** 1998. Stress relaxation and oscillatory tests to distinguish between doughs prepared from wheat flours of different varietal origin. *Cereal Chem.* 75: 80-84.
- SHEWRY, P.R.** 2003. Wheat gluten proteins. Pág. 61-89 en: *Wheat gluten protein analysis*. Editado por: Shewry, P. R. y Lookhart, G. L., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- SHEWRY, P. R., HALFORD, N. G., TATHAM, A. S., POPINEA, Y. LAFIANDRA, D. y BELTON, P. S.** 2003. The high-molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 45: 219-302.
- SHEWRY, P. R.** 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. *J. Cereal Sci.* 46: 239-250.
- SIMMONDS, D. H., BARLOW, K. K. y WRIGLEY, C. W.** 1973. The biochemical basis of grain hardness in wheat. *Cereal Chem.* 50: 553.
- SLIWINSKI, E. L., KOLSTER, P. y VAN VLIET, T.** 2004. On the relationship between large-deformation properties of wheat flour dough and baking quality. *J. Cereal Sci.* 39: 231-245.
- SOUTO, G. y NOZAR, G.** 1995. MERCOSUR: Políticas agrícolas e integración agropecuaria: el complejo agroindustrial del trigo en Uruguay. Proyecto FAO/MERCOSUR. Documento N°9. Editado por la Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay. 75pp.
- SOUTO, G.** Harina de trigo y farináceos. 1999. En: *La industria de transformación de productos agropecuarios*. Editado por la

Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay (www.mgap.gub.uy/opypa/PUBLICACIONES/Litpa/litpa_default.htm).

- SOUTO, G.** 2007. Trigo y derivados: situación y perspectivas. En: Anuario 2007. Editado por la Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay. (www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario07/docs/08_Trigo_derivados.pdf).
- SOUZA, E. J., MARTIN, J. M., GUTTIERI, M. J., O'BRIEN, K. M., HABERNICHT, D. K., LANNING, S. P., MCLEAN, R., CARLSON, G. R. y TALBERT, L. E.** 2004. Influence of genotype, environment and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Sci.* 44: 425-432.
- STEFFE, J. F.** 1996. Introduction to rheology. Pág. 1-93. En: *Rheological methods in food process engineering*. Editado por Steffe, J. J., Freeman Press, East Lansing, MI, USA.
- SUCHY, J., LUKOW, O. M., e INGELIN, M. E.** 2000. Dough microextensibility method using a 2-g mixograph and a texture analyzer. *Cereal Chem.* 77: 39-43.
- TIPPLES, K. H.** 1969. A viscometric method for measuring alpha-amylase activity in small samples of wheat and flour. *Cereal Chem.* 46: 589-598.
- TIPPLES, K. H.** 1971. A note on sample size error in the Falling Number test. *Cereal Chem.* 48: 85-90.
- TIPPLES, K. H., PRESTON, K. R., Y KILDORN, R. H.** 1982. Implications of the term "strength" as related to wheat and flour quality. *Bakers' Digest* 57(6):16-18
- UNIT-ISO.** Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Normas: 944-94, 951-94, 2171-93, 3093-93, 5530-1-94, 5530-4-93. Montevideo, Uruguay.
- UTHAYAKUMARAN, S., GRAS, P. W., STODDARD, F. L. y BÉKÉS, F.** 1999. Effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ration on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chem.* 76: 389-394.
- VÁZQUEZ, D., WATTS, B., TOWNLEY-SMITH, F., LUKOW, O. y AMES, N.** 1999. Comparison of methods used to measure polyphenol oxidase in wheat. American Association of Cereal Chemists Annual Meeting. Seattle, USA.
- VÁZQUEZ, D., WATTS, B., TOWNLEY-SMITH, F., LUKOW, O. y AMES, N.** 2000. Genotypic and environmental effect on polyphenol oxidase activity and related quality characteristics of red and white wheats. American Association of Cereal Chemists Annual Meeting. Kansas City, MO, USA.
- VÁZQUEZ, D., WATTS, B., TOWNLEY-SMITH, F. y LUKOW, O.** 2001. Influence of polyphenol oxidase activity and grain color on noodle color. II International Wheat Quality Conference. Manhattan, KS, USA.
- VÁZQUEZ, D.** 2002. Influencia del Fusarium en la calidad del trigo. En: IV Jornada de rendimiento y calidad de trigo. Mercedes, Uruguay. Pp. 45-53.
- VÁZQUEZ, D.** 2003. Características reológicas de genotipos del Cono Sur. Taller Calidad de Trigo en el Cono Sur. La Estanzuela, Uruguay.
- VÁZQUEZ, D.** 2004. Calidad de cultivares de trigo del INIA. Serie de Actividades de Difusión INIA 357:41-47.
- VÁZQUEZ, D. y WATTS, B.** 2004. Gluten extensibility: a key factor in Uruguayan wheat quality. Pág. 279-282. En: *The gluten proteins*. Editado por: Lafiandra, D., Masci, S. y D'Ovidio, R., The Royal Society of Chemists, Cambridge, Reino Unido.
- VÁZQUEZ, D.; GONNET, S.; NIN, M. and BENTANCUR, O.** Effect of *Fusarium* proteases on breadmaking properties. 2004. Pág. 429-432. En: *The gluten proteins*. Editado por: Lafiandra, D., Masci, S. y D'Ovidio, R., The Royal Society of Chemists, Cambridge, Reino Unido.
- VÁZQUEZ, D.** 2005. Componentes de la calidad industrial del trigo. Serie de Actividades de Difusión INIA 404: 22-25.
- VÁZQUEZ, D., WATTS, B., LUKOW, O., WILLIAMS, P. y ARNTFIELD, S.** 2005. Dough extensional properties and the quality of hearth and pan breads.

American Association of Cereal Chemists International Annual Meeting. Orlando, FL, USA.

- VÁZQUEZ, D. y CASTRO, M.** 2006. Calidad de los cultivares de trigos sembrados en Uruguay. VIII Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo. Mercedes, Uruguay.
- VÁZQUEZ, D.** 2007. Relationship between empirical rheological parameters and hearth bread properties. 1st Latin American ICC International Conference. Rosario, Argentina.
- VÁZQUEZ, D.; WILLIAMS, P. C. y WATTS, B.** 2007. NIR spectroscopy as a tool for quality screening. Pág. 527-533. En: Wheat production in stressed environments. Developments in plant breeding. Vol.12. Editado por Buck, H., Nisi, J., Salomón, N., Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- VÁZQUEZ, D.** 2008. Effects of ferulic acid, cysteine, xylanase and ascorbic acid on the rheological properties of different wheat doughs. 13th ICC Cereal and Bread Congress. Madrid, España. 2008
- VERGES, R.** 2005. Cultivares de trigo INIA. Serie de Actividades de Difusión INIA 404: 56-72.
- VERGES, R., VÁZQUEZ, D. e IBÁÑEZ, W.** 2006. Trigos INIA. ¿Se puede reunir buena calidad y alto rendimiento en un mismo cultivar? Serie de Actividades de Difusión INIA 444: 4-7.
- VIOT, M. D.** 1995. El alveógrafo Chopin. Chopin Tribune 1: 1-4.
- VOCKE, G. y ALLEN, E.** 2007. Wheat situation and outlook yearbook. Economic Research Service, USDA. 50p. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/ers/WHS-yearbook//2000s/2007/WHS-yearbook-05-04-2007.pdf>
- WANG, M., VAN VLIET, T. y HAMER, R. J.** 2004. How gluten properties are affected by pentosans. J.Cereal Sci. 39: 395-402.
- WARDLAW, I. F., BLUMENTHAL, C., LARROQUE, O. y WRIGLEY, C. W.** 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. Funct. Plant Biol. 29: 25-34.
- WEEGELS, P. L., HAMER, R. J. y SCHOFIELD, J. D.** 1996. RP-HPLC and capillary electrophoresis of subunits from glutenin isolated by SDS and Osborne fractionation. J. Cereal Sci. 22: 211-224
- WESLEY, I. J., LARROQUE, O. R., OSBORNE, B. G., AZUDIN, N., ALLEN, H. y SKERRITT, J. H.** 2001. Measurement of gliadin and glutenin content of flour by NIR spectroscopy. J. Cereal Sci. 34: 125-133.
- WIESER, H., KIEFFER, R. y LELLEY, T.** 2000. The influence of 1B/1R chromosome translocation on gluten protein composition and technological properties of bread wheat. J. Sci. Food Agric. 80: 1640-1647.
- WIESER, H., SEILMEIER, W. y BELITZ, H. D.** 1994. Quantitative determination of gliadin subgroups from different wheat cultivars. J. Cereal Sci. 19: 149-155.
- WILLIAMS, P. C.** 1975. Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grains and oilseeds. Cereal Chem. 52:561-576.
- WILLIAMS, P. C. y SOBERING, D. C.** 1986. Attempts at standardization of hardness testing of wheat. I. The grinding/sieving (particle size index) method. Cereal Foods World 31: 359.
- WILLIAMS, P. C., JABY EL-HARAMEIN, F., ORTIZ-FERREIRA, G. y SRIVASTAVA, J. P.** 1988. Preliminary observations on the determination of wheat strength by near-infrared reflectance. Cereal Chem. 65:109-114.
- WILLIAMS, P. C.** 1996. Observations on the use, in prediction of functionality in cereals, of weights derived during development of partial least squares regression. J. Near Infrared Spectrosc. 4:175-187.
- WILLIAMS, P. C.** 2001. Implementation of near-infrared technology. Pág. 145-169 en: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. Editado por Williams, P. C. y Norris, K. H., American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, USA.
- WOODING, A. R., KAVALE, S., MCRITCHIE, F., STODDARD, F. L. y WALLACE, A.** 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on protein composition, mixing requirements, and dough strength of four wheat cultivars. Cereal Chem. 77: 798-807.

- WRIGLEY, C. W.** 2006. Late-maturity α -amylase - Apparent sprout damage without sprouting. *Cereal Foods World* 51: 124-125.
- ZELENY, L.** 1947. A simple sedimentation test for estimating the bread-baking and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chem.* 24: 465-475.
- ZILLMAN, R. R. y BUSHUK, W.** 1979a. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. II. Effects of environmental and experimental factors on the gliadin electrophoregram. *Can. J. Plant Sci.* 59: 281-286.
- ZILLMAN, R. R. y BUSHUK, W.** 1979b. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. III. Catalogue of electrophoregram formulas of Canadian wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 59: 287-298.

Impreso en Editorial Hemisferio Sur S.R.L.
Buenos Aires 335
Montevideo - Uruguay

Depósito Legal 347.671/09