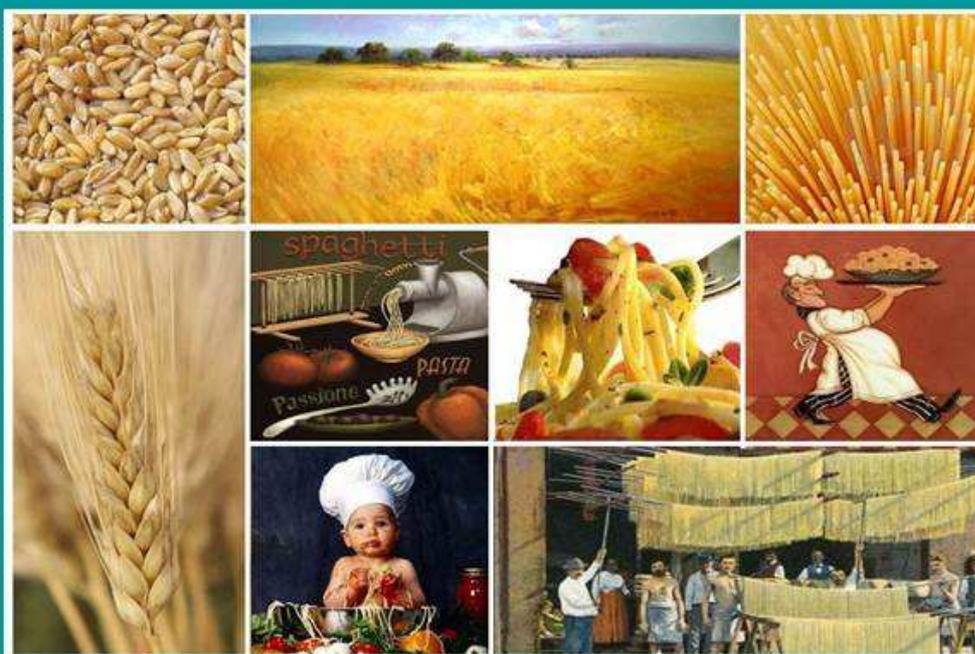


CALIDAD EN TRIGO CANDEAL

Maria Laura Seghezzo

Chacra Experimental Integrada Barrow



- Ediciones
Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



MINISTERIO DE ASUNTOS
AGRarios



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

ISBN 978-987-521-615-0

CALIDAD EN TRIGO CANDEAL

María Laura Seghezzeo

Laboratorio de Calidad Industrial de Granos
Chacra Experimental Integrada Barrow

Octubre 2014

La impresión de esta publicación ha sido auspiciada y financiada por la Empresa Cía.
Molinera del Sur S.A



Cía. **Molinera del Sur** S.A.
Neuquen 80 Bahía Blanca
Tel / Fax: 0291 - 4550127 / 0128

Seghezzo, María Laura

Calidad en trigo candeal / María Laura Seghezzo; ilustrado por Dora Miguens - 1a ed. - Tres Arroyos, Buenos Aires: Ediciones INTA, 2015.

64 p. : il. ; 28x20 cm.

ISBN 978-987-521-615-0

1. Trigo Candeal. 2. Calidad. 3. Sémola. I. Miguens, Dora, ilus. II. Título
CDD 633.251

Fecha de catalogación: 28/04/2015



CALIDAD EN TRIGO CANDEAL

Índice

Prólogo	1
1- El trigo candeal	2
2- Comercialización	6
3- Grano	13
4- Componentes del grano	17
5- Valor nutricional	27
6- Molienda	31
7- Elaboración de fideos	35
8- Métodos de evaluación	42
9- Poscosecha	52
10- Efecto del ambiente y el genotipo	53
Bibliografía	57

Ilustraciones elaboradas por Dora Miguens



PROLOGO

La calidad del trigo candeal y la comprensión de los factores que la determinan se han acrecentado notablemente en las últimas décadas. Esto fue logrado a pesar del escaso conocimiento del modo de herencia de los parámetros de calidad. En la actualidad esa situación ha cambiado dado los grandes avances realizados en la investigación y las nuevas herramientas disponibles: las subunidades de proteína son usadas como marcadores genéticos en el proceso de selección, también se han desarrollado marcadores de DNA, poblaciones doble haploides y tecnologías de transformación genética. Existe una amplia diversidad genética para la mayoría de los parámetros: concentración y calidad de proteína, fuerza de gluten, color.

La industria del trigo candeal tiene dos componentes principales que influyen sobre los objetivos de obtención de cultivares. Primero, consumidores y procesadores de alimentos y, segundo, productores agropecuarios, manipuladores de grano y comercializadores.

Los procesadores de alimentos demandan a los comercializadores para que los provean de calidades específicas para aumentar su participación en el mercado, reaccionar a los cambios en los gustos de los consumidores o para cumplir con exigencias de las nuevas tecnologías. También los nuevos cultivares deben satisfacer las necesidades de los productores agropecuarios, molineros, elaboradores de productos finales y, finalmente, las exigencias del consumidor de alimentos sanos y nutritivos.

Para el productor agropecuario la calidad se define como aquellos factores que proveen el mayor retorno económico y el mejor grado o precio. El grado está influenciado por la concentración de proteína, atributos físicos tales como peso hectolítrico, presencia de enfermedades del grano como escudete negro y fusariosis y daños físicos causados por insectos, brotado o heladas. También deben satisfacer las expectativas de rendimiento de grano, robustez del tallo, resistencia a enfermedades. Cuando nos movemos en la cadena de valor, la calidad para el molinero requiere factores adicionales como rendimiento molinero, cenizas y color de la sémola y fuerza de gluten. Los elaboradores de fideos incluyen ítems como color y apariencia de la pasta seca, comportamiento en la cocción, sabor y aroma. El consumidor incorpora los factores demandados por el procesador y más recientemente, nutrición, salud y sanidad del producto.

El objetivo de esta revisión es presentar conocimientos actualizados sobre la química y tecnología del trigo candeal y sus productos derivados.

En los sucesivos capítulos se presentan el trigo candeal, su comercialización y una descripción de las características del grano. En una segunda parte, la química de los componentes, su valor nutricional, los procesos tecnológicos como molienda y fabricación de fideos y la metodología actualmente en uso para la evaluación de granos, sémolas y fideos. Finalmente, algunas recomendaciones sobre el manejo poscosecha y conclusiones de distintos trabajos nacionales sobre el efecto del ambiente y el genotipo sobre la calidad.

EL TRIGO CANDEAL

De los estudios arqueológicos realizados en países de Medio Oriente surge que el inicio del cultivo del trigo se produjo algunos milenios antes de Cristo en el área de la "Medialuna fértil" (Palestina, Mesopotamia), desde donde se difundió a Europa Occidental durante la Edad de Piedra.

A partir de la domesticación de especies salvajes e hibridaciones naturales inter-específicas, primeros pasos rudimentarios de selección, evolucionaron dos especies: la primera *Triticum turgidum* spp. *Durum* Desf. (trigo candeal) y posteriormente *Triticum aestivum* (trigo pan). El trigo pan se difundió en áreas templadas/frescas, fértiles y con buenas lluvias. El grano de trigo candeal, gracias a una mayor tolerancia a la sequía y a un período de desarrollo más breve se ha adaptado a climas cálidos/áridos como los del Mediterráneo.

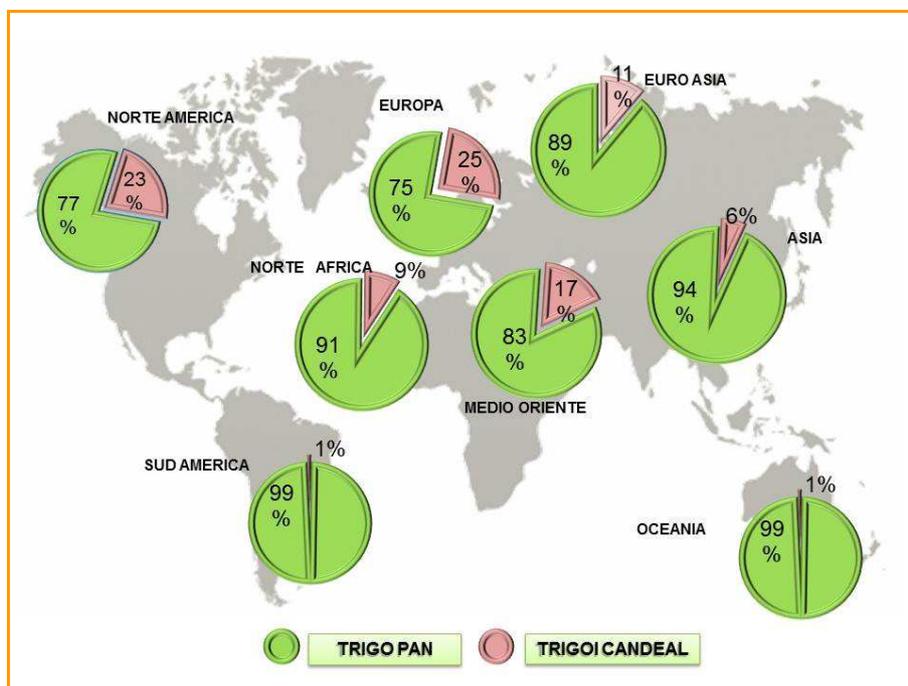


Figura 1- Producción de trigo pan vs trigo candeal en el mundo (%)

Fuente: International Wheat Council, 2006

En los últimos años, bajo el impulso de la industria de transformación se ha comenzado a poner más atención en las características cualitativas del grano y a seleccionar variedades en función de su aptitud fideera.

Actualmente, en el mundo se cultivan unas 18.5 millones de hectáreas con trigo candeal que producen entre 35 y 40 millones de toneladas y representan un 8% de la producción mundial de trigo (Figura 1).

Canadá (más del 50%), Europa y USA son los mayores exportadores de trigo candeal en el mundo, destinado en gran parte a Italia, USA, norte de Africa (Argelia, Marruecos, Túnez), Venezuela y Japón (International Grains Council, 2008).

Algunos países tales como Italia, Francia y Grecia disponen de regulaciones para que la pasta sea elaborada exclusivamente con trigo candeal.

ARGENTINA

Producción

El trigo candeal fue introducido en Argentina (Pcia. de Buenos Aires) por los inmigrantes italianos alrededor de 1920, aunque las primeras cifras de producción se registran oficialmente en la campaña 1963/64. Argentina alcanzó el 3º lugar en el mundo como país exportador al obtener una producción de 760.000 tn en la campaña 1969/70 (419.700 ha sembradas). Italia, el principal importador, exigía calidad. En aquel momento la superficie sembrada con trigo candeal representaba 6 - 8,5 % del total nacional de trigo. Unos años más tarde no superaba el 1%. Esta drástica disminución en la producción se debió a dos ataques de *Fusarium spp* consecutivos (1976/77 y 1977/78), al desplazamiento del trigo candeal por variedades de trigo pan de ciclo corto y alto potencial de rendimiento y al reemplazo de cultivares tradicionales de buena calidad por otros de mayor productividad que no cumplían los requisitos de calidad exigidos por la exportación. Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, el promedio de la superficie sembrada en los últimos 5 años es de 57.000 ha y la producción ronda las 144.000 tn/año, también promedio del último lustro, con variaciones interanuales importantes, debidas fundamentalmente a condiciones agro-climáticas (Figura 2). Otras informaciones aseguran que la producción anual ronda las 300.000 tn (Trangoni, comunicación personal).

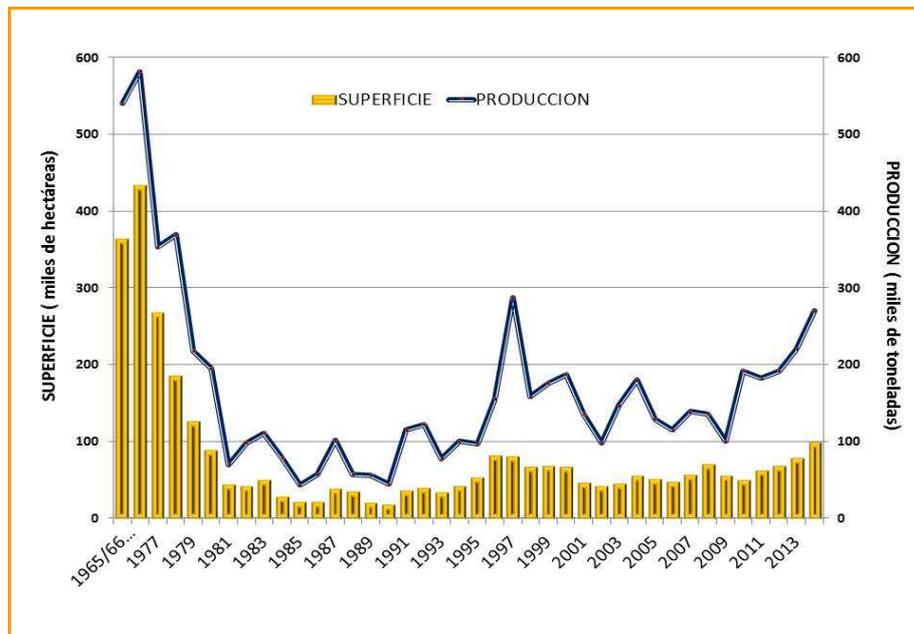


Figura 2- Evolución histórica de la producción argentina

Fuente: Weimann, 2014

Desde 2007 la exportación de sémolas y grañones (fragmentos gruesos) de sémola muestra una tendencia creciente a partir del surgimiento en el mercado de Cía. Molinera del Sur (que representa el 97% de las exportaciones), en un 95% con destino a Brasil (Lezcano, 2013).

Localización geográfica

El trigo candeal es un cultivo invernal, de ciclo intermedio-corto, que se siembra desde julio a mediados de agosto y se cosecha en diciembre.

Se encuentra localizado principalmente en la Provincia de Buenos Aires. Pueden distinguirse tres zonas:

- En el *sudeste* se obtienen los mayores rendimientos unitarios pero el cultivo presenta ciertos riesgos sanitarios (por la posible presencia de hongos) y de lavado del grano. La región presenta un régimen hídrico subhúmedo- húmedo con una media de lluvias de 900 mm. El período libre de heladas comprende desde principios de octubre hasta fines de mayo para el sector este, mientras que hacia el oeste dicho periodo comienza un mes antes.
- El *centro sur* es una llanura suavemente ondulada, a menudo con limitaciones de tosca a 50-100 cm, cuyo régimen hídrico presenta un gradiente que varía de subhúmedo-húmedo (800 mm) a subhúmedo-seco en sentido este-oeste (600 mm).
- El *oeste* es una zona de condiciones más secas y frías donde las posibilidades productivas de los sistemas agrícolas son inferiores.

El cultivo de este trigo ha dejado de ser estrictamente regional con la incorporación de alguna superficie bajo riego en la Provincia de San Luis, y últimamente de 10.000 ha en Tucumán debido a la instalación de un importante molino y fábrica de pastas pertenecientes a la empresa Emilio Luque (Figura 3).

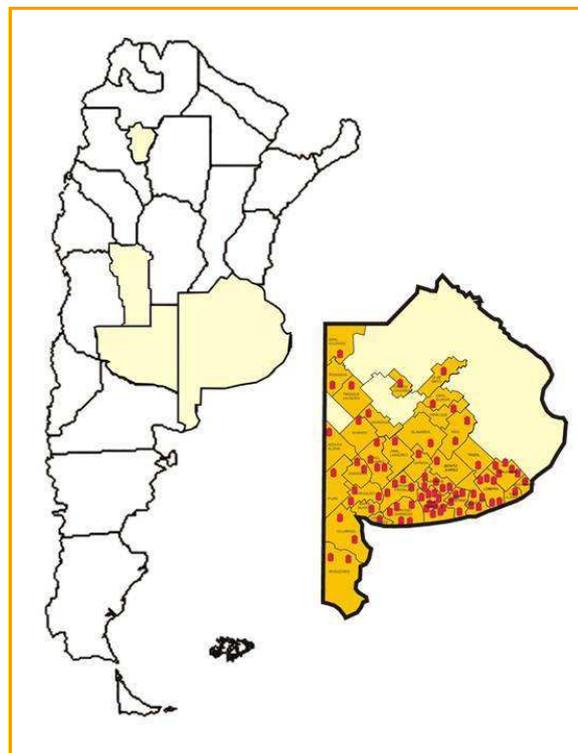


Figura 3- Localización del trigo candeal en Argentina

Consumo

En 2013, la molienda nacional de trigo candeal alcanzó las 267.000 tn (Lezcano, 2014). El consumo anual de pastas es de 7.9 kg por persona, aunque esta cifra incluye pastas elaboradas con trigo pan y trigo candeal ya que no hay datos oficiales desagregados para cada especie (Cuadro 1).

La empresa Molinos Río de la Plata lidera el mercado interno y triplica la producción de su competidor más cercano. Su marca de fideos Matarazzo representaba el 14,4 % del volumen de ventas en 2011.

La aparición de la Cía. Molinera del Sur en Bahía Blanca (Buenos Aires), principal exportadora de sémolas del país y el afianzamiento del Molino Tres Arroyos que elabora fideos de excelente calidad, colaboran a su estabilidad.

Estudios realizados aseguran que el consumo de pastas puede duplicarse en los próximos años ya que los consumidores buscan platos saludables, nutritivos, fáciles de cocinar y con buena relación precio-beneficio (Lezcano, 2013).

Cuadro 1- Consumo de pastas alimenticias en el mundo

País	Consumo (kg/persona)
Italia	26.0
Venezuela	12.2
Túnez	11.9
Grecia	10.5
Suiza	9.3
Suecia	9.0
USA	8.8
Irán	8.5
Chile	8.4
Perú	8.2
Francia	8.1
Alemania	8.1
Argentina	7.9
Rusia	7.8
Hungría	7.5
Uruguay	7.5
Croacia	7.3
Austria	7.0

Fuente: IPO Annual Survey on World Pasta Industry (2012)

COMERCIALIZACION

La calidad del trigo candeal está determinada por el genotipo y el ambiente. Por lo tanto, para asegurar el adecuado potencial de industrialización de la mercadería, los clientes requieren a los proveedores el cumplimiento de una serie de especificaciones. Las distintas formas de daño físico asociadas al ambiente impactan sobre las propiedades de procesamiento en diferentes grados. Por eso, los países exportadores venden en base a atributos físicos, determinados por estándares de graduación. Un sistema de graduación ideal establece un equilibrio entre los mejores intereses de los procesadores y los productores de trigo candeal.

También en el mercado interno la comercialización de los granos se rige por normas que establecen su calidad. Los sistemas de graduación son principalmente visuales, suplementados por tests objetivos como el de peso hectolítrico, y el contenido de proteína.

En nuestro país estas normas se denominan “estándar” o “base estatutaria” y sus especificaciones determinan la calidad de la mercadería y rigen para todas las operatorias de trigo candeal, salvo acuerdo previo.

Los grados son asignados mediante una combinación de evaluaciones visuales cuali y cuantitativas de una muestra de trigo representativa. La cantidad de daño se determina a través de factores medibles tales como granos brotados, punta negra, carbón (*Tilletia* spp.), etc., combinados con estimaciones más subjetivas como el grado de limpieza, olor y madurez del grano. Otros atributos, tales como el peso hectolítrico, la cantidad de materia extraña y la presencia de trigo pan también están incluidos en el grado. En resumen, los grados proveen una herramienta para predecir el valor de procesamiento del trigo, lo que facilita su comercio y utilización.

La disposición actualmente vigente para trigo fideo corresponde a la resolución de la ex-Junta Nacional de Granos Nº 31591 del 13 de julio de 1988 (Norma SENASA XXI), Cuadro 2.

Cuadro 2- Estándar oficial para la comercialización de trigo fideo

GRADO	Peso Hectolítrico Mínimo kg	Tolerancias máximas para cada grado					Granos Picados Máx. %	Trébol de olor Melilotus spp semillas c/100 grs. Máx	H U M E D A D Máx %	Trigo Pan Máx %	Vitreo sidad Mín %
		Materias Extrañas %	Granos dañados		Granos Quebrados y/o Chuzos %	Granos con carbón %					
			Granos ardidos y/o dañados por calor %	Total Dañados %							
1	78	0,75	0,50	1,00	1,50	0,10	0,50	8	14,0	3,00	50
2	76	1,50	1,00	2,00	3,00	0,20					
3	72	3,00	1,50	3,00	5,00	0,30					
Descuento porcentual a aplicar por c/kg faltante de P.H. o sobre c/% de excedente	1,0	1,0	1,5	1,0	0,5	5,0	2,0	2% de merma y gastos de zarandeo	Mema por tabla y gastos de secado	0,5	Ver recuadro aparte

LIBRE DE INSECTOS Y ARACNIDOS VIVOS
Punta negra por carbón desde 1 % a 4 % - Revocado en tierra desde 0.5 % a 2 %
Olores comercialmente objetables desde 0,5% a 2,0%

El precio final se obtiene aplicando rebajas cuando las tolerancias máximas admitidas en los conceptos antes citados exceden sus respectivos límites.

Los parámetros de vitreosidad y proteína se liquidan de acuerdo a escalas que prevén bonificaciones y rebajas a partir de un valor o franja de indiferencia. En el caso de la vitreosidad este valor es de 50% y la bonificación máxima llega al 8% para vitreosidades entre 96 y 100%. En tanto que la máxima rebaja alcanza 19% para vitreosidades entre 0 y 5%. En cuanto a la proteína la franja de indiferencia se ubica entre 10 y 11%. Las bonificaciones por encima de 11% y las rebajas por debajo de 10%, se calculan a razón de 2% por cada por ciento o fracción proporcional.

Las principales industrias procesadoras de trigo candeal han diseñado para sus contrataciones de producción de grano escalas propias de premios y castigos para estos parámetros de calidad (vitreosidad, proteína y en algunos casos también % gluten). Los usuarios del trigo eligen el grado o nivel de calidad basado en un balance entre precio y requerimientos para su uso final.

Rubros de graduación

Los siguientes rubros determinan el grado de una partida de candeal: peso hectolítrico, granos dañados, granos con carbón, granos quebrados y chuzos y cuerpos extraños.

Peso hectolítrico: es el peso de un volumen de 100 litros de trigo tal cual, expresado en kilogramos. Es una especificación ampliamente usada porque se reconoce como un índice de la limpieza del trigo y un indicador de su potencial de molienda, aunque su valor de predicción tiene algunas limitaciones. La fuerza de la correlación varía de una clase a otra y entre genotipos de una misma clase. El peso hectolítrico se ve afectado por el contenido de humedad, la densidad del grano y factores de empaquetamiento como la forma del grano; también es muy sensible para detectar presencia de granos chuzos.

Para muestras limpias la relación entre peso hectolítrico y rendimiento molinero es buena. Según Dexter y Symons (2007) el peso hectolítrico tiene mejor correlación con la molienda que el peso del grano.

Granos dañados: son los granos o pedazos de granos de trigo que presentan una alteración sustancial en su constitución, como los ardidos y dañados por calor, los verdes, helados, brotados, calcinados, roídos por isoca y roídos en su germen.

- Ardidos y dañados por calor: **ardidos** son los granos que presentan un oscurecimiento (interno y/o externo) en su color natural debido a un proceso fermentativo por ataque de hongos y bacterias. Por su olor, gusto y aspecto deben ser eliminados de la mercadería; **dañados por calor** pueden ser la consecuencia de un mal secado o de un incendio u otro desastre durante el almacenamiento (“de avería”). Si los granos han sido mal secados pueden haberse alterado las propiedades del gluten, aunque no haya efectos visuales evidentes.
- Verdes: la consecuencia más importante de los granos inmaduros es una declinación del peso hectolítrico, del rendimiento semolero y un aumento del contenido de cenizas de la sémola.

- Helados: las muestras con daño severo por heladas exhiben una disminución en la relación gliadinas/gluteninas.
- Brotados: Lluvias o altos % de humedad relativa previos a la cosecha pueden provocar la brotación de los granos en la espiga. El grano brotado produce sémola con alta actividad alfa-amilásica. Si el porcentaje de brotado no supera el 10%, no se observa deterioro en la calidad de sémolas ni fideos. En cambio, en los casos con porcentajes mayores, los glútenes resultan extensibles y pegajosos y los fideos más oscuros debido al aumento del nivel de azúcares reductores. Ni el color ni el rendimiento de la sémola se ven afectados (Molfese y Seghezzo, 1997), Figura 4.
- Roídos por isoca: las isocas pueden roer el grano cuando está en estado lechoso dejando lesiones bien visibles que vuelven al grano sucio y deteriorado.
- Roídos en el germen: es producido por larvas de polillas, los granos se ensucian fácilmente contaminando la sémola.

Granos con carbón: existen dos enfermedades: **carbón volador** (*Ustilago tritici*) y **carbón hediondo o caries del trigo** (*Tilletia spp.*). El primero ataca la espiga, la destruye, dejándola transformada en una masa pulverulenta color verdoso oscuro que se deshace fácilmente y deja el raquis pelado. Provoca disminución de rendimiento pero el grano de las plantas sanas no se ve perjudicado. En el segundo caso, las esporas del hongo acompañan la semilla durante el crecimiento de la planta hasta atacar al nuevo grano cuando se forma. El grano queda más redondeado, recubierto por una película blanquecina que contiene una masa de color negro, muy frágil, que se rompe fácilmente, dándole color gris a la harina y un olor desagradable (Figura 4).

Granos quebrados y/o chuzos: son los granos ó pedazos de granos (no dañados) de trigo que pasan por una zaranda de agujeros acanalados de ancho 1,6 mm y largo 9,5 mm. Debido a su forma alargada y textura dura los granos de trigo candeal tienen tendencia a romperse durante el manipuleo y no son fáciles de separar en la limpieza, ya que deben usarse mesas gravimétricas. Estos granos están más expuestos al ataque de los microorganismos e insectos, disminuyen la extracción de sémola y aumentan el porcentaje de almidón dañado.

Materias extrañas: son todos los granos ó pedazos de granos que no son de trigo y toda otra materia inerte. Es importante removerlas porque esos componentes extraños pueden afectar la apariencia de la sémola y la pasta, aumentando el número de pecas visibles.

Rubros de condición

Humedad: es el contenido de agua de la muestra tal cual. Debe ser lo más baja posible, normalmente entre 10-16%. Es un parámetro importante tanto para el comercio de trigo como para el procesamiento industrial. Valores altos de humedad disminuyen la producción de sémola porque impiden la adición de agua al trigo. Para el efecto de la humedad en el almacenamiento ver capítulo **Poscosecha**.

Granos picados: granos ó pedazos de granos de trigo que presentan perforaciones causadas por el ataque de insectos: gorgojos, taladrillos, carcomas, polillas. El ataque de los insectos se produce durante el almacenamiento, consumen la mercadería provocando disminución del peso y la contaminan con la presencia de larvas, excrementos, cuerpos muertos y trozos de los mismos. La presencia de una cantidad grande de insectos puede provocar aumento de temperatura y humedad con el consecuente desarrollo de mohos y olores desagradables. Los insectos pueden estar visibles o no ya que algunos se desarrollan en el interior de los granos (Figura 4).



Figura 4- Granos brotados, picados y con carbón

Semillas de trébol: son las pertenecientes al género *Melilotus spp.* Todo olor que no sea natural del grano es objetable y motivo de rebaja del precio.

Granos de trigo pan: granos sanos pertenecientes a la especie *Triticum aestivum L.* Se fija una tolerancia máxima para que no haya disminución del rendimiento semolero ni decaimiento del color amarillo de las sémolas por aumento de la producción de harinas blancas.

Insectos vivos: atacan a los granos almacenados (gorgojos, carcomas, etc). La presencia de un solo insecto vivo significa el rechazo de la mercadería.

Punta negra por carbón: se considera como tal a todo lote que presente una elevada proporción de granos cuyos cepillos muestren una coloración negruzca, como consecuencia de tener adheridos a los mismos esporos del hongo *Tilletia spp.*

Revolcados en tierra: se considera como tal a todo lote que presenta una elevada proporción de granos que llevan tierra adherida en la mayor parte de su superficie.

Olores comercialmente objetables: son aquellos que por su intensidad y persistencia afectan la normal utilización del grano.

Contenido de proteína: es el contenido proteico del grano, expresado como nitrógeno total por 5,7 (en %), sobre una humedad base de 13,5%. El aspecto vítreo y la textura dura están fuertemente asociados con el contenido de proteína y se correlacionan con altos rendimientos de sémola. Sin embargo, los granos chuzos que pueden tener alta proteína, producen bajos rendimientos de sémola. Las sémolas de alta proteína de candeales de buena calidad tienen un número muy bajo de partículas almidonosas y por lo tanto se hidratan en forma pareja durante el mezclado produciendo fideos fuertes y elásticos. El contenido de proteína también está relacionado con el aspecto

de la pasta (color, fisuras, textura de la superficie) y cualidades de la cocción (firmeza, pegajosidad).

Vitreosidad: es el porcentaje en peso de los granos vítreos presentes, entendiéndose como tales a los granos totalmente translúcidos que no presenten puntos, áreas o manchas opacas debido a endosperma almidonoso o fenómeno de opacidad por causa del lavado. El contenido de granos panza blanca es un importante factor de graduación internacional para el trigo candeal. La industria sigue prefiriendo trigos con baja cantidad de granos no vítreos porque la vitreosidad esta correlacionada con el contenido de proteína, la calidad de cocción y el color de la pasta. Los trigos almidonosos tienden a ser de proteína más baja que los trigos vítreos, haciendo al fideo seco más débil y de pobre calidad de cocción. Las pecas blancas en la sémola, provenientes de trigo panza blanca, pueden impartir luego manchas blancas al fideo. Los granos que no son vítreos son más blandos, se muelen más fácilmente y tienden a producir harinas finas disminuyendo la producción de sémolas

Granos lavados: Cuando el grano de trigo recibe una lluvia importante en el momento previo a la cosecha, absorbe agua, se hincha y al secarse no recobra su tamaño original. Las fracturas internas que se producen reducen la densidad del grano y el peso hectolítrico (3-4 kg/hl), con la consecuente caída del rendimiento semolero (2%). Sin embargo, un trabajo realizado en la CEI BW (Seghezzo *et al*, 1998) demostró que no hay deterioro en la calidad y cantidad del gluten ni en el color de la sémola. Estos resultados justifican la diferenciación entre granos lavados y no- vítreos que realiza el Laboratorio. Según el Estándar, el grano lavado es considerado como grano no- vítreo y, por tanto, recibe castigo.

Escudete negro: El escudete negro, es una afección que se caracteriza por una coloración marrón a marrón oscura o negra, localizada en el área del embrión pudiendo extenderse al tejido circundante. Bioquímicamente, el manchado del grano está asociado a la oxidación de compuestos fenólicos de la pared celular, en respuesta no sólo a factores bióticos sino también a algún estrés de origen abiótico. Precipitaciones durante la maduración de la semilla y clima húmedo imperante en precosecha son condiciones predisponentes a la infección por escudete negro. No es tan clara la influencia de la temperatura sobre ele

En infecciones severas, los síntomas pueden observarse cerca del extremo del cepillo, en el pliegue ventral y el grano entero puede presentarse descolorido y arrugado. En algunas ocasiones, dependiendo de los patógenos involucrados en el manchado, el poder germinativo puede verse disminuido. En Argentina los patógenos más frecuentemente asociados son *Alternaria spp* y *Fusarium graminearum* acompañados por *Bipolaris sorokiniana*, *Curvularia sp.*, *Cladosporium sp.*, *Epicoccum sp.*, etc.

El principal perjuicio que ocasiona es el detrimento de la calidad de los granos del cereal destinado a la industria fideera y semolera. En los productos de la molienda se observa un aumento indeseable de partículas coloreadas. Estas se transfieren a las sémolas y a los productos elaborados a partir de ellas, afectando negativamente la calidad (Storm, 2011).

El Estándar de Comercialización de trigo candeal argentino no castiga los granos con escudete negro.

Factores que afectan la seguridad alimentaria

Daño por *Fusarium*: En la actualidad, la fusariosis es considerada, globalmente, la enfermedad más importante del trigo candeal debido a su efecto perjudicial en la producción de grano y la seguridad alimentaria y su creciente presencia en muchas regiones productivas. Como produce granos arrugados y livianos, a menudo con zonas rosas o rojas, esta enfermedad reduce el rendimiento de grano y la calidad de la molienda. La acumulación de micotoxinas reduce la calidad comercial del grano, planteando un riesgo para la salud humana y disminuye la fecundidad y ganancia de peso en los animales. Además, la siembra de semillas enfermas resulta en bajos stands de plantas debido a la pobre germinación.

Fusarium graminearum y *F. culmorum* son las dos especies de hongos consideradas más patógenas. Es frecuente que se presente más de una especie. Todas ellas se ven favorecidas por las precipitaciones durante la floración y el desarrollo del grano. Sin embargo, las temperaturas óptimas para el desarrollo de la enfermedad varían entre las especies de *Fusarium*. El trigo candeal es más susceptible a *Fusarium* que el trigo pan.

De las micotoxinas producidas por *Fusarium*, las más abundantes pertenecen al tipo de los tricotecenos B. Afortunadamente el más prevalente en trigo, DON (deoxinivalenol), es 10-20 veces menos tóxico que otros. El grano altamente contaminado con DON no es adecuado para consumo humano ni animal. Los niveles máximos de aceptación en alimentos para humanos y animales se han legislado en varios países. La mezcla de grano afectado con DON y grano sano permite su comercialización para un consumo seguro.

La limpieza convencional del trigo no es muy efectiva en remover *Fusarium* o disminuir los niveles de DON. Sin embargo, sí sirven las mesas gravimétricas, ya que el DON se concentra en las fracciones menos densas.

Los niveles de DON que pasan a la sémola varían entre autores y estudios desde 80 a 40 %. Esa concentración desciende en el spaghetti cocido debido a que lixivia al agua de cocción. Los niveles de *Fusarium* pueden ser cuantificados visualmente, pero su predicción del DON es bastante aproximada.

El daño de *Fusarium* provoca, además de la pérdida de rendimiento de sémola, que las masas se vuelvan opacas y rojizas. Se ha demostrado que, a medida que el daño por *Fusarium* aumenta, se producen cambios en la composición, incluyendo aumento de los azúcares reductores y de las proteínas extractables con agua y disminución en las celulosas y hemicelulosas. Hay una evidencia precisa de que las proteínas del gluten de un trigo infectado por *Fusarium* se degradan por las proteasas fungales. Esta es la razón de que la masa se vuelva débil y del inferior comportamiento en la panificación. Se ha demostrado claramente la degradación de las proteínas del gluten por proteasas tanto en trigo pan como en candeal. Dexter *et al*, 1997, encontraron que el trigo infectado contiene una menor proporción de gluteninas y muestra un índice de gluten menor que el trigo sano, pero no se ha demostrado ningún efecto sobre la textura de la pasta.

La circular GETE N° 239/85 de la Ex Junta Nacional de Granos, indica que los granos de trigo atacados por fusariosis en forma total o parcial deben ser computados como **dañados**.

Cornezuelo o Ergot: El ergot es un parásito fúngal de la especie *Claviceps* que ataca los cereales. La especie más conocida es *Claviceps purpurea*. Infecta el ovario de los cereales reemplazando el grano en la espiga por un esclerocio (cuerpo de ergot). El esclerocio toma la forma y el tamaño del grano, por lo que son necesarias tablas densimétricas para removerlos de forma eficiente.

Además del posible impacto sobre la calidad de procesamiento, el ergot presenta una seria amenaza para la salud. Contiene alcaloides muy potentes, derivados del ácido lisérgico, que, ingeridos en exceso, pueden causar severas intoxicaciones. Reconociendo la toxicidad del ergot, todos los países han tomado medidas estrictas para prevenirlo.

Dentro de las tolerancias de seguridad, el ergot no tiene efectos detectables sobre la extracción de sémola, ni las propiedades de la masa, ni sobre la calidad de cocción. En niveles por encima del límite pueden aparecer pecas oscuras que desmerecen la apariencia de la sémola.

Comercialización

En Argentina la producción y comercialización de este cereal está mayoritariamente basada en contratos de cultivo pre-siembra entre la industria usuaria y los productores de la materia prima. Esta particular forma de comercializar le permite a la industria modificar el precio que le paga al productor en relación al cumplimiento de determinados requisitos de calidad, y, al productor lograr sobrepuestos con respecto al trigo pan según la calidad del trigo obtenido. Es una cadena transparente donde cada actor conoce las condiciones que deberá cumplir y cuáles serán sus beneficios. La propia industria o algunas empresas intermediarias tratan con los agricultores de las diferentes zonas agro-ecológicas con el objetivo de seleccionar como proveedores de materia prima a aquellos productores agropecuarios de un cierto nivel tecnológico a los que se provee de semilla de determinados cultivares y asesoramiento técnico en cuanto a manejo, fertilización, etc.

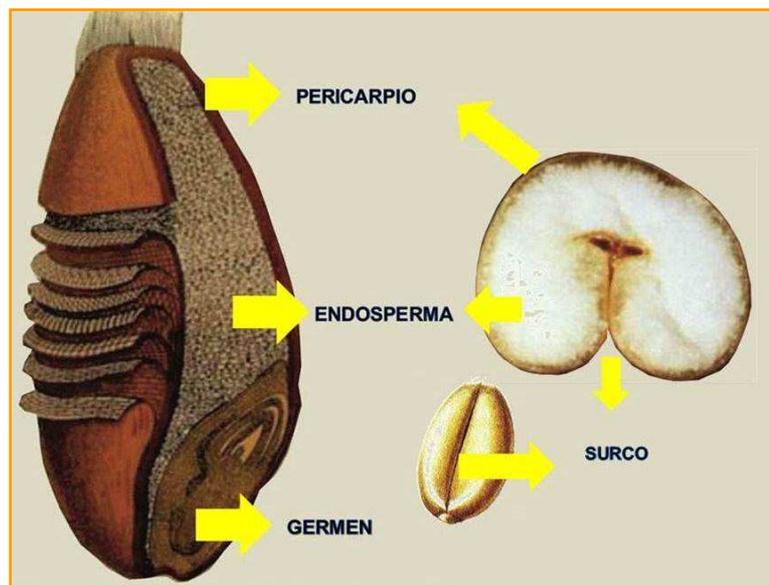
El precio se establece como el del trigo pan más un plus que puede variar entre 10-25 %, según los casos. Además, cada empresa aplica bonificaciones y /o rebajas sobre la base de escalas fijadas para parámetros de calidad tales como: proteína y/o gluten húmedo, peso hectolítrico, vitreosidad. Estas primas pueden significar un aumento o disminución del precio base de hasta un 30-35%.

GRANO

El grano de trigo es un fruto de una sola semilla, llamada botánicamente cariósipide, en el cual el tegumento o testa se encuentra adherido a la semilla. Mientras el fruto madura, el pericarpio se adhiere fuertemente al tegumento. Cuando está maduro no se abre espontáneamente para dejar salir la semilla.

El lado dorsal del grano es redondeado y el lado ventral posee una canaleta profunda (surco) a lo largo del eje longitudinal, que penetra casi hasta el centro. El color depende del pigmento en la cubierta de la semilla y es de fuerte herencia genética. En el trigo candeal se denomina internacionalmente ámbar.

Externamente se reconocen dos partes: el pericarpio y el germen. Internamente, la capa de aleuronas y el endosperma.



Grano de trigo

Embrión o germen: representa 1-3 % del grano. Está constituido por los órganos (raicilla, escutelo, hojas) que darán origen a la nueva planta; es particularmente rico en proteínas, aceite y sales minerales.

Pericarpio o salvado: representa 10-18% del grano. Es el tejido que envuelve y protege a la cariósipide, con la excepción del germen. Su color está relacionado con la variedad. Su contenido de fibra y sales minerales es mayor al endosperma. Está constituido por cuatro capas: epidermis, hipodermis, células cruzadas y células tubulares. Junto con una parte de la capa de aleuronas constituye el salvado.

Capa de aleuronas: se trata de una capa monocelular entre el pericarpio y el salvado. Las células son ricas en proteína y sales minerales. Las proteínas tienen una importante acción enzimática durante la germinación, estimulando diversas reacciones químicas.

Endosperma: es la masa más considerable de todo el grano (80-83 %), de estructura vítrea y color amarillo ámbar. Constituye el tejido de reserva de la planta y está compuesto de almidón (70 %), proteínas (12-14 %), agua (11-14%). Contiene además cantidades reducidas de lípidos, cenizas y fibra. En el grano de trigo candeal la

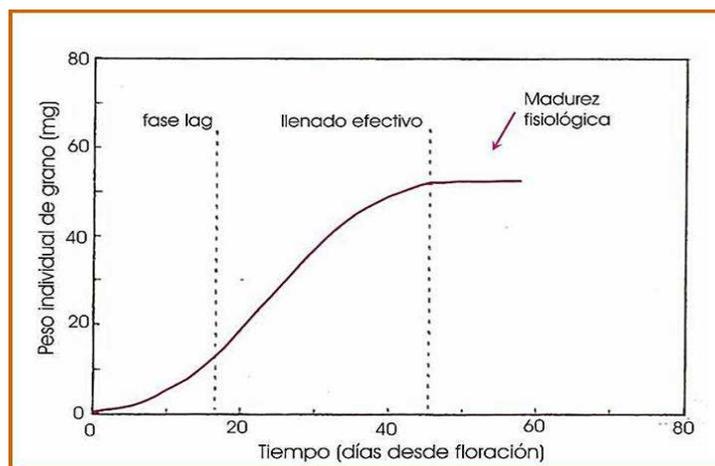
presencia de zonas harinosas se considera un defecto llamado “panza blanca” causado por algún desequilibrio fisiológico de la planta.

Partes y componentes del grano

Partes del grano	Peso %	% Componentes				
		Almidón	Proteína	Fibra	Lípidos	Cenizas
Pericarpio	15	0	20	93	30	67
Endosperma	82	100	72	4	50	23
Embrión	3	0	8	3	20	10

Crecimiento del grano de trigo

La curva de crecimiento de un grano de trigo es una sigmoide típica; se puede dividir en tres partes, aunque estas se superponen parcialmente.



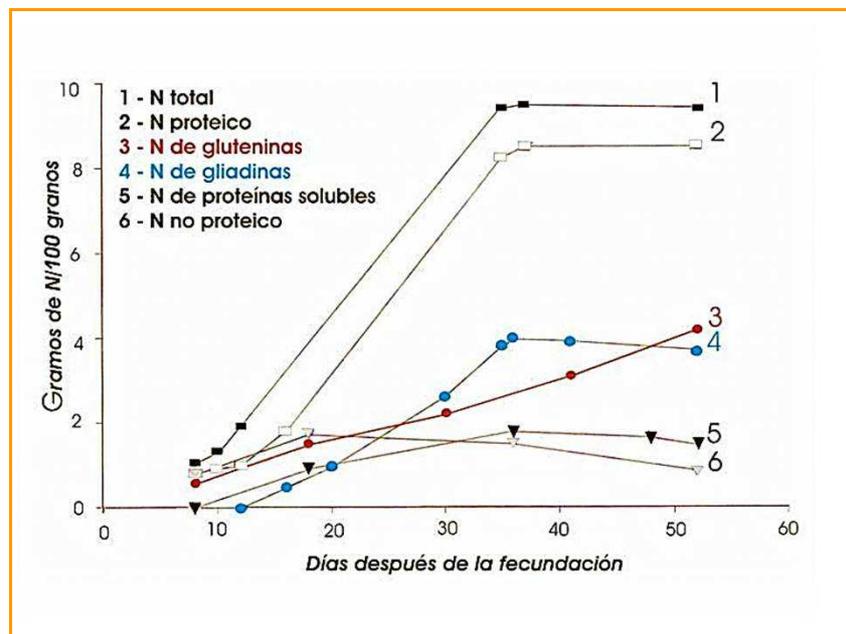
Curva de crecimiento del grano de trigo

Fuente: Stone y Savin, 1999

En la primera zona de la curva, que comienza con la fertilización del óvulo, se produce la mayor parte de la división celular que dará origen a las células del endosperma, donde se acumularán el almidón y las proteínas. Este período dura entre 10- 20 días, aunque varía según las condiciones de temperatura. El aumento de volumen del grano se produce por la incorporación de agua y la multiplicación de las células endospermáticas. Esta fase suele denominarse “lag” (retraso) porque no hay sustancial ganancia de materia seca.

En la segunda fase, que, al comienzo, unos 10-15 días después de floración, se superpone con la primera fase, se produce un crecimiento muy activo de los granos. En este período se sintetiza y acumulan el almidón y los distintos tipos de proteínas.

La proporción de las fracciones proteicas que se deposita en el grano se modifica a medida que avanza su maduración, aumentando en mayor medida las gliadinas y gluteninas que las albúminas y globulinas. Las gliadinas son las primeras proteínas en depositarse, aparecen 5-10 días después de floración, aunque en ese momento solo representan el 10% de la cantidad total que habrá en madurez fisiológica. Las gluteninas son detectables alrededor de 20 días después de floración, por lo tanto, si existe alguna interrupción del llenado del grano la relación gli/glu se modificará. Cuando cesa la acumulación de nitrógeno total, las gluteninas pueden aumentar a expensas de otras fracciones proteicas. También las gliadinas pueden participar en la formación todavía muy activa de las gluteninas. Las proporciones relativas de las proteínas varían con la disponibilidad de N, aumentando la relación gliadinas/proteínas solubles con el contenido de N del grano (Uhart, 1998).



Evolución de las proteínas del trigo

Fuente: Adaptado de Boyeldieu, 1980

En la última fase la materia seca ya no aumenta, solo hay pérdida de agua; se ha llegado a madurez fisiológica. En este momento los granos de trigo poseen alrededor de 40% de humedad (Savin, 2003)

Diferencias entre el grano de trigo pan y el de trigo candeal

Genéticas

Las dos especies presentan características genéticas bien distintas siendo la más importante el número de cromosomas, 28 en el trigo candeal, 42 en el trigo pan. Aparentemente, el trigo pan deriva de una cruce inter-específica con una especie silvestre (*Triticum turgidum*) que le confirió una serie de cromosomas ausentes en el candeal.

Morfológicas:

Desde el punto de vista morfológico las dos especies son similares, aunque presentan algunas diferencias más o menos evidentes. Una fundamental es la estructura del grano que es harinosa en el trigo pan mientras que es vítrea en el trigo candeal lo que hace que los granos difieran en su dureza y que en la molienda se obtengan dos productos bien diferentes: harina, blanca, pulverulenta del trigo pan y sémola, de granulometría más gruesa y color amarillo en el trigo candeal.

Tecnológicas:

Aunque ambas especies se destinan al consumo humano, la tecnología de transformación y el producto final obtenido son muy distintos. A nivel de la molienda el proceso depende de las características del grano y del producto que se quiere obtener, así como de la configuración del molino. La distinta composición de las proteínas de reserva es la razón que determina el producto final que se obtiene con una u otra materia prima. La masa que se logra con el trigo pan presenta, en general, buena extensibilidad y tenacidad media/baja, mientras que la que se obtiene del trigo candeal se caracteriza por la elevada tenacidad y una extensibilidad menor. Una buena tenacidad del gluten ayuda a retener el almidón dentro del fideo evitando la formación de una pátina superficial y modera la absorción de agua permitiendo un buen comportamiento en la cocción.

COMPONENTES DEL GRANO

El trigo candeal representa un cultivo importante para el consumo humano. Sus características peculiares tales como el gran tamaño del grano, su dureza y color amarillo brillante, lo hacen adecuado para un amplio rango de usos finales: pasta, diferentes tipos de panes levados y no levados, cuscús, burgol, etc.

La mayor parte del trigo candeal cosechado mundialmente se dedica a la elaboración de fideos.

Una buena variedad de candeal para pasta debe tener el endosperma duro y vítreo, alto contenido de proteínas y de pigmentos amarillos y una buena composición de proteínas del gluten.

Para liberar variedades con una buena calidad de pasta, los mejoradores de trigo deben plantearse como objetivo el contenido de proteína y su composición.

La composición promedio del grano de trigo candeal se muestra en el Cuadro 3

Cuadro 3- Composición química promedio del grano de trigo candeal

Componente	%
Proteína (Nx5.7)	12.0
Cenizas	2.0
Lípidos	2.0
Agua	14.0
Almidón y azúcares	67.0
Celulosa	3.0

PROTEINAS

Contenido de proteína

Según Dexter *et al* (1980), el contenido de proteína explica 30-40% de la variabilidad en la calidad de cocción de la pasta; un aumento en el contenido de proteína resulta en mayor tolerancia a la sobre-cocción de la pasta, aumenta la firmeza y disminuye la pegajosidad (D'Egidio *et al*, 1990).

La fuerte influencia del ambiente, el manejo del cultivo y una asociación negativa con el rendimiento han obstruido el objetivo del aumento de proteína en el grano. Además, la proteína es un rasgo complejo controlado por varios genes distribuidos en casi todos los cromosomas del trigo. Otro obstáculo es el rango muy estrecho de variación genética en los contenidos de proteína de los trigos candeales elite.

Proteínas del grano

Las proteínas que no forman gluten representan 20% del total de proteínas del grano. Composición: **Albúminas** (solubles en agua) y **globulinas** (solubles en solución salina), siendo más abundantes las primeras, y **proteínas solubles en cloroformo-metanol** (CM). Estas últimas de muy bajo peso molecular (<20 kDa).

Como están localizadas principalmente en el embrión y las capas de aleuronas, son removidas durante la molienda por lo que no son importantes para el consumo humano ni para la determinación de las propiedades cualitativas.

Albúminas y globulinas se acumulan desde antes hasta 20 días después de antes y luego se mantienen en un nivel constante.

Proteínas del gluten

El gluten se divide en dos fracciones: gliadinas (solubles en alcohol) y gluteninas (insolubles en alcohol).

Las gliadinas son proteínas monoméricas, que se separan en α , β , γ y grupos ω por electroforesis en poliacrilamida a bajo pH. Representan alrededor del 40% de las proteínas totales.

Las gluteninas son proteínas poliméricas estabilizadas por enlaces disulfuro entre cadenas. Estos enlaces deben ser reducidos para que las subunidades puedan ser analizadas con más detalle. Después de la reducción se liberan dos grupos de subunidades de gluteninas (GS): HMW y LMW. Como las gliadinas, también constituyen un 40% de las proteínas del trigo. La separación de las subunidades de glutenina según su peso molecular se realiza por electroforesis en gel de poliacrilamida (Figura 8).

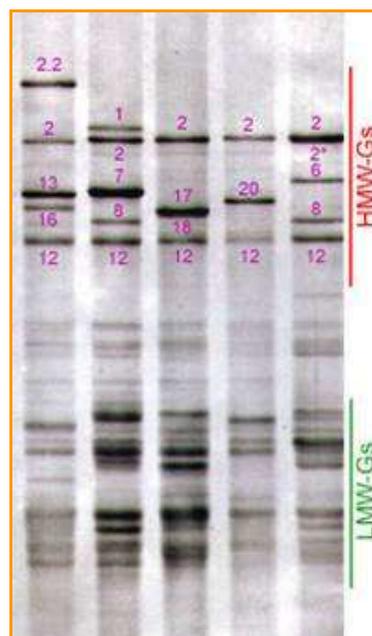


Figura 8- Electroforesis de gluteninas

La relación entre proteínas monoméricas y poliméricas está controlada genéticamente pero puede ser modificada por el ambiente. Las diferencias en fuerza de las gluteninas de distintas muestras de trigo están relacionadas con la distribución de los pesos moleculares.

Diferentes clasificaciones

Una clasificación ampliamente usada fue propuesta por Shewry (1984), se basa en las *características estructurales* e incluye:

- 1) prolaminas HMW que comprenden solo HMW- GS,
- 2) las proteínas pobres en S (S-pobres) que comprenden ω gliadinas,
- 3) las prolaminas S- ricas, que comprenden α y γ gliadinas y MW- GS.

Las subunidades de glutenina son también clasificadas como grupos A, B C y D, de acuerdo a su *tamaño y punto isoeléctrico* (Jackson *et al*, 1983). El grupo A incluye las HMW-GS, mientras que B, C y D corresponden a la muy heterogénea familia de las LMW-GS. Solo las LMW-GS que pertenecen al grupo B pueden ser consideradas típicas LMW-GS, porque tienen una estructura peculiar, mientras que las que corresponden a los grupos C y D son verdaderamente polipéptidos del tipo gliadinas que son parte de las gluteninas porque tiene un número modificado de residuos de cisteína. Específicamente, las subunidades C contienen principalmente α y γ gliadinas, mientras que las D contienen ω gliadinas modificadas.

Esto significa que entre las subunidades de gluteninas hay polipéptidos que son funcionalmente gluteninas en el sentido estricto, porque forman polímeros por medio de enlaces intermoleculares disulfuro, pero que son estructuralmente gliadinas porque la única diferencia es la presencia de un residuo de cisteína extra.

Las subunidades del tipo B hacen la mayor contribución a la fracción glutenina, cerca del 60%, seguida de HMW-GS con el 30%, mientras que solo el 10% es aportado por los grupos C y D. La proporción de estos tres grupos está influenciada por el genotipo y las condiciones ambientales.

Desde el punto de vista *funcional*, las subunidades de glutenina también pueden ser clasificadas de acuerdo a su capacidad para contribuir al crecimiento de los polímeros de glutenina. Hay 3 categorías funcionales:

- 1) los “extendedores” de cadenas, aquellos polipéptidos que poseen dos residuos de cisteína disponibles para formar enlaces disulfuro con muchas subunidades de glutenina y por lo tanto aumentar el crecimiento de los polímeros de una manera lineal;
- 2) los “ramificadores” de cadenas, aquellas subunidades de glutenina que tienen por lo menos tres residuos de cisteína disponibles para formar enlaces disulfuro intermoleculares, favoreciendo el crecimiento del polímero de una manera ramificada y
- 3) los “terminadores” de cadenas cuyas subunidades de glutenina tienen solo un residuo de cisteína impar y por lo tanto no permiten el crecimiento del polímero. Se entiende que las típicas LMW-GS pertenecen al tipo 1, mientras que las gluteninas parecidas a las gliadinas pertenecen al 3.

Otra clasificación para las LMW-GS está basada en el *aminoácido N-terminal* que puede ser: serina (LMW- tipo s), metionina (LMW- tipo m) o isoleucina (LMW- tipo i). Este último grupo muestra grandes diferencias estructurales comparado con LMW-tipo s y LMW- tipo m porque le falta la región N -terminal, aunque tiene el mismo número de residuos de cisteína (ocho) que los otros tipos.

Genética

Las *gliadinas* son codificadas por genes presentes en el locus complejo *Gli-1* (γ y ω) y *Gli-2* (α , β), ubicado en el brazo corto de los grupos homólogos de cromosomas 1 y 6,

respectivamente. La mayor parte de las subunidades de *gluteninas LMW* son codificadas por genes presentes en el complejo *Glu-3*, estrechamente relacionado con el locus *Gli-1*, mientras que las *HMW* son codificadas por pares de genes en el locus *Glu-1*, situado en el brazo largo de los cromosomas 1A y 1B.

Estudios sobre la posible asociación entre las proteínas del gluten y la calidad de cocción en los que Damidaux (1978) fue pionero, analizaron la composición de gliadinas. Encontraron que la presencia de la γ gliadina- 45 estaba asociada con características superiores de calidad comparados con aquellos trigos candeales que tenían la variante alélica γ gliadina- 42. Estudios posteriores demostraron que eran solo marcadores genéticos y que las LMW son responsables de las diferencias en calidad; LMW-1 y LMW-2 están asociadas con pobre y buena calidad, respectivamente (Payne, 1984). Aunque las diferencias estructurales no pueden ser excluidas, las diferencias en cantidad parecen mayormente responsables de la mejor calidad de la LMW-2 con respecto a la LMW-1.

Investigaciones realizadas por Carrillo (2000) permitieron establecer que los trigos que poseen la γ gliadina- 45 pueden ser asociados con 6 diferentes alelos en el locus *Glu-B3* y esta variabilidad puede explicar las variaciones de calidad entre cultivares.

Los estudios sobre el rol de las HMW en la calidad son menos claros. Se ha sugerido que esto puede deberse al hecho de que la mayor parte de los cultivares de trigo candeal presentan un rango limitado de variación en el locus *Glu-B1* y muchos de ellos tienen el alelo nulo. La única indicación firme corresponde al efecto negativo de las HMW- GS 20 informado por varios grupos de investigación.

Los polímeros de glutenina y su relación con la calidad del trigo

La importancia de estudiar en detalle las subunidades de glutenina, tanto de alto como de bajo peso molecular se debe a que son los constituyentes básicos de los polímeros de glutenina, cuya estructura, composición y tamaño están estrictamente relacionados con las características de las masas. Las subunidades de gluteninas están unidas por enlaces disulfuro intermoleculares; por lo tanto el número y la distribución de los residuos de cisteína es de crucial importancia. Por ejemplo, el efecto negativo sobre la fuerza de gluten y propiedades de la masa de las HMW-GS 20, que ha sido demostrado que está formada por 2 subunidades (20x + 20y) tanto en trigo pan como trigo candeal, es una consecuencia de la ausencia de 2 residuos de cisteína en el N terminal de la subunidad tipo-x, que resulta en la sustitución de la tirosina, comparado con los 4 residuos presentes normalmente en las subunidades Bx. La menor densidad de los residuos de cisteína resulta en menores cantidades de proteínas poliméricas, lo que afecta el tamaño del polímero.

Estudios realizados sobre las variedades comerciales de trigo candeal argentinas (Rogers *et al*, 2001) revelaron que una parte de los cultivares evaluados poseía la subunidades de gluteninas HMWS 7+8, de fuerza de gluten alta, codificadas en el alelo *Glu-B1b*, score Payne 3; otros, las subunidades HMWS 6+8, codificadas en el alelo *Glu - B1 d*, score Payne 1, ambas combinaciones predictoras de buena calidad industrial; solamente una de las variedades poseía las mencionadas subunidades HMWS 20+20y que indican un efecto negativo sobre las características de las masas.

El método más común usado para estudiar los polímeros de glutenina en su forma no reducida es la cromatografía por exclusión de tamaño (SE- HPLC), que permite la separación y cuantificación de varias clases de proteína de trigo (albúminas y

globulinas, gliadinas y gluteninas). Aunque SE- HPLC no permite inferir el tamaño del polímero en el volumen vacío, es posible medir la cantidad, que está fuertemente correlacionada con los parámetros de calidad. Bajo esta mirada, uno de los métodos más comunes usados para estudiar las características de calidad de las masas es el porcentaje de proteínas poliméricas no extractables (%UPP), un parámetro que da una medida relativa de la distribución del peso molecular del polímero, basado en la solubilidad, medido por SE-HPLC. Se ha visto una correlación positiva entre %UPP y las características de calidad de las masas. En trigo candeal se ha detectado una correlación positiva entre el test de sedimentación con SDS y el mixograma con %UPP; también buena correlación entre fuerza de gluten y % UPP.

La dureza del grano está determinada por el grado de adhesión entre los gránulos de almidón y la matriz proteica. Esta interacción es regulada por el complejo de proteínas llamado friabilina que incluye las puroindolinas A (pinA) y B (pinB). Las puroindolinas se unen a los lípidos polares de la superficie del granulo de almidón y de los cuerpos proteicos en el endosperma limitando las interacciones almidón/proteína. La textura más suave del endosperma del trigo pan es el resultado de la presencia de ambos tipos de alelos de puroindolinas. La mutación de cualquiera de ellos se asocia con una textura más dura. El pinB o las puroindolinas están ausentes o son escasas en los trigos durum (Ver también Dureza en el capítulo *Metodologías de evaluación* y Vitreosidad en el capítulo *Comercialización*).

ALMIDON

Estructura y composición

El almidón se deposita en el grano en la forma de gránulos llamados amiloplastos. Representa el 70% de la materia seca del endosperma maduro y puede ser definido como un polímero de la α - glucosa. El almidón comprende dos polímeros de D-glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero levemente ramificado, con un $PM=10^5-10^6$. Representa 25% del gránulo de almidón, pero en algunos casos, puede variar entre 0-40%. La amilopectina es un polímero muy ramificado con un $PM=10^7-10^8$. La amilopectina aporta la cristalinidad parcial de almidón, mientras que la amilosa es completamente amorfa. El trigo candeal y otros trigos tienen una distribución bifásica de los gránulos. Los gránulos A tienen forma lenticular, con diámetros entre 20-25 μm . Los gránulos B son esféricos con diámetros entre 5-6 μm . Los gránulos presentan estructuras de anillos concéntricos y un patrón de difracción de rayos X característico atribuible al empaquetamiento ordenado de la amilopectina. El polímero de amilosa puede formar complejos con los lípidos, y este complejo resiste la lixiviación desde el gránulo y también la entrada de agua al gránulo.

Cuando el almidón es calentado en exceso de agua, absorbe agua, el gránulo se hincha y eventualmente se rompen los enlaces aumentando la viscosidad de la solución. A la temperatura de gelatinización 58-65°C, la energía es absorbida produciéndose una reacción endotérmica (ΔH). La pérdida de cristalinidad lleva a un rápido hinchamiento del gránulo, disolución del almidón y exudación de los componentes de los gránulos, con un rápido aumento de la viscosidad. Esta última puede ser medida con un RVA (Rapid Visco Analyzer, Perten Instruments). La amilosa lixivia del gránulo, pero la amilopectina permanece asociada a él. Con más calentamiento, los gránulos se

distorsionan y el almidón soluble es liberado a la solución, pudiéndose producir la disrupción total de los gránulos, lo que conduce a una disminución de la viscosidad. A medida que la pasta es enfriada, la amilosa retrograda rápidamente y la viscosidad aumenta hasta que alcanza su valor final. Esto da un perfil de RVA muy característico para el almidón.

La gelatinización del almidón del trigo candeal se produce a una temperatura ligeramente inferior a la del trigo pan y el rango de temperaturas es algo más amplio. El pico de gelatinización del complejo amilasa- lípido tiene mayor entalpía comparado con el almidón aislado de trigo pan, lo que sugiere que el almidón de trigo candeal contiene más lípidos.

Las variaciones en los contenidos de amilasa y amilopectina pueden influir sobre las propiedades funcionales del almidón, lo que a su vez puede afectar su uso en alimentos.

El rol del almidón en la calidad de la pasta

La masa de harina de trigo es un material compuesto en el cual el gluten forma una matriz donde los gránulos rellenan los espacios (Figura 9). Las interacciones entre almidón y proteína afectan la dureza del grano y las propiedades superficiales de los gránulos son importantes en el comportamiento reológico de las masas. La remoción de los lípidos y las proteínas de la superficie de los gránulos alteraba las propiedades de gelatinización y viscosidad.

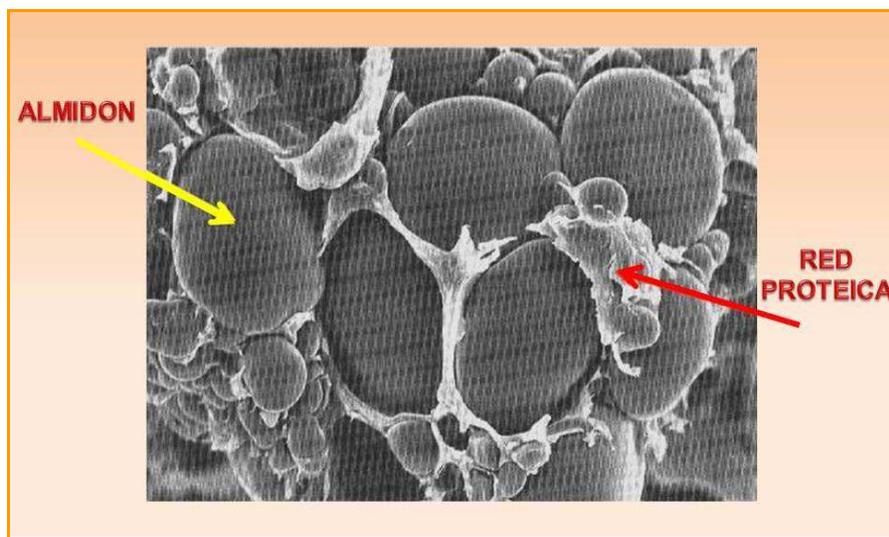


Figura 9- Gránulos de almidón y red proteica

Variaciones en el contenido de amilosa

En el género *Triticum*, la composición del almidón está controlada por unos pocos genes lo que produce genotipos con almidones que van desde sin amilosa (trigos Waxy) hasta aquellos con contenido de amilosa mayor al normal. La relación amilosa/ amilopectina determina las propiedades físico-químicas del almidón, y por tanto, los usos finales del grano.

La amilosa tiene una alta tendencia a retrogradar y produce un gel firme después que el almidón ha sido cocido y enfriado. Por el contrario, la estructura ramificada y cristalina de la amilopectina impide la retrogradación y hace más lenta la formación del gel, resultando en uno mucho más débil.

En los trigos waxy la falta de amilosas unidas por puentes hidrógeno puede causar una disminución de la resistencia al triturado obteniéndose mayor almidón dañado en la molienda. Aunque las líneas waxy tienen menos contenido de gluten comparadas con los cultivares de trigo candeal no waxy, los mixogramas indican masas más fuertes. La pasta hecha a partir de trigos waxy tiene menores tiempos de cocción, es muy blanda y mucho menos amarilla. No se observaron diferencias en las pérdidas de cocción. Dexter y Matsuo (1979) demostraron una correlación positiva entre la calidad de la pasta y el contenido de amilosa. A medida que el contenido de amilosa decrecía por aumento del % de almidón waxy en las mezclas de harinas, el tiempo de cocción, la firmeza de la pasta y el peso del fideo cocido disminuían, mientras que la pegajosidad aumentaba.

Si se pensaba que la amilosa exudada por los gránulos durante la cocción era responsable de la pegajosidad de la pasta, entonces cómo esta podía aumentar con una reducción de la amilosa? La posible explicación para esta aparente contradicción reside en el aumento del hinchamiento. Los gránulos hinchados son más blandos y están más expuestos a la ruptura, lo que disminuye la firmeza de la pasta. La rotura de estos gránulos durante la cocción, quizás como resultado de una fuerza ejercida por los gránulos a medida que se hinchan contra la matriz de proteína, también libera agua y reduce el total de agua absorbida por la pasta.

Cambios del almidón durante el procesamiento de la pasta

Elaboración y secado: Se produce casi el doble de almidón dañado durante la extrusión y secado que en la molienda. El cambio más importante ocurre en la etapa de secado. El almidón dañado puede actuar como sustrato para la alfa-amilasa durante el secado especialmente en las etapas iniciales cuando son aplicadas temperaturas <65 °C con alta humedad. La acción de la enzima alfa-amilasa aumenta la solubilización del almidón.

Presumiblemente, la alfa amilasa está activa solamente cuando la temperatura es baja o en la fase inicial del secado. La pegajosidad está relacionada con la formación de una fase de almidón continua con gránulos hinchados rotos en la superficie de la pasta con pérdida de amilosa.

Se ha sugerido que el secado a alta temperatura (HT) resulta en gránulos más rígidos y menos permeables. Antes de la introducción de la HT, el secado a baja temperatura (LT, 30-40°C) era común; pero este método ha sido reemplazado progresivamente por el HT (60-85°C) y el HHT, muy alta temperatura (90-100°C). El HT mejora la seguridad microbiológica del producto, permite un secado más corto y menor gasto de energía y mejora el color y la textura de los fideos. Los spaghetti secados a 100°C son más firmes y menos pegajosos. La matriz de gluten se ve reforzada y esto contribuye a una mayor firmeza.

Cocción: La textura final del fideo cocido está fuertemente relacionada con los cambios en la proteína (coagulación) y el almidón (gelatinización) durante la cocción. La pasta tiene diferencias estructurales entre el exterior y el centro. En el punto óptimo de

coCCIÓN el fideo presenta un gradiente de humedad que decrece hacia el centro del fideo; en este punto se observan gránulos intactos. Durante la coCCIÓN en exceso de agua la pasta se expande en tamaño a causa del hinchamiento de los gránulos. La textura de una pasta al dente está caracterizada por una zona externa suave pero consistente y un centro firme que ofrece una cierta resistencia al corte.

En la región central los gránulos se parecen a los de la pasta seca. En la región intermedia aparecen vacíos alrededor de los gránulos grandes que están más achatados. En la región externa el almidón está gelatinizado; el contenido de amilosa es menor. La amilosa sale del gránulo formando una capa de gel externa que controla la difusión del agua al centro del fideo donde el almidón todavía está por gelatinizar. La matriz proteica aparece como un continuo entre los gránulos.

LIPIDOS

Los lípidos se definen como compuestos naturales solubles en solventes orgánicos y con limitada solubilidad en agua. Los ésteres glicéricos de ácidos grasos representan el 99% de los lípidos naturales. El contenido de lípidos en el trigo es pequeño, oscila entre 2-4%, sin embargo, juega un rol importante en la determinación de la calidad del alimento.

Los ácidos grasos esenciales poseen beneficios cardio-protectores, modulación de la respuesta inflamatoria y un impacto positivo en el sistema nervioso central.

Los lípidos están distribuidos en el grano como compuestos estructurales de membranas y orgánulos y en tejidos como aleuronas, escutelo y eje embrionario. Los lípidos pueden dividirse en lípidos almidonosos y no- almidonosos. Los almidonosos, unidos a los gránulos, son muy difíciles de extraer, representan una pequeña porción del total y requieren ser extraídos con una mezcla hirviente de m-butanol y agua.

Solventes con baja polaridad como el hexano extraen solo un mínimo de lípidos polares y no pueden extraer lípidos asociados con el almidón ya que ellos no muestran ninguna afinidad con solventes no- polares. Los lípidos libres pueden ser extraídos con solventes orgánicos no-polares. Las diferentes técnicas de extracción son responsables de las diferencias en los resultados obtenidos por distintos investigadores. La distribución de los diferentes lípidos en la sémola puede verse en el Cuadro 4.

Las diferentes partes del grano muestran distintos % de aceite: embrión: 66%; endosperma: 19%; salvado: 15% de los lípidos totales. Por ejemplo, el embrión que representa el 2-3% del peso del grano concentra 11% del aceite del grano. El aceite que puede extraerse del embrión puede ser usado en productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos.

Cuadro 4- Distribución de lípidos en la sémola

Clases de lípidos	Valor promedio (g/100g)	Total %	Libre %	Ligado %
Lípidos totales	1.95 ± 0.11	100.0		
Lípidos libres	1.15 ± 0.13	60.0		
Lípidos libres no polares	0.70 ± 0.09		43.8	
Lípidos libres polares	0.45 ± 0.06		28.1	
Glicolípidos	0.32 ± 0.05		20.0	
Fosfolípidos	0.13 ± 0.03		8.1	
Lípidos ligados	0.80 ± 0.13	40.0		
No polares	0.34 ± 0.11			42.5
Polares	0.46 ± 0.06			57.5

Fuente: *Durum Wheat, 2nd Edition, AACC, 2012*

El aceite del germen está muy valorado por su alto contenido de ácidos grasos no saturados (80%), principalmente linoleico y linolénico, que son de gran importancia para la salud humana (contracción de músculos y procesos inflamatorios) y no pueden ser sintetizados por el organismo. Asimismo, el ácido linoleico ayuda a eliminar el colesterol. En el Cuadro 5 se presenta un rango de valores para cada uno de los ácidos grasos presentes en el grano.

Cuadro 5- Composición de ácidos grasos en el grano de trigo candeal

Acidos grasos	%Mínimo	% Máximo
C14 (Ac. Mirístico)	trazas	0.1
C16 (Ac. Palmítico)	16.2	19.0
C16:1 n (Ac. Palmíto-oleico)	Trazas	0.2
C18 (Ac. Esteárico)	0.7	1.4
C18:1 n7 (Ac. Oleico)	19.2	20.4
C18:2 n9 (Ac. Linoleico)	52.0	53.0
C18:3n3 (Ac. α-Linolénico)	3.7	5.8
C20 (Ac. Araquídico)	0.1	0.2
C20:1 n9 (Ac. Gadoleico)	0.7	1.1

Fuente: *Durum Wheat, 2nd Edition, AACC, 2012*

Según algunos autores, la interacción de los compuestos lipídicos con las moléculas de almidón y proteína mejora las características cualitativas del producto final disminuyendo su pegajosidad. También son determinantes de un aumento de la vida útil en aquellos productos que poseen grasa, aunque resultan más sensibles a procesos de oxidación.

ENZIMAS

Hay muchas enzimas activas en el trigo, se mencionan solo aquellas que están relacionadas con aspectos cualitativos de la pasta:

Oxidasas

Lipoxigenasas (LOX): Son también conocidas como lipoxidasas o caroteno- oxidasas. Están presentes en muchos tejidos y catalizan la peroxidación de ácidos grasos poli-insaturados. Los principales sustratos son el ácido linoleico y el alfa- linoléico. Como ya se ha dicho, el color de la pasta es el resultado del color de la sémola y de la pérdida de pigmento durante el procesamiento debido al blanqueo enzimático de los carotenos por la oxidación de los ácidos insaturados debido a la actividad de LOX. Las fases más importantes de pérdida de pigmento son la molienda y la elaboración de los fideos. Aunque tanto el contenido de pigmento como el nivel de LOX pueden ser afectados por el ambiente, la selección de cultivares con bajo nivel de LOX puede ser de alta relevancia para la calidad de la pasta. La reducción de la pérdida de pigmento es de interés tecnológico, nutricional y comercial.

Peroxidasas (POD): En el trigo candeal POD está relacionada con el color marrón de los productos. Se han encontrado correlaciones significativas entre la actividad de las peroxidasas y polifenoloxidasas con el índice de marrón de la pasta. La actividad de POD es más alta en la sémola que en los fideos y disminuye en el secado a alta temperatura. En el grano maduro la actividad de estas enzimas POD está localizada en el embrión y en las capas de aleuronas.

Se han descubierto altos niveles de polifenoloxidasas en el albumen del grano de trigo *durum* y su actividad aumentaba en los productos de molienda debido a la presencia de partes periféricas del grano por contaminación.

Amilasas

Las amilasas han recibido particular atención entre las enzimas hidrolíticas presentes en el grano de trigo porque son capaces de movilizar las macromoléculas de almidón y proteína durante la germinación. Estas enzimas pueden alcanzar un nivel alto en el grano maduro en determinadas condiciones ambientales (brotado). La actividad amilásica depende de la variedad pero tiene una fuerte influencia del ambiente. La α -amilasa es eficaz solamente sobre los gránulos de almidón dañado o gelatinizado, no en los gránulos enteros. Hidrolizan al azar las uniones α -1-4 de la molécula de almidón desde el extremo reductor, liberando maltosa y dextrinas. La β -amilasa, además de ser abundante en el endosperma, no es capaz de hidrolizar el gránulo de almidón sin la presencia de una acción previa de la α -amilasa. Aunque la producción de carbohidratos solubles parece no afectar la calidad de la pasta sí favorece la reacción de Maillard. Estas enzimas están localizadas en el pericarpio y capa de aleuronas de los granos.

Proteasas

Las proteasas producen desagregación de las grandes moléculas de proteína por lo tanto, aumentan su solubilidad. Modifican la elasticidad y viscosidad de las proteínas del gluten. Existe una correlación significativa y negativa entre la actividad proteolítica

y la calidad de cocción de la pasta. Las proteasas del grano brotado pueden afectar la red de gluten durante el amasado de la pasta, pero las provenientes de trigo sano no tienen efecto en la calidad de procesamiento del trigo candeal.

Otros compuestos Minerales, vitaminas y compuestos fitoquímicos (carotenoides, fibra dietética, fitoesteroles) se detallan en el capítulo *Valor nutricional*

VALOR NUTRICIONAL

El trigo candeal es un alimento que provee calorías y nutrientes para la dieta humana básica en muchas partes del mundo. Los cereales son el alimento más abundante en cuanto a producción y consumo mundial a un precio relativamente bajo. En particular, son una fuente de energía, carbohidratos, proteínas y fibra. Por su ubicación en la pirámide nutricional son la base de cualquier plan alimentario.

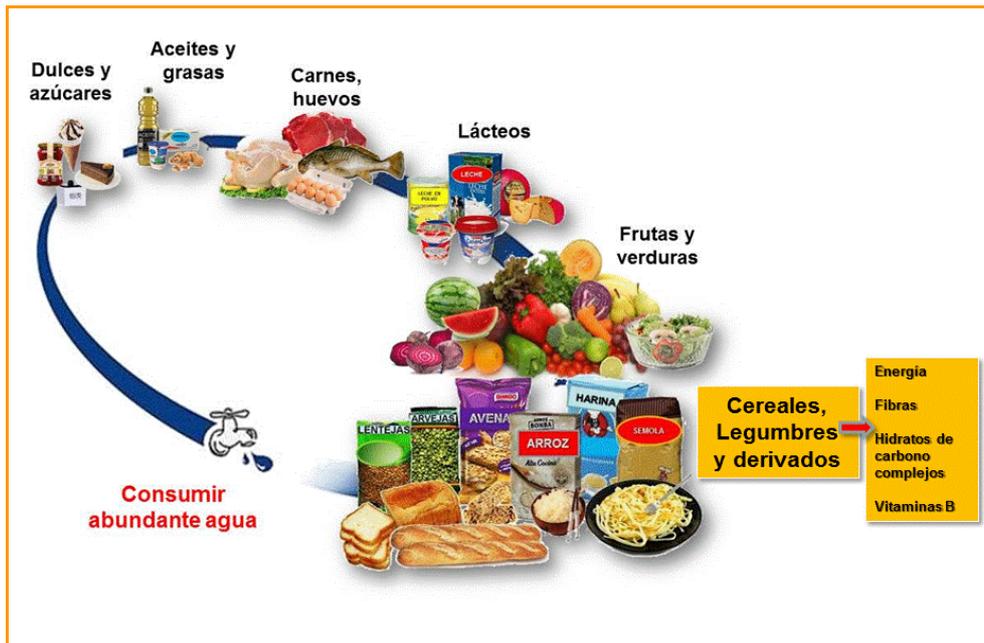


Figura 10- Ovalo Nutricional Argentino

Fuente: Adaptado de Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas.

Proteínas

El aporte nutricional de las proteínas a la dieta depende de su composición de aminoácidos y de su digestibilidad, es decir, de la proporción de la proteína ingerida que es absorbida. La digestibilidad de las proteínas de cereales de bajo contenido de fibra como el trigo es de un 95-100 %, por lo que no resulta un factor limitante.

Aminoácidos. Las proteínas de los cereales, de interesantes características estructurales, no tienen, sin embargo, un elevado valor biológico, por la carencia de algunos aminoácidos esenciales, en particular, la lisina. En el Cuadro 6 se informan los contenidos de aminoácidos (en gramos) por 100 g de proteína de fideos elaborados con sémola de trigo candeal.

Cuadro 6- Composición de aminoácidos en fideos de sémola
(g/100 g de proteína)

Aminoácidos	Fideos sémola	Valores Recomendados FAO-OMS
Lisina	2.01	6.4
Histidina	2.07	1.0
Arginina	3.62	
Acido aspártico	4.67	
Treonina	2.68	3.7
Serina	5.21	
Acido glutámico	32.22	
Prolina	10.91	
Glicina	3.25	
Alanina	3.29	
Cistina	2.34	
Valina	4.99	3.8
Metionina	1.68	1.0
Isoleucina	4.17	3.1
Leucina	7.65	7.3
Tirosina	2.84	
Fenilalanina	4.97	1.6
Triptófano	0.96	1.25

(en negrita, AA esenciales) Fuente: La pasta, Barilla, 2000.

Vitaminas: El trigo candeal contiene cantidades significativas concentradas principalmente en el pericarpio, germen y capa de aleuronas. El contenido de vitaminas es menor en la sémola refinada y el fideo (Cuadro 7). No contiene vitamina C, ni A ni B12, pero sí es una fuente de B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (piridoxina) y E, un importante antioxidante. También posee carotenos que pueden actuar como precursores de la vitamina A. Estos contenidos pueden variar según cultivar, sitio y condiciones de cultivo.

Cuadro 7- Contenido de vitaminas en el trigo candeal

Nutriente	Trigo µg/g	Sémola (%)	Fideos (%)
Tiamina	6.7	48	48
Riboflavina	1.1	88	86
Niacina			
Total	111	35	40
Libre	47	47	45
Vitamina B ₆	4.3	28	25
Piroxidina	3.3	24	20
Piridoxal	0.6	31	31
Piridoxamina	0.4	53	58
Tocoferoles	58	43	5

Fuente: Durum Wheat, 2nd Edition, AACC, 2012

Carbohidratos. Índice glucémico. El Índice Glucémico (IG) de la pasta varía entre 42-50, un valor que puede considerarse bajo y que resulta muy favorable si se compara con el control glucosa o pan blanco IG= 69.

Minerales: Los actuales cultivares de cereales tienden a tener menor concentración de minerales ya que el aumento en los rendimientos debidos al mejoramiento pueden haber reducido esas concentraciones por efecto de la dilución. La principal deficiencia de micronutrientes es la de Fe, que afecta a varios millones de personas en el mundo, seguida de la de iodo y zinc.

El trigo es una significativa fuente de Mg, Mn, Fe, Zn, Cu y Mo; también de Se bio-disponible a menos que haya crecido en un suelo deficiente en este elemento. El grano de trigo candeal es bajo en Na.

La mayor parte de los minerales están localizados en el salvado y el germen. Casi todo el P está bajo la forma de fitatos, los que reducen la biodisponibilidad del Fe, Ca y Zn. La concentración de Fe y Zn en el grano está altamente asociada a su disponibilidad en el suelo. La molienda reduce sus concentraciones especialmente en el caso de Mn, Fe, Mg y Zn. En muchos países la pasta se fortifica con Fe, a veces con Ca y con vitaminas para compensar las pérdidas durante el proceso de refinación.

Fibra dietaria: La fibra dietaria es uno de los compuestos más importantes en los granos de cereales en términos de beneficios para la salud. Fibra dietaria es la porción de las células de las plantas que resiste la digestión e incluye lignina, inulina, celulosa, hemicelulosa, almidón resistente y otros compuestos. Los componentes de la fibra dietaria del trigo son los arabinoxilanos, algunos β - glucanos, celulosa y lignanos que son más abundantes en el salvado. Los β - glucanos han recibido especial atención por ser fuente de fibra soluble aunque los de la avena y la cebada tiene mayor solubilidad. La fibra dietaria posee efecto laxante, reduce el riesgo de cáncer, enfermedades coronarias y diabetes. Como en la pasta de sémola el valor de fibra no es muy significativo, si se desea aumentar su ingesta es recomendable el consumo de fideos integrales, con lo que puede elevarse su nivel hasta el 6%.

Pigmentos carotenoides: Los carotenoides son una de las clases más importantes de pigmentos rojos, naranjas y amarillos. Tienen una acción protectora contra el cáncer y enfermedades degenerativas y mejoran la absorción del hierro. Estos efectos también han sido asociados con su poder antioxidante. α y β -carotenos están principalmente localizados en el germen del grano de trigo, mientras que la luteína lo está en todo el grano. Luteína y xantinas son los carotenoides normalmente encontrados en mayor proporción en el trigo y junto con los β - carotenos son los principales pigmentos del trigo candeal. En la figura 11 se reproduce un perfil de los pigmentos carotenoides obtenidos por HPLC.

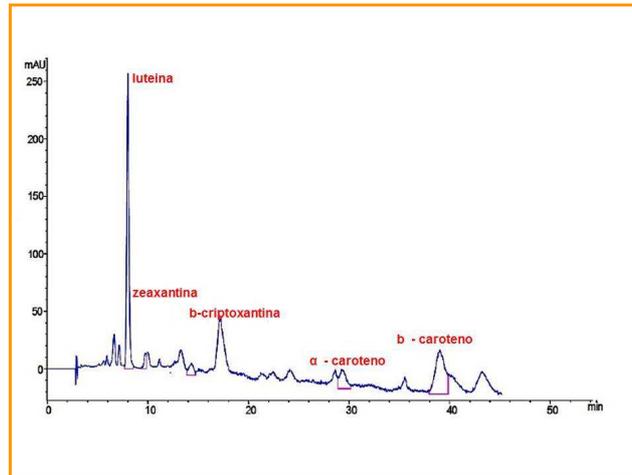


Figura 11- Perfil HPLC de pigmentos carotenoides

El color amarillo de la sémola de trigo candeal se debe a los carotenoides localizados en el endosperma. El color de la pasta es un parámetro básico de calidad con gran influencia en la aceptación por el consumidor. Otros autores han verificado que los carotenoides representan solo una parte del color total visible. El color de la pasta seca y cocida resulta de un balance entre la acumulación natural de los pigmentos carotenoides y otros compuestos coloreados producidos por la degradación oxidativa de los carotenoides por la lipoxigenasa (Carrera *et al*, 2007), durante el procesamiento. Se ha observado una reducción de hasta el 48% del contenido de pigmentos durante la fase de extrusión y después del secado.

Fitoesteroles: son compuestos de estructura similar al colesterol. Una ingesta alta de esteroides de las plantas ha sido relacionada con una baja en la concentración de las lipoproteínas totales y de baja densidad en sangre, posiblemente por la inhibición de la absorción del colesterol en el intestino. Dado que la concentración de fitoesteroides en el grano entero es baja, para que su efecto sea beneficioso debe basarse en el alto consumo de cereales. Algunos estudios indican que el trigo candeal posee niveles más altos que el trigo pan.

Otros compuestos fitoquímicos: Más recientemente la investigación ha revelado que los cereales son una fuente de compuestos bioactivos, también conocidos como fitoquímicos o fitonutrientes. Estos compuestos han mostrado tener importantes efectos asociados con la prevención y alivio de ciertas enfermedades: prevención y reducción del estrés oxidativo, anticáncer, antidiabetes, antiinflamatorios, antihipertensivos y como preventivos de enfermedades cardiovasculares.

Valor nutricional de la pasta

Los eventos que más afectan el valor nutritivo de los productos son la molienda, la preparación de la masa y la cocción; el secado parece tener muy escaso efecto. Fibra, vitaminas y minerales están concentrados en el salvado por lo que la molienda remueve una parte importante del contenido nutricional. La sémola obtenida del grano entero aumenta el valor nutricional de la pasta aunque su biodisponibilidad

puede verse negativamente afectada por los componentes antinutricionales de la fibra, por ejemplo, el ácido fítico.

La pasta se cocina normalmente en agua salada, los nutrientes pueden perderse en el agua y la sal agregada ser absorbida por la pasta. Se consignan en el Cuadro 8 los valores nutricionales promedio para 100 g de pasta seca sin cocinar.

Cuadro 8- Valor nutricional de la pasta
(100 g pasta seca cruda)

Componente	Valores promedio	Recomendación
Agua	10.8 g	
Proteínas	10.9 g	13.4 % kcal totales
Lípidos	1.4 g	3.9 % kcal totales
Carbohidratos	65.6 g	81 % kcal totales
- Almidón	61.4 g	
- Azúcares	4.2 g	
Fibra dietaria	2.7 g	
Energía	325 kcal	
Minerales		
- Sodio	4 mg	
- Potasio	192 mg	
- Hierro	1.4 mg	10 % NDA
- Calcio	22 mg	3 % NDA
- Fósforo	189 mg	24 % NDA

NDA: Nivel Diario Aconsejado

Fuente: *La pasta, Barilla, 2000*

Enfermedad celíaca

Está causada por la ingestión de prolaminas (gliadinas) del endosperma de la familia *Triticeae*: trigo pan, candeal, cebada, centeno y triticale. Incluye a las gliadinas del trigo (y prolaminas similares de otras especies) y gluteninas. El gluten contiene por lo menos 19 gliadinas capaces de hacer proliferar células T en el intestino delgado de individuos con esta enfermedad. Algunas HMW-GS también han sido identificadas como potencialmente tóxicas.

El único tratamiento efectivo para la enfermedad celíaca es evitar las gliadinas tóxicas. Se buscan nuevas terapias para la enfermedad o el desarrollo de alimentos basados en trigo pero sin las prolaminas nocivas.

MOLIENDA

En nuestro país la mayor parte del trigo candeal se destina a la producción de fideos. La materia prima para obtener un producto exitoso es sémola de calidad, es decir, partículas de endosperma de una granulometría uniforme, con color amarillo brillante natural, libre de salvado y otras pecas que arruinen el color.

Recepción del grano

El trigo que se recibe en el molino debe ser controlado en su peso y calidad antes de ser almacenado. Esto se realiza para asegurarse que concuerde con los requerimientos solicitados al proveedor y al precio pagado por él. Los molinos pueden necesitar diferentes calidades de materia prima para reducir el precio de las mezclas. Para esto es necesario disponer de varios silos de almacenamiento. Del tamaño de esos silos depende la capacidad de molienda. Se considera adecuado disponer de 2-3 meses de stock de materia prima para no correr el riesgo de falta de los tipos de trigo apropiados. Normalmente, en el trigo candeal no se mezclan trigos por sus características cualitativas sino que se comercializan variedades puras para garantizar la uniformidad del producto. Si la humedad del trigo supera el 14% debe ser aireado y, eventualmente, secado.

Limpieza

En la pre-limpieza el trigo pasa por zarandas para sacar objetos grandes, luego por un imán detector de metales ferrosos y se pesa. Antes de ser almacenado en los silos de materia prima, pasa por un equipo que separa impurezas: i) por tamaño, más grandes o más pequeñas que el grano de trigo; ii) por densidad (piedras) o, iii) por peso (paja y glumas), así como por un canal de aspiración para remover polvo, paja y otras partes livianas de la planta.

Retirar aquellas impurezas que causan pecas es muy importante en la limpieza del trigo candeal. La sémola es un producto grueso, comparado con la harina. Toda peca proveniente de carbón, ergot, piedras, malezas, otros granos, o algo similar, que estén presentes en la sémola son fácilmente detectables aún en el producto terminado. La única manera de evitar impurezas en la sémola es que estas no lleguen a la molienda.

La dureza del grano de trigo candeal hace que se rompan más que los de trigo pan durante el transporte; para sacar los granos partidos se usa una mesa gravimétrica seguida de un separador en espiral.

En los últimos años se han incorporado clasificadores por color que permiten remover impurezas y granos manchados (por ejemplo con escudete negro); si se usan cámaras especiales, eventualmente también granos de cebada o granos totalmente almidonosos.

Acondicionamiento

Debido a la forma del grano y a su endosperma duro y vitreo, el pelado y el perlado son técnicas que proveen muchas ventajas. El pelado es el proceso de retirar el salvado por medio de la fricción, rozando un grano contra el otro. Puede remover 7- 9% del grano.

El perlado es un proceso más agresivo que consiste en el roce del grano contra una piedra abrasiva y permite remover hasta un 15 % del grano. Ambos procesos mejoran la eficiencia al acortar el diagrama de molienda y reducir la contaminación microbiológica de la sémola.

Describe el proceso de adición de agua al grano para asegurar su óptima preparación para la molienda. El agregado de agua, seguido de un tiempo de reposo establecido, asegura la penetración del agua en las capas de salvado y en las zonas entre el salvado y el endosperma. El aumento en el % de humedad del salvado lo hace más correoso y evita que se rompa en porciones pequeñas que son difíciles de remover de la sémola. El agua que penetra en el endosperma genera tensiones que facilitan una separación más limpia del endosperma y el salvado. Cuanto mayor es la humedad, mejor se separan las capas de salvado, aunque esto está limitado por la humedad de la sémola que no debe superar el 14%. Además se corre el riesgo de que el endosperma se vuelva muy suave y aumente la producción de harinas. El acondicionamiento también permite uniformar los distintos lotes de trigo para obtener condiciones estables en el molino y por tanto, una sémola de calidad consistente. Después del acondicionamiento se recomienda una segunda limpieza de la superficie del grano para minimizar el recuento bacteriano. Para ello se usan máquinas abrasivas o perladoras.

Molienda

Equipamiento

Rodillos: cada rodillo es una máquina doble que contiene dos pasajes de trituración separados, uno en cada lado de la máquina. La molienda se realiza con rollos corrugados accionados centrifugalmente. En la molienda tradicional del trigo candeal se usan rodillos estriados pero si se requiere producir sémolas finas, a veces son necesarios los rolos lisos. Los rolos corrugados giran a una velocidad diferencial de 1:1.25 mientras que los lisos a 1: 2.5, esta diferencia provoca un efecto de raspado (no solo de presión) que resulta en un número alto de partículas gruesas. El objetivo de la molienda de trigo candeal es reducir al mínimo la producción de harinetas.

Plansifter: la segunda máquina importante es el plansifter, equipado con tamices apilados, permite separar las mezclas de productos molidos en fracciones de varios tamaños. Deben estar fabricados en materiales no corrosivos como acero inoxidable o plástico (poliuretano) por razones sanitarias. Un objetivo de la industria alimentaria es reemplazar las partes de materiales orgánicos por este tipo de materiales.

Purificadores: Los purificadores (o sasores) se usan para separar partículas de salvado del mismo tamaño pero diferente densidad de las partículas de sémola limpia, son el corazón del molino candealero. Este equipo juega un papel muy importante ya que solo puede obtenerse una sémola limpia mediante una purificación efectiva. El purificador separa el endosperma del salvado y las partículas compuestas usando el principio de estratificación del producto. Esta estratificación se logra mediante la combinación de un movimiento de agitación vibratoria con el paso de una corriente suave de aire a través del producto. Un buen ajuste del purificador permite al aire pasar a través de los tamices levantando las partículas livianas de salvado pero impide a las partículas pesadas de sémola ser arrastradas por la corriente.

Etapas de la molienda:

Para el molinero es importante aumentar la extracción de sémola sin comprometer la calidad. La molienda del trigo candeal se realiza en varias etapas, cada una con un juego específico de rodillos.

Rodillos de rotura o pasajes B (breaking): rompen el grano, lo abren y liberan la sémola que luego es separada por las zarandas del plansifter en bandas de granulometría más estrecha. Los siguientes pasajes B continúan rascando el endosperma remanente en las capas de salvado. La molienda en varios pasos reduce la alta presión necesaria para la trituración que puede resultar en elevada producción de harinetas. Al mismo tiempo, el molinero trata de mantener las partículas de salvado en forma de hojuelas, lo que mejora la eficiencia de la separación endosperma- salvado. Si el salvado se rompe en partículas pequeñas el contenido de cenizas y de pecas oscuras de la sémola aumenta.

Rodillos de separación o pasajes D (detaching): su función es remover el salvado de las sémolas compuestas. La sémola compuesta es producida a partir de las capas externas del grano y está formada por partículas de salvado unidas a pedazos de endosperma. Mediante una molienda suave se puede desprender sémola limpia de esas partículas. Los pasajes D son rodillos corrugados en los que se aplican fuerzas de corte más que de presión.

Rodillos de reducción o pasajes RED (reduction): reducen el tamaño de la partícula. Las de gran tamaño absorben más agua durante la elaboración de los fideos, por lo que una granulometría uniforme es ideal para el buen control del proceso. Los rodillos son corrugados, similares a los D, preparados para reducir al mínimo las harinetas.

Diagrama de molienda: el diagrama del molino depende de las exigencias de granulometría de la sémola que se va a obtener (adaptado de Saturno, 2012):

- sémola entre 630-155 μ
- sémola gruesa 630 a 315 μ
- semitas 315-125 μ
- sémola y semitas finas desde 220 a 155 μ
- harinetas < 155 μ

Se requiere un largo sistema de purificación para que la presencia de pecas sea mínima. La producción de harinetas no debería superar el 2% de la extracción total para un rendimiento molinero del 68%.

Si se buscan **sémolas finas**, que tienen la ventaja de que absorben agua en un periodo corto con una distribución más uniforme, se pueden obtener rendimientos entre 75-78%, con diagramas más cortos y ahorro de energía.

El esquema de un rodillo típico se presenta en la Figura 12.

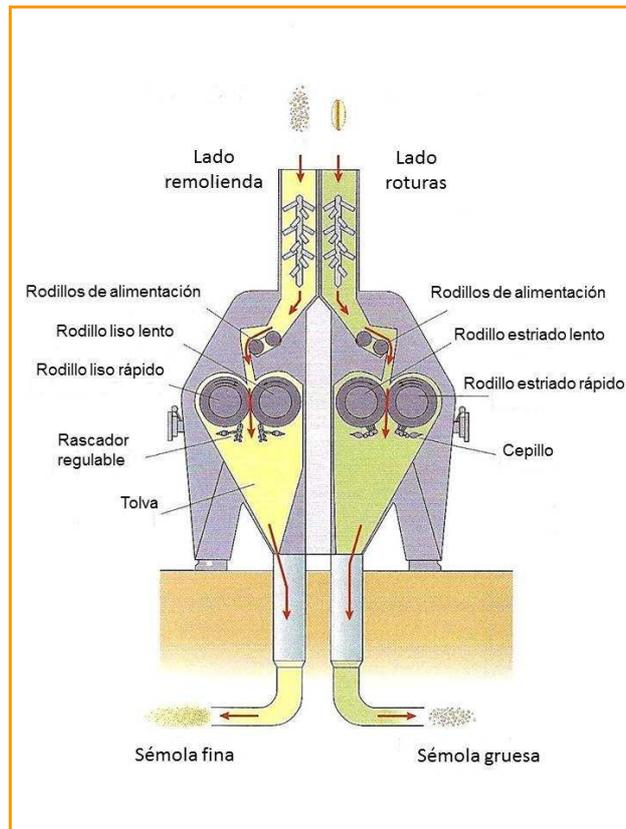


Figura 12- Corte transversal de un molino (La pasta, Barilla)

Análisis del producto

El endosperma del grano contiene menos ceniza que las capas exteriores del grano, por lo que puede servir como indicador del grado de pureza de la sémola. Ver distribución del % cenizas en el grano en la Figura 13.

En Argentina no se ha establecido un nivel límite para las cenizas de sémola como existe en países europeos, aunque la práctica estima un valor de 0.8%.

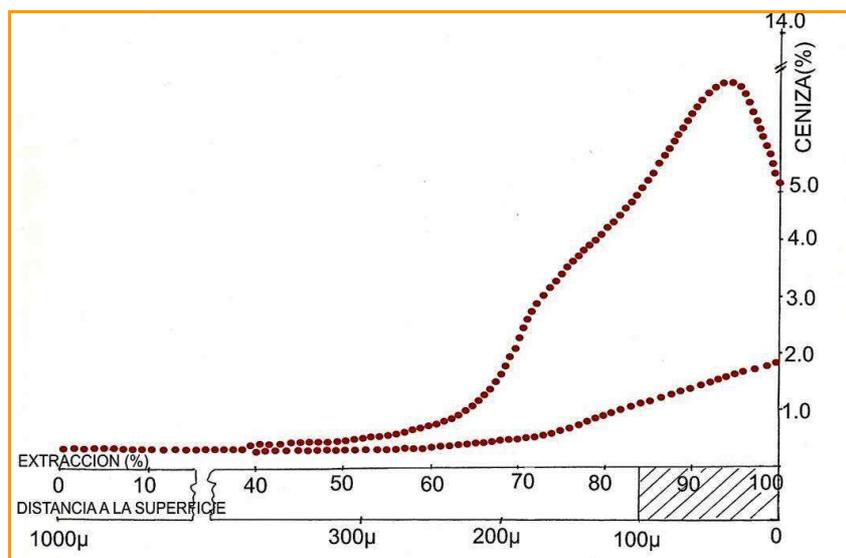


Figura 13- Distribución de cenizas en el grano

La remolienda de la sémola para obtener partículas más finas aumenta el % de almidón dañado del producto que se obtiene, lo que trae como consecuencia un aumento de los azúcares reductores.

La determinación de las pecas de salvado es un método práctico usado como rutina en los molinos. Aunque no hay un método estándar, normalmente se usa un vidrio de 50 cm² de área que se coloca sobre una muestra de sémola para contar las pecas por inspección visual. La precisión de este método depende mucho del operador. El análisis por imágenes puede ayudar a mejorar la técnica.

Seguridad e higiene del producto:

- Se ubican detectores magnéticos en todo el proceso, aún en las líneas que conducen el producto terminado.
- Para el control de infestaciones se usa una máquina que por impacto destruye los huevos de insectos
- Aparatos automáticos a lo largo del proceso realizan un control de la calidad y trazabilidad del producto en distintos puntos. Algunos recolectan muestras, que adecuadamente rotuladas, luego son analizadas en el Laboratorio.
- Control bromatológico del agua de remojo.

El tiempo de almacenamiento de las sémolas debe ser corto ya que el color del pigmento amarillo disminuye con el tiempo de ensilado.

ELABORACION DE FIDEOS

Según una encuesta mundial del año 2011, la pasta ocupa el primer lugar entre las diez comidas más populares. Esta aceptación tiene que ver con una relación costo/calidad adecuada, por lo que se vende bien en malos y buenos momentos económicos, se la considera un alimento no perecedero y extremadamente versátil. Las pastas son fáciles de cocinar, su sabor es muy aceptado, y con sus variadas formas y tamaños se pueden elaborar gran variedad de platos. Además, la pasta tiene bien ganado el prestigio de ser un alimento saludable ya que sus ingredientes son solo sémola y agua, no hacen falta otros (como el huevo) ni aditivos comerciales como colorantes, ya que si se utiliza sémola de trigo candeal, la pasta es naturalmente amarilla y traslúcida. Como se ha dicho, la pasta es un alimento que se caracteriza por su excelente perfil nutricional, por ser buena fuente de carbohidratos complejos y moderada de proteínas y ciertas vitaminas.

La metodología de fabricación que se describe en este capítulo se refiere a los fideos que el Código Alimentario Argentino define como fideos secos (la humedad no supera el 14%), de sémola (elaborados con sémola de trigo candeal).

En la producción de pasta el agua es el “reactivo” que permite modificar el gluten de la sémola a través del agregado de energía mecánica y térmica. La dosificación rigurosa, constante y continua es una premisa indispensable para una buena producción. La cantidad de sémola y de agua que el dosificador automático dispense en la prensa debe ser mantenido en proporciones constantes para evitar irregularidades en la masa que se reflejen en el producto final. Los dosificadores deben estar relacionados a la capacidad de la línea de producción. Es importante regular la temperatura del agua, para obtener una masa con el grado justo de humedad y una temperatura óptima, porque la sémola está sujeta a variaciones estacionales y al clima de la zona geográfica donde se encuentra la fábrica.

Premezclado (hidratación) y amasado

En un paso anterior al amasado, un aparato de premezcla llamado centrífuga, sirve para distribuir en forma uniforme el agua sobre la superficie de las partículas de sémola. La centrífuga está constituida por dos secciones de cilindro horizontales que forman un ocho acostado. En alguno de los dos cilindros está inserto un eje con aspas (paletas) que rotan. Este eje que gira en sentido contrario a alta velocidad (900 rpm) provoca el choque de la sémola y el agua contra las paredes internas del cilindro; por efecto de la velocidad y de la fuerza centrífuga se ponen en contacto y se homogenizan. Las aspas pueden ser orientadas de manera de aumentar o disminuir el tiempo de contacto dentro del equipo. Cuando la sémola se pone en contacto con el agua se inicia el período de hidratación del almidón y la proteína y comienza la formación de la red de gluten. El retículo glutínico está formado por innumerables filamentos muy delgados entremezclados. Estos filamentos forman una red muy fina que constituye el esqueleto de la masa y que retiene en la propia malla las partículas hinchadas del almidón hidratado. El gluten es muy ávido de agua, pudiendo absorber hasta 200 % de su peso.

La elasticidad (además de la cantidad), es uno de los requisitos más importantes que debe tener el gluten de una sémola para hacer fideos. Gracias a la elasticidad, la red de gluten puede retener al almidón hidratado por efecto del agua absorbida. Una buena hidratación de la sémola es una condición esencial para obtener un producto final de buena calidad.

La capacidad de absorber agua depende de:

- la dimensión de la partícula de sémola
- la cantidad y elasticidad del gluten: las sémolas de alto contenido proteico absorben mayor cantidad de agua
- la temperatura del agua de la masa: si se amasa con agua fría la absorción de agua es un proceso lento y se forma una masa dura y harinosa. Con el empleo de agua tibia (alrededor de 35 °C), la sémola se hincha rápidamente formando una masa de la consistencia justa.

El proceso de amasado que sigue a la fase de premezcla, mejora la homogenización de la mezcla sémola/agua. Se realiza por medio de una empastadora que es una cuba en forma de W en la cual se mueven dos ejes con aspas de forma lanceolada de modo de favorecer el transporte del comienzo al final de la cuba. La orientación de las aspas es tal de obtener la mejor consistencia de la masa. La acción de homogenización de la masa da inicio a las transformaciones químicas/físicas ya mencionadas: hinchamiento del almidón y formación parcial del gluten.

La última cuba de amasado es diferente a la anterior ya que usa vacío. Se trata de una cuba transversal a la prensa principal, presenta un solo eje con aspas y está perfectamente cerrada con una tapa de plexiglás. El movimiento de la masa dentro de la cuba se mantiene constante por medio de una sonda de nivel que enciende una alarma si el nivel es muy bajo. La función tecnológica de esta fase, además de continuar con el amasado, es la de evitar el aire en la masa para mejorar el color y el aspecto de la superficie.

Compresión (Extrusión)

En esta fase de transporte se produce la completa homogenización por efecto de la presión ejercida en el tornillo. La compresión es efectuada por un extrusor formado por un cilindro dentro del cual rota un tornillo sin fin. Después de esta etapa de compresión la masa llega a la tráfila para la formación de la pasta. Al final del tornillo hay una cámara de compresión que cumple la función de distribuir la masa de modo uniforme sobre la tráfila. La superficie interna del cilindro está acanalada en sentido longitudinal para evitar la rotación de la masa junto con el tornillo. En esta fase se genera calor, su eliminación es indispensable para no llevar la masa a una temperatura crítica para la coagulación de la proteína y obtener un buen desempeño de los fideos en la cocción, para lo cual hay que disponer de un sistema de refrigeración.

Trafilación

La masa, ahora un fluido muy viscoso, perfectamente homogenizado y compactado, pasa a través de un filtro o lámina agujereada, colocado sobre la tráfila, que tiene la función de retener las impurezas, deshacer los posible grumos y regularizar la

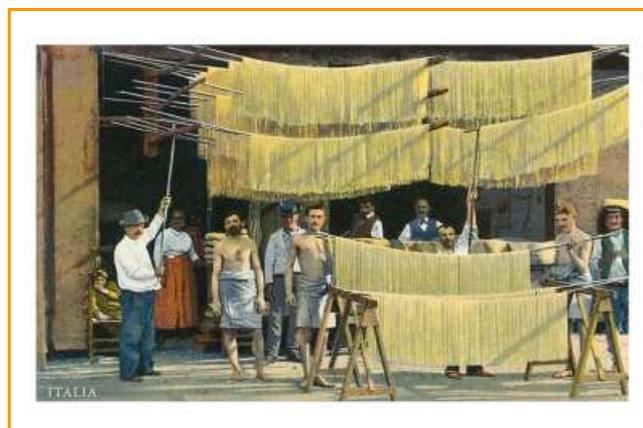
velocidad de entrada a la tráfila. La tráfila tiene características peculiares y diversas para cada formato de producto; hay algunas para pasta larga y otras para pasta corta. La superficie puede ser de bronce, que dará origen a un producto rugoso y de color amarillo claro o recubierta en teflón, para una superficie lisa amarillo brillante. La pasta todavía caliente (48-50 °C) y húmeda recibe un chorro de aire que crea en la superficie una levísima incrustación. La ventilación sirve también para que los spaghetti no se peguen entre ellos y para comenzar la deshidratación. La pasta larga una vez colgada en las cañas es cortada de un largo pre- determinado.

Secado

Consiste en la eliminación del agua en exceso. Esta operación debe ser realizada sin modificar la estructura de la pasta. Básicamente el principio del secado consiste en hacer pasar una corriente de aire caliente sobre la pasta fresca. El producto tal cual sale de la tráfila tiene una humedad que varía entre 29-33 %, esta humedad debe bajarse hasta un valor inferior al 14 % al final del secado para asegurar una fuerte reducción de la actividad microbiológica responsable de alteraciones en el producto.

El principal problema de esta etapa es que el fideo se seque diferente en la superficie y en el interior, situación que puede producirse dado la compleja dinámica de la transmisión del calor: la superficie tiende a secarse más rápido que la parte interna. De ahí vienen las tensiones que pueden provocar micro fisuras, pequeños veteados que son un defecto muy común.

La técnica de extracción progresiva del agua debe mantener adecuada porosidad sobre el estrato superficial en función de la humedad existente en el producto. Por esto se distinguen dos fases: pre-secado y secado. El pre-secado comprende desde 30 a 18 % humedad; el secado lleva la humedad hasta 12,5 %. En esta fase hay previstas varias pausas de descanso ("rinvimento") que son fundamentales. Se trata de una serie de interrupciones para lograr la redistribución de las moléculas de agua en el interior del producto. La evolución de la tecnología ha sido dirigida específicamente a optimizar la manera de manipular el aire (velocidad, temperatura, humedad) para secar la pasta rápido y eficientemente pero manteniendo o mejorando la calidad final del producto. En los últimos años se han obtenido importantes progresos en el uso de altas temperaturas que han permitido una notable reducción de los tiempos de secado, mejorando la calidad y costo del producto terminado.



Secado de fideos en Nápoles en 1918

En la Figura 14 se ofrece un esquema de las fases del proceso de elaboración de fideos en una planta industrial.

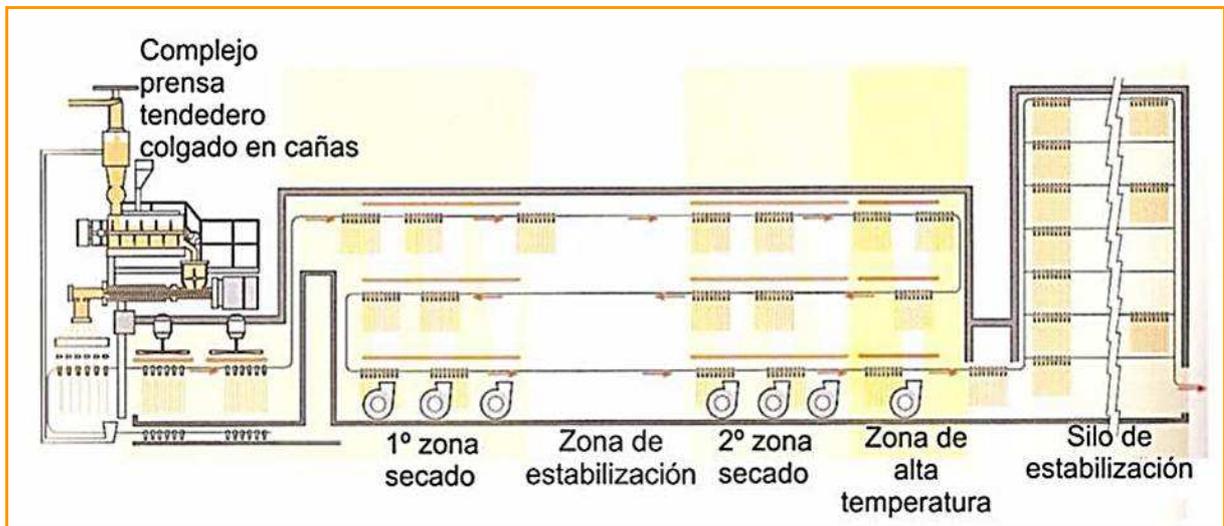


Figura 14- Proceso industrial de fabricación de fideos (La pasta, Barilla)

La evolución del secado ha recorrido tres períodos:

- Ciclos de baja temperatura (LT): Son ciclos estáticos o continuos, largos y con temperaturas de secado bajas. Duran de 20 a 40 horas. Están provistos de pausas de “rinvenimiento”, para permitir a la pasta la distribución interna del agua. Están basados en una deshidratación relativamente rápida, con temperaturas entre 45-55°C. Estos procesos no garantizan la pasteurización del producto y tienen muy poca influencia sobre la calidad final del fideo.

- Ciclos de alta temperatura (HT): La tecnología HT se basa en las propiedades físicoquímicas de la pasta de mantenerse en fase plástica durante todo el secado con una temperatura del aire sobre 75 °C y con humedad cercana al 12 %. En estos casos la temperatura puede ser conducida con mayor rapidez ya que las tensiones internas se van liberando sin riesgo de daño físico del producto. El diagrama de este tipo de proceso prevé temperaturas que van desde 45 °C hasta 75-80 °C. Se identifican dos fases: *Plástica*: desde el 30% humedad hasta 16-18%. Durante esta etapa la pasta soporta deformaciones sin generar grietas; *Elástica*: desde 16-18% hasta 14%. En esta etapa se debe controlar cuidadosamente el estrés para que no se produzcan fisuras. La transición entre una y otra etapa es de suma importancia. La fase de secado-estabilización se mantiene en los 75 °C con intervalos de largas pausas. El ciclo completo dura 7-8 horas para pasta corta y 8-10 horas para la pasta larga. Es común que existan etapas de inyección de vapor para humidificar y eliminar tensiones residuales en los fideos. El enfriado completa el proceso de secado climatizando la pasta a condiciones en equilibrio con el ambiente exterior, y dejándola lista para su empaquetado.

- Ciclos de muy alta temperatura (HHT): Los primeros procesos de aplicación de HHT han sido reemplazados por ciclos que usan una distribución racional de la temperatura de manera de mejorar la calidad de cocción y salvaguardar las propiedades nutricionales del producto. La aplicación de estas técnicas presupone un gran conocimiento de las reacciones químicas y enzimáticas de los principales componentes. Con estas nociones pueden realizarse diagramas muy complejos con numerosas zonas de secado, de diferentes tiempos de duración, lo más versátiles posibles. El ciclo resulta así reducido a 4-5 horas para la pasta larga y 3-4 horas para la corta.

Transformaciones de los componentes de la pasta durante el secado

Almidón: El fenómeno más simple que soporta el gránulo de almidón es el hinchamiento, que es un aumento de volumen y de viscosidad. Ocurre a temperaturas mayores a 50 °C, en presencia de agua. Ningún proceso de secado puede evitar el hinchamiento. El segundo estadio es la gelatinización, fenómeno que da lugar a la desagregación y parcial solubilización del almidón en agua. La temperatura necesaria para que esto suceda es 80 °C, aunque puede comenzar a 60-70 °C si la humedad es superior al 23 %. No todos los ciclos de secado producen la gelatinización, aunque esta sí ocurre durante la cocción de la pasta. La gelatinización comprende la solubilización, proceso en que los gránulos se separan unos de otros. Este estado es peligroso para las características organolépticas de la pasta cocida, porque las partículas pueden salirse del fideo generando pegajosidad. El cuarto estado se llama retrogradación, es una reorganización de los gránulos de almidón, una re-cristalización y adquisición del aspecto vítreo, que es característico del almidón retrogradado. Para que esto suceda es necesario que el almidón gelatinizado se enfríe. Cuanto más enérgica haya sido la gelatinización, más lo será la retrogradación. La retrogradación es una modificación positiva para la pasta porque mantiene baja la pegajosidad. De hecho, cuanto más almidón se haya retrogradado menos se solubilizará.

Proteína: Las proteínas, principalmente las que forman gluten, presentan interacciones recíprocas, coagulación y pueden interactuar con el almidón. El resultado es la formación de grupos de proteínas y también de una red de proteínas si la coagulación y la unión de muchas proteínas se produjeron de manera uniforme en los espacios entre los gránulos de almidón. Cualquier tratamiento de secado que presente temperaturas mayores a 70 °C conlleva coagulación de las proteínas del gluten. Finalmente, es bueno recordar que pueden establecerse relaciones entre la proteína y el almidón según la intensidad del proceso térmico al cual han sido sometidos.

En un proceso de secado tradicional la temperatura no supera los 50 °C. La pasta que se obtiene tiene prácticamente la estructura de la sémola, en la cual el almidón está íntegro porque esa temperatura no ha producido la gelatinización; no presenta ninguna interacción proteína- almidón ni se produce la polimerización de las proteínas. Durante la cocción el agua penetra progresivamente en la pasta, seguida de un aumento del volumen y activación de los fenómenos de hinchamiento, gelatinización y solubilización del almidón. Este fenómeno es muy negativo ya que significa la formación de pequeñas partículas que pueden atravesar el retículo proteico, dando

lugar a la dispersión del material almidonoso al exterior del gránulo de almidón y en el agua de cocción, generando pegajosidad y pérdida de elasticidad de la pasta. Afortunadamente, durante la cocción sucede el fenómeno opuesto, las proteínas interactúan progresivamente para completar la coagulación y la formación del retículo glutínico que favorece la contención del material amiláceo en el interior del gránulo. Ver esquematizados en la Figura 15 las etapas que se suceden en la pasta cruda para los diferentes tipos de secado.

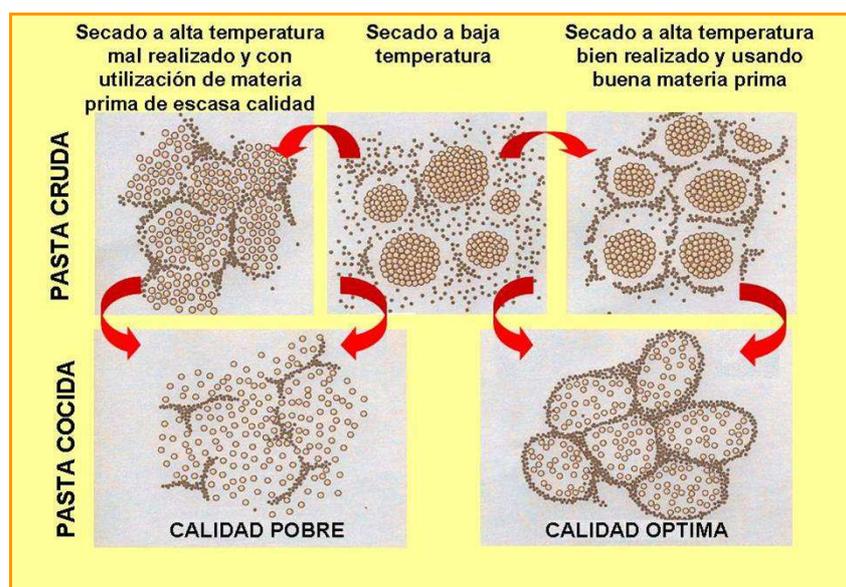


Figura 15- Cambios estructurales durante la cocción (La pasta, Barilla)

Resumiendo, en el caso del secado tradicional (LT) no hay ninguna modificación importante en los componentes de la sémola durante el secado; la gelatinización y la coagulación se producen en la cocción y, en consecuencia, resulta de fundamental importancia la calidad de la materia prima.

En un ciclo de secado a temperatura muy alta (HHT) pero con baja humedad del producto (16-17%), las proteínas coagulan. Con esa humedad el almidón no gelatiniza, porque para que eso ocurra hace falta que la humedad del fideo sea superior al 20-23 %. En condiciones de baja humedad el gránulo de almidón permanece perfectamente compacto, la matriz proteica coagula formando el retículo pero la gelatinización no se produce. La pasta con el retículo pre-formado por la coagulación de las proteínas mejora durante la cocción porque, aunque el almidón se gelatiniza muy rápido, se encuentra contenido por el retículo proteico.

Influencia del secado sobre las características de la pasta

Color: El programa de secado puede mejorar el color amarillo y el brillo de la pasta. Cuando HT y HHT son aplicados correctamente el color y el brillo son mayores que cuando se usa LT. Este mejoramiento del color resulta de la inactivación de las lipoxigenasas en la masa, que están activas hasta los 90 °C, en la presencia de oxígeno y pueden oxidar los pigmentos. Sin embargo, la reacción de amarronamiento enzimático

(Maillard) puede ocurrir, conduciendo al desarrollo de un color rojizo cuando se usa alta temperatura en productos con baja humedad.

Textura: La HT produce mayor firmeza y menos pegajosidad y aumenta la resistencia del fideo. La firmeza de la pasta depende del contenido de gluten y su elasticidad. HT refuerza la red proteica y también reduce el hinchamiento del almidón. La pegajosidad de la pasta está relacionada con las propiedades de las capas exteriores del fideo, cuánto hinchamiento del almidón se ha producido y el lixiviado de la amilosa. También, la integridad de las capas externas determina la cantidad de material que puede ser lavado del spaghetti cocido, que está correlacionado con la pegajosidad. Una red proteica fuerte reduce la tendencia de la amilosa a lixiviar en el agua de cocción, reduce la pegajosidad y la pérdida en la cocción.

Valor nutricional: el contenido del aminoácido lisina puede reducirse durante el secado, aunque estas diferencias son pequeñas. La reacción de Maillard puede disminuir el valor nutricional de las proteínas y generar olores y colores desagradables.

Otros productos elaborados con sémola de trigo candeal

Noodles son tipos de pasta que se consumen en distintos lugares de Asia. Se elaboran por laminación con harina y agua, contienen sal.

Noodles orientales: sin huevo. Los frescos contienen 25 % de agua, se venden crudos. Son de sección pequeña por lo que se cocinan muy rápido. Los noodles húmedos se cocinan en agua hirviendo antes de la venta. Poseen alrededor de 52 % de agua.

Noodles alcalinos: se elaboran con carbonatos de sodio y potasio (reemplazan al cloruro de sodio). La masa tiene un pH entre 9-11.5, es una pasta fuerte de color amarillo brillante.

Noodles secos: se pre-cocinan y se secan hasta llevarlos a 8-10 % humedad. Tradicionalmente se secan al sol.

Noodles instantáneos: se pre-cocinan al vapor, enfrían y deshidratan en aceite caliente. Se venden secos y se cocinan en agua muy rápido.

Burgol: El burgol es grano de trigo roto precocido. Después de la limpieza, el grano es precocido en agua hirviendo durante 40-60 minutos para gelatinizar completamente el almidón. Entonces se seca, se descascara y se muele grueso para reducir el tiempo de rehidratación a unos 15 minutos. Se puede preparar con varios tipos de grano pero se prefiere al trigo candeal por su mayor tamaño, dureza, vitreosidad y contenido de gluten. Es preparado en forma artesanal e industrial y existe un alto consumo en Turquía y en el Cercano Oriente.

Frekeh: Se le da este nombre al grano de trigo verde, inmaduro, aplastado y tamizado. Es un producto tradicional muy antiguo que se elabora con grano cosechado temprano cuando el grano está lechoso. Este es un producto artesanal, muy popular en Mahgreb y en el Oriente Medio.

Cuscús: es un producto ancestral, de cerca de 2000 años de antigüedad. Inventado en el norte de África por los bereberes, fue diseminado por los árabes a través de Europa en el siglo XVII. Más modernamente se ha difundido por la dieta mediterránea. El cuscús ha trascendido los límites de la comida étnica para transformarse en una comida moderna.

Según el *Codex Alimentarius, 1995*: “es el producto preparado con sémola gruesa y fina (*T. durum*), cuyos elementos se unen por el agregado de agua potable y que ha recibido algún tratamiento físico como cocción y secado”.

Composición: *Humedad:* 13.5 % máximo; *Cenizas:* 1.1 % máximo. *Color:* ámbar-amarillento; *Tamaño de partícula:* 630-2000 μ . El cuscús tipo industrial se vende en tres granulometrías: fina, mediana y gruesa.

Procesamiento: 1- formación de granos de cuscús por aglomeración húmeda a través de mojado, amasado y tamizado (clasificación por tamaño); 2- tratamiento con calor del cuscús húmedo para fortalecer la estructura y gelatinizar el almidón; 3- estabilización a través del secado, para prolongar la vida útil.

Pan (productos horneados): En algunos países de Oriente Medio así como en Siria, Líbano y Jordania, la harina de trigo candeal es usada para elaborar pan. En Italia misma, hasta un 10% de la producción se destina a la panificación. Varias clases de panes con nombres y formas diferentes, distintas elaboraciones y lugares de producción, son preparados en muchos países por métodos artesanales. Estos panes son generalmente de pequeño volumen y color amarillento, sabor y aroma peculiar, estructura de la miga fina y uniforme y mayor vida útil comparada con la del trigo pan. Los hay elaborados con y sin levadura, a veces con sémola re-molida para hacerla más fina.

Pastelería: generalmente preparada con alto contenido de azúcar y grasa, comprende variedad de tortas y budines, panqueques, cuscús dulce.

METODOS DE EVALUACION

Una gran variedad de métodos se usan para evaluar el grano, la sémola y los fideos. Algunos de ellos son procedimientos estándar bien conocidos, ampliamente usados por el comercio de granos y las industrias relacionadas. Otros, emergen como potencialmente útiles y pueden convertirse en normas en el futuro.

Evaluación de la calidad en el mejoramiento

El desarrollo de cultivares mejorados es un proceso costoso y largo, por lo que es imprescindible definir objetivos de calidad y métodos eficientes de evaluación. Aunque hay nuevas técnicas disponibles (doble haploides, transformaciones genéticas, selección asistida por marcadores), el mejoramiento convencional ha permitido hacer considerables progresos en los atributos de calidad del trigo candeal pese a que transcurren de 10 a 13 años desde que se hace una cruce hasta que la semilla está disponible para ser producida comercialmente.

Los tests para predecir la calidad en forma temprana deben ser rápidos y de pequeña escala, y evaluar aquellos parámetros que se relacionan con la calidad de procesamiento. Por ejemplo, proteína por NIR, color por NIR o por medio de un colorímetro y fuerza de gluten a través del test de sedimentación con SDS o del Índice de Gluten (ver más adelante en este capítulo). Numerosos estudios en todo el mundo muestran que el valor b de la sémola correlaciona bien con el valor b de la harina integral (Kling, 1990). En el Laboratorio de Calidad Industrial de Granos de la CEI Barrow el coeficiente de correlación obtenido para la relación entre estos dos parámetros fue $R^2 = 0.74$ (Seghezzi y Molfese, 2001). Según resultados de Peña (2000), el SDS es uno de los métodos que, usando pequeña cantidad de muestra, mejor predice la firmeza de la pasta. La efectividad de estas estimaciones depende del grado de herencia del parámetro y de su correlación genética con la calidad industrial del producto final.

Evaluación de la calidad del trigo

La precisión y reproducibilidad de los datos depende de la representatividad de la muestra analizada. El muestreo es especialmente crítico ya que varios factores que influyen sobre la calidad pueden no estar homogéneamente distribuidos en toda la masa de grano. Es esencial el uso de equipamiento y procedimientos de muestreo reconocidos.

La estimación de la calidad industrial de una partida de trigo se puede comunicar a los clientes usando sistemas de clasificación/graduación visuales. Estos facilitan la separación del trigo cosechado en lotes de calidad diferente. La calidad está influenciada por las condiciones ambientales durante el crecimiento, maduración y cosecha del trigo (ver Capítulo *Efecto del ambiente sobre la calidad*). En Argentina la disposición vigente para el comercio de trigo candeal es la Norma SENASA XXI (ver Capítulo *Comercialización*).

Las variedades de trigo candeal pueden variar ampliamente en sus características intrínsecas y apariencia. Por lo tanto, algunos procesadores aseguran que ciertas

variedades exhiben un perfil más adecuado para sus productos. Sin embargo, la identificación visual de las variedades no siempre es posible. Se han desarrollado métodos que evalúan la composición varietal para asegurar al comprador que está adquiriendo la variedad que desea: electroforesis, cromatografía líquida de alta performance en fase reversa (RP-HPLC).

Peso hectolítrico: representa la densidad del grano determinada por pesada de un volumen dado. En nuestro país se realiza por medio de la balanza Schopper. *Método para la determinación del peso hectolítrico, Norma SENASA XXVI, Metodologías varias.*

Peso de mil granos: es función del tamaño y la densidad. Se determina sobre muestra limpia y sin granos partidos. Las semillas se cuentan con una contadora electrónica y luego se pesan. *Norma IRAM 15853.*

Vitreosidad: La vitreosidad es una propiedad óptica que refiere a la translucidez de los granos. Los granos vítreos tienen un endosperma translúcido y compacto en oposición a los granos harinosos o almidonosos en los que es blanco y opaco. La presencia de aire o micro fisuras en la matriz de gluten explica estas diferencias que surgen en el proceso de formación de los granos. La proporción de granos vítreos es una importante característica de calidad ya que los granos almidonosos, no vítreos, tienden a tener menor proteína y son más blandos que los vítreos. También poseen inferior rendimiento de sémola en la molienda y calidad de cocción de la pasta. Por lo tanto, un mínimo de granos vítreos es un requerimiento internacional básico para el trigo candeal, aunque más recientemente, la tendencia a la producción de sémolas más finas requeridas por las nuevas prensas automáticas, hace que la vitreosidad vaya disminuyendo su importancia para los molineros. Los Peritos Clasificadores realizan la estimación de la vitreosidad del trigo en forma visual. Esta determinación es subjetiva y tediosa y no hay un procedimiento universalmente aceptado. Los granos que no pueden ser fácilmente clasificados se cortan transversalmente para examinar su interior. *Norma SENASA XXI*

Humedad: el contenido de humedad en granos y productos molidos es un factor importante. Se realiza por método gravimétrico. En nuestro país la tolerancia máxima para el recibo de mercadería es 14%. *Norma IRAM 15850-1.*

Brotado: condiciones húmedas durante la cosecha pueden llevar a altos niveles de la enzima alfa-amilasa en el grano y sémola. El Estándar de Comercialización de Trigo Fideo evalúa el daño por inspección visual pero la relación entre el brotado (visual) y la actividad de la enzima puede variar mucho. Algunos elaboradores de pasta Premium solicitan valores de tiempo de caída (Falling Number) altos. El tiempo de caída es el tiempo en segundos necesario para agitar y permitir que el émbolo agitador caiga una distancia fija a través de una masa acuosa (trigo molido, sémola) hasta su licuefacción debido a la actividad de la alfa amilasa cuando el tubo viscosimétrico está sumergido en un baño a 100 °C. *Norma IRAM 15862.*

Granos de trigo pan: además de la identificación visual de granos de trigo pan que realiza el perito clasificador en la mercadería, existe un procedimiento más sofisticado que consiste en detectar la presencia de ω -gliadinas características del *Triticum*

aestivum, por medio de electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE). Este método se puede aplicar en sémola y fideos (López, 2007), por lo que resulta apto para detectar la presencia de trigo pan en pastas etiquetadas como “100% trigo candeal” aún en aquellas secadas a alta o muy alta temperatura. Este y otros métodos, aunque son muy sensibles a la presencia de trigo pan, no permiten cuantificar la adulteración.

Cenizas: es el contenido de sales minerales. El contenido de cenizas tanto del trigo como de la sémola se determina por incineración en mufla a 920 °C. Los contenidos de ceniza varían ampliamente con la variedad y el ambiente. En algunos países la ceniza de la sémola no debe superar un límite específico (por ejemplo, 0.900 % sss en Italia). *Norma IRAM 15851*.

Proteína: el contenido de proteína está universalmente reconocido como importante para la producción de pasta de alta calidad. El método de referencia para el contenido de proteína (N x 5.7) es Kjeldahl. La técnica NIRS (near infrared spectroscopy), se ha convertido en el método más práctico, rápido y exacto para la determinación tanto de proteína como de humedad. Esta metodología permite a los acopios y la industria la segregación del trigo por proteína en los puntos de entrega.

Fuerza de gluten: la fuerza del gluten o la calidad de la proteína, es considerada desde hace mucho tiempo como muy importante para determinar la calidad de la pasta. Hay varios test disponibles pero el más simple es la sedimentación con dodecil sulfato de sodio (SDS), que mide el volumen de sedimento de una suspensión de trigo molido o sémola, a un tiempo especificado. Glútenes fuertes están asociados con volúmenes de sedimento altos (Peña, 2000). Experimentos recientes han demostrado que el valor de SDS está influenciado por el contenido de proteína.

Evaluación de la calidad molinera

Existe una considerable variación genética en los rendimientos de sémola del trigo candeal. Las condiciones agronómicas también influyen, especialmente sobre el rendimiento de sémola (granos con bajo contenido de proteína) o en el rendimiento de salvado (granos chuzos).

La extracción de sémola depende de dos grupos de factores:

- **Extrínsecos**: relacionados a las condiciones de cultivo y de cosecha y representado por el peso de impurezas. Su influencia sobre el rendimiento es obvia y se refleja en las transacciones comerciales. Se incluyen en esta categoría: contenido de humedad, contenido total de impurezas, cantidad de granos rotos.
- **Intrínsecos**: factores que determinan el valor del trigo limpio en su ingreso al primer rodillo de rotura.

Relación endosperma- salvado

Los molineros esperan que la relación endosperma / salvado sea lo más alta posible. Este factor depende del espesor de las cubiertas exteriores, del grado de llenado así como de la morfología del grano. En general, los molineros desean granos grandes ya

que la proporción de las cubiertas exteriores disminuye a medida que el tamaño del grano aumenta. La morfología del grano (largo, ancho, superficie) así como su compactación también afectan esta relación. El peso de mil granos es usado para caracterizar el tamaño del grano. La distribución de tamaño es una determinación complementaria para detectar la presencia de granos chuzos.

Dureza

Hay habitualmente una confusión entre los términos dureza y vitreosidad que se usan para caracterizar la textura y la estructura del endosperma del grano. La dureza representa la cohesión del endosperma, la fuerza de unión entre proteína y almidón y es la razón de distintas formas de propagación de las fisuras. En el caso de los granos vítreos de trigo candeal las roturas siguen las paredes celulares, en el caso del trigo pan las fracturas siguen la forma de los gránulos de almidón. El modo de propagación de las fracturas dentro del endosperma determina el tamaño de las partículas: gruesas o sémolas en el trigo candeal, finas o harina en el trigo pan. La resistencia mecánica o dureza del endosperma determina los rendimientos relativos de harina y sémola. Históricamente se ha expresado en términos de vitreosidad o de panza blanca. La importancia actual del grano panza blanca ha disminuido por la tendencia a producir sémolas de granulometría más fina.

Existen métodos para medir dureza tanto por índice de partícula (PSI, AACC 55-30) como por espectroscopía NIRS (AACC 39-70).

Facilidad de separación del salvado del endosperma

La facilidad de separación de las cubiertas periféricas del endosperma es crítica para la industria molinera del trigo candeal. Una pobre separación resulta en pérdida de endosperma almidonoso en las fracciones de salvado con caída del rendimiento de sémola o en la incorporación de partículas de salvado a la sémola, lo que afecta su pureza. Hasta ahora, este carácter solo puede ser evaluado por medio de ensayos de molienda.

El concepto de facilidad de separación depende de la adhesión de los tejidos y de la friabilidad del endosperma. La friabilidad del salvado está relacionada con la estructura y composición celular.

Ensayos de molienda

La calidad de procesamiento de una muestra de trigo candeal debe incluir determinaciones tanto de calidad de molienda como de uso final de la sémola. En un laboratorio, este proceso comienza con la producción de sémola usando la menor cantidad posible de grano. Las características de la sémola (tamaño de partícula, contenido de proteína, pigmento, actividad enzimática), deben ser lo más parecidas a las de una sémola del mismo trigo obtenida en un molino industrial.

Micro-molinos. Requieren una pequeña cantidad de muestra (menos de 500 g). Son muy adecuados para programas de mejoramiento. Los dos molinos comerciales líderes de este tipo son el Brabender Quadrumat Junior y el Chopin CD2, pero últimamente se han desarrollado otros.

Molinos automáticos. Comprenden varios rodillos y plansifters conectados a través de un transporte automático de los productos, muchas veces asociados con un purificador independiente. En esta categoría, el Buhler 202 D (Figura 16) es, por lejos, el molino más difundido en todo el mundo. En Argentina existe una norma para el acondicionamiento y molienda en este molino. *Norma IRAM 15854- 1 y 2*



Figura 16- Molino experimental Buhler 202D

Evaluación de las sémolas

Gluten: El análisis del gluten se efectúa con aparatos automáticos que permiten extraer el gluten de la masa eliminando el almidón mediante un flujo de agua o solución salina, para determinar la calidad y cantidad presente en la muestra. Puede expresarse como gluten húmedo o seco, si se le extrae el agua por secado. Ambas pueden ser medidas con el equipo Glutomatic (Perten) (Figura 17). *Norma IRAM 15.864-2*

El Índice de gluten (GI) es comúnmente usado para determinar fuerza del gluten. El GI es una medida de la proporción de gluten húmedo que resiste el paso por un tamiz durante la centrifugación y está relacionada con la cantidad de glutenina polimérica. Los glútenes fuertes retienen más gluten en la malla. Este test, usado en los programas de mejoramiento, ha mostrado alta heredabilidad y poca sensibilidad a variaciones en el contenido de proteína y es a menudo solicitado por los compradores de trigo candeal. *Norma IRAM 15864-2*

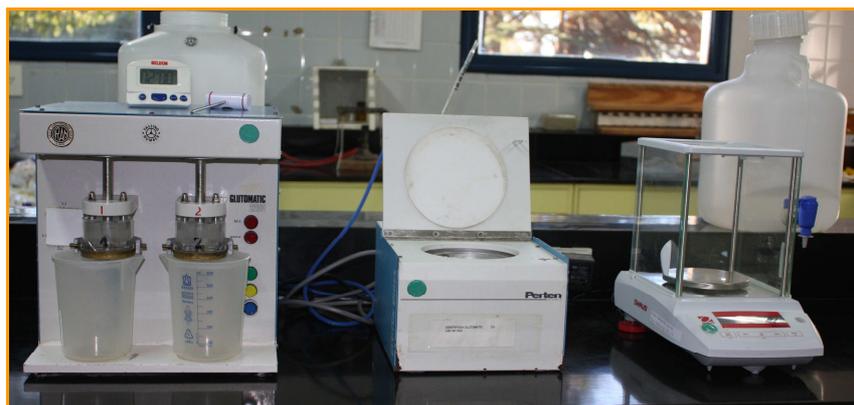


Figura 17- Equipo Glutomatic

Pigmento amarillo: El color amarillo brillante es una característica deseable de la sémola, aunque no hay una relación evidente con la calidad de cocción. El contenido de pigmentos es una característica varietal, de fuerte herencia genética. Para una variedad dada el contenido de pigmento aumenta a medida que aumentan el contenido de proteínas y la tasa de extracción molinera (Trentesaux, 1995). La medición tradicional del contenido de pigmento se realiza a través de la extracción alcohólica de los pigmentos en trigo molido o sémola, seguida por la determinación espectrofotométrica de la absorbancia.

Muchos laboratorios evalúan el color en forma rápida por medio de colorímetros de reflectancia tales como el Minolta (Figura 18A). El color es representado usando la nomenclatura CIE Lab que provee los valores de L (brillo: 100 blanco; 0 negro); a (+ rojo; - verde) y b (+ amarillo; - azul). Ver Figura 18B. Entonces, una indicación directa del color está dada por la coordenada b, que correlaciona con el contenido de pigmento. Para el caso de las sémolas es importante fijar su granulometría ya que el tamaño de la partícula influye en la medición. Esta metodología ha probado ser efectiva para predecir el color en harina integral (ver **Mejoramiento** en este mismo capítulo) y en los fideos crudos.

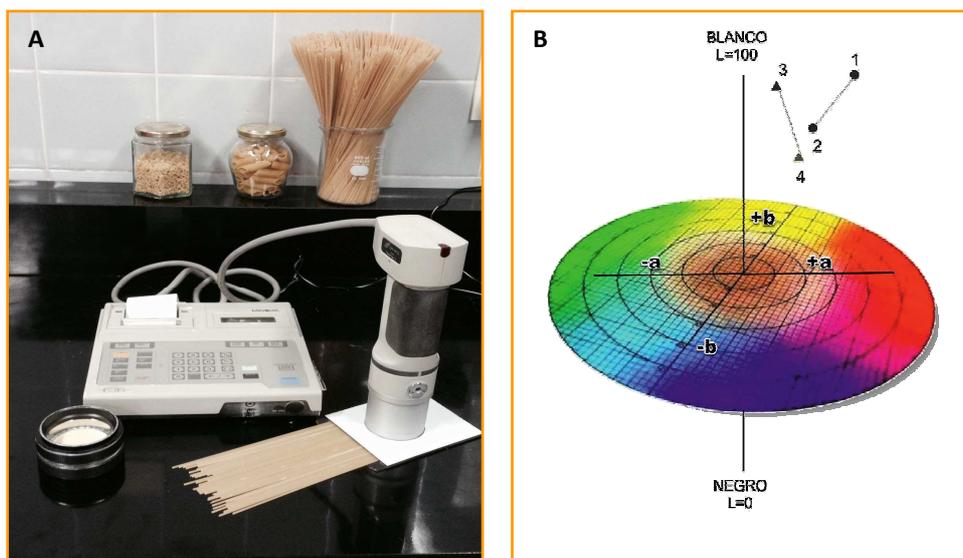


Figura 18 A- Colorímetro Minolta. Figura 18 B- Espacio de color L, a, b

Características reológicas de las masas: en cuanto a los tests reológicos para evaluar las características de extensibilidad, elasticidad y tenacidad de la masa, los más populares son:

- Alveógrafo de Chopin: este instrumento ha sido desarrollado para el trigo pan, pero con algunos cambios en el método puede ser usado con sémolas de trigo candeal. Los principales parámetros que se obtienen son: W: energía necesaria para la deformación hasta la rotura de la muestra; P/L: representa la relación entre tenacidad y extensibilidad de la masa.

Resultados obtenidos en Argentina por Miravalles *et al* (2007) prueban que el alveograma es un método útil para el análisis de la calidad reológica e indirectamente de la fuerza del gluten de sémolas de trigo candeal.

- Farinógrafo de Brabender: se usa una modificación en el sistema de amortiguación del aparato. Las curvas pueden obtenerse a niveles de absorción variables y proveen información muy útil sobre el tiempo de desarrollo de la masa, fuerza de la masa, aflojamiento y otras propiedades reológicas (Irvine *et al*, 1961).

Evaluación de la pasta

La calidad de cocción de la pasta se define como la capacidad del producto de mantener una buena textura después de la cocción y no convertirse en una masa amorfa y pegajosa. Los factores principales son firmeza, pegajosidad, color y apariencia.

Muchos constituyentes de la materia prima participan en la determinación de la calidad de la pasta. Las proteínas son el componente que ha sido más estudiado, debido a sus contribuciones a las propiedades reológicas de la masa. Los estudios han demostrado que las proteínas son: primero, un componente esencial de la estructura de la pasta, y, segundo, el contenido de proteína es un factor importante para la calidad de cocción.

También se ha observado que el tipo de proteínas tiene un efecto marcado en la calidad de cocción. Otras investigaciones muestran que la temperatura de secado puede interactuar con la composición proteica, modificando la calidad de cocción.

Un estudio desarrollado por Cubadda *et al* en 2007, demostró que la calidad de cocción está determinada por la interacción entre el contenido de proteína, la calidad del gluten y la temperatura de secado. En los casos de secado a media o baja temperatura la calidad del gluten juega un rol esencial.

Elaboración de fideos en el laboratorio

El proceso se inicia en una amasadora donde se coloca la sémola y una cantidad de agua equivalente a 31-32 % de absorción. La masa formada se transfiere a la prensa equipada con vacío y se extruye a través de una tráfila con teflón. Los fideos se ubican en el secadero a 40°C y 92 % de humedad relativa. El ciclo de secado sirve para disminuir el contenido de humedad de los fideos de 31-32% a menos de 14%, sin causar daño al producto final. Las muestras de fideos se dejan descansar varios días antes de hacer las pruebas de cocción.

Aunque no hay un estándar internacional para la fabricación de fideos, hay algunos aspectos técnicos y operacionales que deben ser considerados. Prensa. Para prevenir

la formación de pecas blancas la prensa debe estar equipada con vacío que remueva las burbujas de aire. El tornillo extrusor, que es el corazón de la prensa, no debe generar excesiva fricción. El largo del tornillo no debe ser menor a 20 cm. La presión no debe exceder 100 MPa. La cabeza del extrusor debe estar equipada con una camisa de enfriamiento para que la temperatura de extrusión no supere los 50°C. Secadero. Debe estar fabricado en acero para soportar altas temperaturas y equipado con ventilador de calor para asegurar una temperatura uniforme en todas las partes del aparato, un sistema automático que pause e invierta el sentido de giro y control de la humedad. Un detalle fotográfico de los pasos mencionados se muestra en la Figura 19.



Figura 19- Elaboración fideos experimentales

Color de la pasta

El color de la pasta resulta de un componente amarillo deseable, un componente marrón indeseable, y, bajo ciertas condiciones de secado, un componente rojo. El color amarillo es función del contenido de pigmentos carotenoides del grano y de la oxidación degradativa por la lipoxigenasa durante el procesamiento de la pasta. También puede estar influenciado por el contenido de almidón dañado, la actividad de la enzima alfa-amilasa y la temperatura de secado. Una cantidad elevada de almidón dañado y actividad de la alfa-amilasa favorecen la formación de azúcares reductores durante el amasado y la extrusión, y, consecuentemente, la reacción de Maillard durante el secado, especialmente si este se realiza a altas temperaturas. Estas reacciones pueden aumentar el color rojo. El color marrón puede enmascarar el color amarillo si alcanza niveles altos. El color marrón aumenta cuando el contenido de cenizas aumenta, lo que puede deberse a la actividad de las peroxidasas y polifenol-oxidasas. Durante la fabricación de los fideos se producen variaciones en el color por la activación de las enzimas oxidativas que pueden reducir hasta en un 50% el contenido natural de carotenos. Además hay que tener en cuenta que el pigmento se diluye en la gran cantidad de agua que se absorbe durante la cocción. El color de la pasta cruda se evalúa visual o instrumentalmente. Ver **Pigmento amarillo** en este mismo capítulo.

Ensayos de calidad de cocción

Las propiedades de cocción incluyen firmeza, pegajosidad y volumen. Aroma y sabor también son importantes para el consumidor. Esas características pueden ser determinadas por ensayos sensoriales, instrumentales y químicos.

El análisis sensorial a través de paneles entrenados es considerado la última herramienta de medición de la pasta cocida. Aunque está sometido a la influencia de las personas, sigue siendo el método más confiable. Un método sensorial para pasta está desarrollado en la Norma ISO 7304. Las variables que pueden afectar son: origen y dureza del agua, uso de sal, relación agua/pasta, temperatura y tiempo de cocción, maneras de separación de la pasta del agua y de preparación para la evaluación. Por lo tanto los resultados entre laboratorios pueden variar.

En los laboratorios de investigación, el método siguiente, basado en la evaluación de firmeza, pegajosidad y volumen es ampliamente aceptado y aplicado. El tiempo óptimo de cocción corresponde a la desaparición del color blanco del corazón del spaghetti. El test se realiza colocando 100 g de fideos en 1 litro de agua de canilla a ebullición. Después de 6-8 minutos de cocción, según el diámetro, se retira una pieza de pasta del recipiente cada 30 segundos y se aplasta entre dos piezas de vidrio o plástico. Cuando el centro blanco desaparece (TOC, tiempo óptimo de cocción), se para el reloj, el fideo es escurrido y colocado sobre un plato. El panel de expertos (por lo menos tres personas), realiza el ensayo inmediatamente.

Los parámetros de calidad se definen como sigue: 1) pegajosidad es el estado de desintegración de la superficie del fideo cocido estimada por inspección visual con o sin la ayuda de un estándar de referencia; 2) firmeza es la resistencia de la pasta cocida cuando es masticada o aplastada entre los dedos o cortada por los dientes; 3) volumen es el grado de adhesión de los fideos después de la cocción, evaluado visualmente y manualmente. El volumen está estrictamente correlacionado con la pegajosidad. Las características son evaluadas por cada uno de los expertos según una escala.

En algunos casos es útil evaluar el comportamiento de los spaghetti en sobre-cocción, normalmente 5-10 minutos más del TOC.

Peso del fideo cocido y pérdida en la cocción. El *aumento de volumen* o peso de la pasta cocida es también un índice indirecto de la calidad de cocción. Para medir el aumento de peso se hierven 10 g de fideo en agua destilada por 12 minutos. El spaghetti es filtrado con un embudo de Buchner, se enjuaga, se deja escurrir por 2,5 minutos y se pesa. Normalmente, el peso del fideo cocido es 3 veces el del fideo seco. La *pérdida en la cocción*, por ejemplo el pasaje de almidón al agua de cocción, debe ser mínima para una pasta de calidad aceptable. Hay varios métodos pero un estándar simple está disponible en AACC 66-50. Para un fideo de buena calidad la pérdida no debe superar 7- 8% del peso seco

Materia orgánica total (TOM). Es el material liberado por el enjuague de la pasta cocida. Este método se basa en asumir que la pegajosidad de la pasta resulta del escape de sustancias de la red proteica que se adhieren a la superficie de la pasta cocida. El principal constituyente es el almidón, mayormente amilopectina, que es la responsable de la pegajosidad. Para determinar TOM, la pasta cocida se sumerge en agua por un tiempo fijo y luego, cuando el agua de lavado se ha evaporado, la materia orgánica total liberada en el agua de lavado es medida por un método químico

(D'Egidio, 1982; ICC Nº 153). En general, los valores de TOM > 2.1 g/100 g corresponden a baja calidad; valores entre 2.1 y 1.4 g/100 g predicen buena calidad y valores < 1,4 g/100 g indican muy buena calidad.

Métodos instrumentales

Varios instrumentos han sido desarrollados para evaluar la **textura** de las pasta. Uno de los más populares es una medida del grado de compresión del fideo cocido usando aparatos universales como el Instrom, (AACC 66-50), Lloyd, LFRA, Tensipresser y el TA.XT 2i. Otro instrumento usado para medir firmeza del fideo cocido es el viscoelastógrafo (INRA, Montpellier), aunque todavía se usa en algunos laboratorios no está más disponible comercialmente.

Un método estandarizado para medir **firmeza** fue desarrollado por TA.XT 2i Texture Analyser. Los efectos del proceso y las variables instrumentales fueron investigados en detalle y optimizados para producir resultados reproducibles entre laboratorios y permitir la discriminación entre muestras con similares características de firmeza. En un estudio reciente se compararon los resultados del TA.XT 2i Texture Analyser y el viscoelastógrafo, encontrándose una alta correlación entre ellos (Sissons *et al*, 2008).

La medición de la **pegajosidad** de la pasta también puede ser determinada con un analizador de textura por medio de una técnica de compresión y retracción. Cubadda usó el aparejo Microsystem HDP/PFS para la pasta con un peso de 5 kg para la determinación de la pegajosidad en 10 muestras experimentales con diferente contenido de proteína, secadas a baja, media y alta temperatura. La velocidad del test fue de 0.5 mm/s, mientras que en el pre-test y el post-test fue de 1.0 y 10.0 mm/s, respectivamente. La fuerza de compresión era de 1000 g/s. La pegajosidad medida con el TA.T2 mostró un buen acuerdo con el test sensorial y TOM.

Otros

Los equipos para investigación en trigo candeal de pequeña escala incluyen aparatos para ensayo de masas (Por ejemplo, el mixógrafo de 10 g ha sido usado para seleccionar por gluten fuerte en programas de mejoramiento de USA y Australia por muchos años), así como métodos químicos.

Otro instrumento usado para evaluar la viscosidad de la masa de almidón, sémola y fideos de trigo candeal es el Rapid Visco Analyser (RVA). Se requieren solo pequeñas cantidades de sémola (3-5 g) con un típico perfil de RVA que comprende el calentamiento de la muestra desde 50 a 95 °C en 6 minutos, mantener en esta temperatura por 4 minutos, luego enfriar hasta 50 °C en 4 minutos. Los parámetros medidos son viscosidad en el pico, punto de rotura, retroceso, viscosidad final y temperatura en el pico. Se han descrito aplicaciones en sémolas y pastas.

Para calcular en una muestra de sémola la fracción de gránulos de almidón que sufren daño mecánico como consecuencia de la molienda (% almidón dañado), se dispone del Método AACC 76-30A que determina el porcentaje de los gránulos almidón que son susceptibles a la hidrólisis por α -amilasa. La enzima α -amilasa hidroliza al almidón que está fuera de los gránulos y forma una solución rica en maltosa. Se establece la

concentración de maltosa a partir de la titulación azúcares reductores (método AACC 80-60). Un exceso de almidón dañado hace que los fideos se vuelvan pegajosos al absorber un alto porcentaje de agua.

POSCOSECHA

Los cereales se cosechan una vez al año pero se consumen durante todo el año, por lo que los granos son sometidos a almacenamiento durante períodos largos. Las condiciones de conservación del grano después de la cosecha pueden producir mermas o deterioro de la calidad de la mercadería. Aunque algunos de esos daños son económicamente importantes, en su mayoría pueden ser evitados o reducidos con un diagnóstico temprano y utilizando prácticas adecuadas de manejo.

Factores bióticos: **Hongos, levaduras y bacterias** pueden infectar los granos después de la cosecha. Provocan alteraciones de las características organolépticas. Ciertos hongos también pueden producir sustancias tóxicas o micotoxinas (ver Daño por *Fusarium*, Capítulo **Comercialización**) si no están controladas las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento.

La cantidad de especies de **insectos** que pueden atacar el grano cosechado es muy grande: ácaros, gorgojos, taladrillo, polilla, carcoma, tribolio. Causan el picado de los granos y hasta pueden roer el germen con la consecuente caída en el peso hectolítrico y en el rendimiento molinero o contaminan a través del polvillo que generan.

Otra plaga de los granos almacenados son los **roedores**. Consumen la mercadería generando disminución del rendimiento y la contaminan con excrementos, etc.

Factores abióticos: Durante el almacenamiento, los factores abióticos de mayor influencia sobre la calidad y el valor del producto son la **humedad** y la **temperatura** del grano. A mayor temperatura y humedad, mayor actividad biológica.

El grano de trigo se comercializa a 14 % de humedad (valor de recibo de la mercadería, ver Estándar de Comercialización, Capítulo **Comercialización**). Si el grano es cosechado a una humedad superior debe ser secado antes de su almacenamiento.

El punto clave del secado es la temperatura que alcanza el grano en el interior de la secadora. La temperatura límite a partir de la cual se puede producir daño en la calidad del grano depende de la humedad inicial, a mayor contenido de humedad inicial la temperatura límite es menor. En general, se habla de un valor umbral de 60 °C, aunque el tiempo de exposición también es un factor a considerar (Rodríguez y Bartosik, 2001).

Si el secado no se realiza en las condiciones adecuadas pueden producirse daños en la calidad intrínseca del grano que no pueden ser determinados visualmente: proteínas, calidad del gluten y comportamiento reológico.

Miravalles *et al*, 2008, midieron los cambios en la calidad industrial del trigo para fideo durante casi siete meses de almacenamiento, extrayendo muestras cada 30 días. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas para el Índice de gluten, el W alveográfico y la relación P/L, los cuales aumentaron en forma lineal con el tiempo de almacenamiento indicando un fortalecimiento de las masas.

INFLUENCIA DEL AMBIENTE Y EL GENOTIPO

La calidad final de los productos que se obtienen del trigo está relacionada con la composición y estructura del grano cosechado. Ambas están determinadas por el genotipo (G), el ambiente (A) y la interacción entre ambos (GxA). Las prácticas de manejo usadas se consideran como parte del ambiente.

Efecto del genotipo: La elección adecuada de la variedad es un factor de influencia positiva sobre la calidad del trigo candeal sin costo adicional para el productor agropecuario ni impacto en el ambiente.

Algunos atributos del grano son propios del genotipo y el ambiente tiene baja influencia sobre ellos, por ejemplo, el color del grano. Los genotipos de una misma especie pueden presentar amplias diferencias en la composición del grano; en el caso del trigo, por ejemplo, los contenidos de proteína pueden variar entre 7- 16 %.

Es difícil aumentar el potencial de rendimiento del trigo sin efectos negativos en la calidad del grano, porque los aumentos de rendimiento están generalmente acompañados por una disminución en el contenido de proteína (Rondanini *et al*, 2012). En contraste con la baja heredabilidad del contenido de proteína, algunos caracteres que contribuyen a la buena calidad son de alta heredabilidad y relativamente bajo efecto GxA: sedimentación con SDS, subunidades HMW, pigmento amarillo, rendimiento de sémola, dureza del grano, pueden ser modificados a través del mejoramiento convencional. Por ejemplo, el alveograma tiene un efecto GxA pequeño para la energía de la masa (W) y tenacidad (P) pero muy significativo para la relación tenacidad/ elasticidad (P/L) (Peña *et al*, 2000).

Resultados obtenidos por Roncallo *et al* (2007) demostraron que el contenido de pigmento amarillo está fuertemente influenciado por el genotipo para ensayos de trigo candeal conducidos en tres localidades del sur de la Provincia de Buenos Aires. Esto coincide con conclusiones aportadas por Seghezzo *et al*, 2005, quienes determinaron que un 76 % de la variabilidad del color de la sémola correspondía al genotipo.

Efecto del ambiente: la mayor parte de los atributos son modificados por el ambiente o la interacción GxA. El peso del grano y el contenido de proteína están en este grupo. Indirectamente el ambiente también influye sobre la concentración de pigmento por un efecto de dilución, ya que la relación peso del grano pigmento es significativa y negativa (Seghezzo *et al*, 2005). Las variables ambientales más influyentes son la alta temperatura y la disponibilidad de agua y nitrógeno. La respuesta de la composición del grano a un determinado estrés depende de las características de este último: intensidad, duración, momento, interacción con otros. Cuanto más largo y severo sea el estrés, producirá un cambio mayor en la composición del grano, aunque esta relación no siempre es lineal. El momento de ocurrencia también es importante ya que no todas las etapas son igualmente críticas para la determinación de la calidad del grano. Si el estrés coincide con la síntesis y deposición de los componentes durante el llenado, los cambios serán más notables.

Aunque el efecto del lugar de cultivo puede ser importante, los genotipos tienden a mantener el mismo ranking en los diferentes sitios (Peña *et al*, 2002; Raciti *et al*, 2002).

Como regla general la velocidad de desarrollo de la semilla aumenta con la **temperatura**, reduciendo la duración del llenado del grano. A temperaturas bajas la velocidad de crecimiento disminuye linealmente a medida que la temperatura cae por debajo de 15°C. La velocidad aumenta cuando la temperatura sube de 20 a 30°C; sin embargo, este aumento no compensa la disminución lineal en la duración del llenado, resultando en granos de menor peso. En la mayoría de los casos durante el llenado prevalecen temperaturas moderadamente altas (20-30°C), aunque pueden ocurrir cortos períodos de muy altas temperaturas (>30-32°C) que reducen la tasa de crecimiento y provocan el final anticipado del llenado. Además, cuanto más temprano en el ciclo ocurre el estrés por calor, causa mayor impacto en el peso del grano. Períodos cortos de altas temperaturas pueden provocar reducciones en el peso de los granos, pero estos efectos pueden pasar inadvertidos si se considera solo el promedio de temperaturas durante el período pos-floración. Entonces, temperaturas moderadamente altas (20-30°C) durante el período de pos-floración reducen el peso de los granos principalmente a través del acortamiento del llenado del grano, mientras que muy altas temperaturas (>30-32°C), aún por unos pocos días, pueden reducir el peso del grano por medio de la reducción de la tasa de llenado y el cese temprano del período de crecimiento.

La composición y calidad del grano también pueden afectarse por la temperatura. El momento, intensidad y duración de ocurrencia del estrés calórico pueden alterar la calidad final del grano según el proceso de síntesis de componentes comprometido: carbohidratos, proteína, aunque algunos informes mencionan la posibilidad de una recuperación pos-estrés.

En el caso del trigo el porcentaje de proteína aumenta con el aumento de temperatura (15-30°C) (Figura 20), porque el impacto negativo de las altas temperaturas en la síntesis del almidón es mayor que sobre la proteína, disminuyendo la proporción de almidón en los granos (Figura 21), un resultado que concuerda con la sugerencia de que la transferencia de N al grano se ve menos afectada por las altas temperaturas que la acumulación de almidón. Sin embargo, el contenido de proteína de la harina no se ve alterado por cortos períodos de golpe de calor.

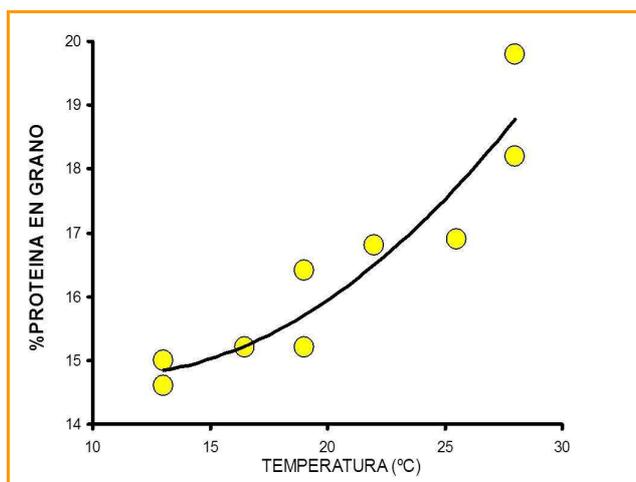


Figura 20- Efecto de temperaturas moderadas sobre la proteína del grano
Fuente: Stone, 2001

Las altas temperaturas también afectan la calidad de la proteína, generalmente aumentando la relación gliadina: glutenina, lo que provoca un debilitamiento de las masas. El impacto final sobre la calidad dependerá del balance entre el efecto positivo (mayor proteína) y el negativo (mayor relación gliadina: glutenina). La fuerza de la masa y el %UPP (Unextractable Polymeric Proteins) se ven reducidos tanto por altas temperaturas crónicas como por condiciones de golpe de calor. Los cambios descritos se representan en la Figura 21.

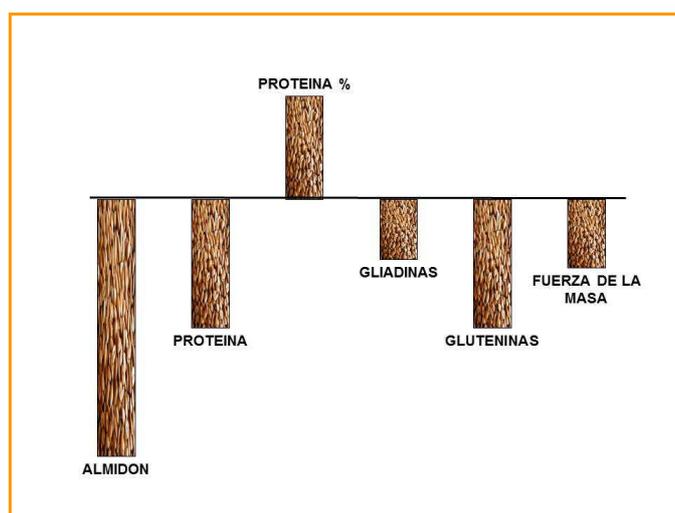


Figura 21- Respuesta de la composición del grano a las altas temperaturas

Fuente: Stone y Savin, 1999

Otros autores han encontrado mejorías en la fuerza de la masa con aumentos de la temperatura durante el llenado del grano en el rango de temperaturas 20-30°C. Las diferencias entre cultivares en la tolerancia al calor son importantes (Wardlaw *et al*, 2002).

En el campo, la ocurrencia de altas temperaturas suele estar asociada al **estrés hídrico**, reforzando los efectos negativos de la temperatura. La sequía produce una merma de asimilatos y a menudo reduce la disponibilidad de N, lo que causa una disminución del crecimiento del grano. En general, un episodio de sequía después de floración tiene un efecto similar al del aumento de temperatura - la cantidad de proteína por grano se mantiene estable mientras que se reduce significativamente la acumulación de almidón - resultando granos más pequeños con alta proteína (chuzos).

Según Saint Pierre *et al* (2008) el estrés hídrico reduce el rendimiento de grano, el peso hectolítrico, el peso y el diámetro del grano. La disminución del riego aumentó el contenido promedio de proteína en el grano. El déficit de humedad durante el llenado del grano aumentó el contenido de proteína.

La **disponibilidad de nitrógeno (N)** también afecta la composición del grano. Cuando esta es baja, el rendimiento responde positivamente a la fertilización con N. Ocurre un efecto de dilución cuando el N tomado por el cultivo se particiona en un gran número de granos, lo que reduce el % de proteína. Si la disponibilidad de N aumenta, tanto el

rendimiento del cultivo como la proteína en el grano aumentan. También el estadio de desarrollo del cultivo cuando es agregado el N es importante para definir la calidad del grano.

Aumentos en la disponibilidad de N causan aumentos de la relación gliadina:glutenina, lo que produce un ablandamiento de las masas y una disminución del GI (Seghezzo *et al*, 2001).

Según investigaciones recientes, el efecto del estrés por alta temperatura puede ser mitigado con alta disponibilidad de N.

En el mismo estudio de Saint Pierre, el N adicional aumentó el contenido de proteína y la dureza del grano en todos los cultivares ensayados. La alta fertilización con N aumentó el número de granos y extendió el período de llenado. A medida que el contenido de proteína aumentaba, las proteínas monoméricas crecieron más que las poliméricas; el valor de sedimentación con SDS aumentó junto con la proteína.

Análisis realizados durante 5 años, en 6 localidades, para 5 variedades de trigo candeal, mostraron que el efecto del cultivar fue importante en: peso hectolítrico, color sémola e índice de gluten. El efecto de la localidad (ambiente) fue numéricamente mayor en solamente dos variables: contenido de proteína y de gluten húmedo, mientras que el efecto del año predominó en peso de mil granos y vitreosidad. La interacción año x localidad resultó significativa para todas las variables y fue la interacción más importante (Seghezzo *et al*, 2011). Estos resultados coinciden con los informados por Belocchi *et al*, 2002; Raciti *et al*, 2002 para trigos italianos.

Prácticas de manejo: hay algunas decisiones importantes que deben ser tomadas antes de sembrar. La elección del mejor genotipo en relación con el uso final y la cantidad de N disponible son centrales para que se combinen exitosamente el potencial para rendimiento y calidad con la disponibilidad de recursos del ambiente.

La adición de **fertilizante nitrogenado** es una de las prácticas de manejo más frecuentes para alterar la calidad del grano. En el caso del trigo, la cantidad inicial de N en el suelo, el momento específico de la fertilización, la cantidad de agua disponible y el patrón de lluvias durante el ciclo así como la densidad de plantas y la eficiencia de uso del N del genotipo, son los principales factores que interactúan y pueden modificar la respuesta final de la calidad del grano. Un ejemplo del efecto de la combinación de esos factores sobre el grano es la vitreosidad (Rondanini, Borrás, Savin, 2012).

En experimentos de fertilización con nitrógeno conducidos en Azul y Barrow durante dos campañas se vio que las sémolas obtenidas de los tratamientos con N superaron en color amarillo a las que no lo recibieron (Molfese *et al*, 2001).

En un trabajo realizado en la Chacra Experimental Integrada Barrow por Bergh *et al* (1994), la aplicación de fertilizantes nitrogenados en forma tardía provocó aumentos significativos en el contenido de proteína. Otros resultados con fertilización foliar complementaria mostraron efectos positivos y significativos sobre las variables proteína, gluten y parámetros reológicos (Loewy y Salomón, 2004).

En experimentos de fertilización con nitrógeno y **azufre** (S) conducidos en Azul y Barrow durante dos campañas no se constató respuesta en calidad al agregado de S (Seghezzo *et al*, 2001).

La aplicación conjunta de N y **fungicidas** aumentó el rendimiento y los contenidos de proteína y gluten en un experimento conducido por García *et al* (2005).

BIBLIOGRAFIA

AACC American Association of Cereal Chemists. International Approved Methods www.methods.aaccnet.org

AADYND Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas www.aadynd.org.ar

Belocchi A, Brogna G, Fornara M, D' Egidio MG, Desiderio E- 2002- "Influence of environment, genotype and nitrogen fertilization on durum wheat quality". Proceedings Durum Wheat and Pasta Quality, Roma, p. 179-184.

Bergh R, Zamora M, Quattrocchio A y Báez A- 1998- "Fertilización nitrogenada de trigo candeal en el centrosur bonaerense: aplicaciones tardías". Actas IV Congreso Nacional de Trigo, Mar del Plata, p. 3-12.

Boyeldieu J- 1980- Les cultures céréalières. Ed Hachette, Paris

Carrera A, Echenique V, Zhang W, Helguera M, Manthey F, Schrager A, Picca A, Cervigni G and Dubcovsky J- 2007- "A deletion at the *Lpx-B1* locus is associated with low lipoxigenase activity and improved pasta color in durum wheat". J. Cereal Sci. 45: 67-77.

Carrillo JM, Martínez MC, Moita C, Brites M, Nieto Taladriz M and Vázquez J- 2000- "Relationship between endosperm proteins and quality in durum wheat". En: *Options Mediterr.* 40: 463-467.

CAA Código Alimentario Argentino. Capítulo IX- Alimentos farináceos. Productos de fideería. Artículos 706 a 715. Actualizado al 03/2013.
www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa

Cubadda R, Carcea M, Marconi E and Trivisonno M- 2007- "Influence of gluten proteins and drying temperature on the cooking quality of durum wheat pasta". Cereal Chem. 84: 48-55.

Damidaux R, Autran JC, Grignac P and Feillet P- 1978- "Mise en évidence des relations applicables en sélection entre l' électrophorégramme des gliadines et les propriétés viscoélastiques du gluten de *Triticum durum* Desf". C. R. Acad. Sci. D. 287: 701-704.

D'Egidio MG, Sgrulletta D, Mariani B, Galterio G, De Stefanis E, Fortini S and Bozzini A - 1982- "Standardization of cooking quality analysis in macaroni and pasta products". Cereal Foods World 27: 367-368.

D'Egidio MG, Mariani B, Nardi S, Novaro P and Cubadda R- 1990- "Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality". Cereal Chem. 67: 275-281.

D'Egidio MG- 2000- "Composition and quality of durum wheat and pasta products". En: *Proceedings of the International Workshop of Durum Wheat, Semolina and Pasta Quality*, Montpellier, Francia.

Dexter J and Matsuo R- 1979- "Effect of starch on pasta dough rheology and spaghetti cooking quality". *Cereal Chem.* 56: 190-195.

Dexter J, Matsuo R, Kosmolak F, Leisle D and Marchylo B- 1980- "The suitability of the SDS test for assessing gluten strength in durum wheat". *Can. J. Plant Sci.* 60: 25-29.

Dexter J, Marchylo B, Clear R and Clarke J - 1997- "Effect of *fusarium* head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat". *Cereal Chem.* 74: 519-525.

Dexter J and Symons S- 2007- "Impact of durum wheat test weight, kernel size, kernel weight, and protein content on semolina milling potential". *Int. Miller* (4th Quarter): 27-33.

Durum Wheat, Semolina and Pasta Quality: Recent Achievements and New Trends- 2001- Abecassis, Autran Editors, INRA Editions.

Durum Wheat. Chemistry and Technology. 2nd edition- 2012- Sissons, Abecassis, Marchylo, Carcea Editors. AACCC. ISBN 978-1-891127-65-6.

Filippini E e Iribarren C- 1989- "Guía de granos". PEMCET. ISBN 950- 99379-0-8.

García R, Annone J, Seghezzo ML, Molfese ER- 2005- "Nitrogen and fungicide effect on yield and industrial quality of different wheat varieties". Abstracts 7^o International Wheat Conference, Mar del Plata, pág. 187.

Hoseney C- 1991- "Principios de ciencia y tecnología de los cereales". Acribia. ISBN 84-200-0703-X.

ICC International Association for Cereal Science and technology. Standard Methods. www.icc.or.at

International Grains Council. Trigo. www.igc.int

IPO International Pasta Organization. Annual report 2012. www.internationalpasta.org

IRAM Instituto Argentino de Normalización. Catálogo de normas. www.iram.com.ar

Irvine GN, Bradley JW and Martin GC- 1961- "A farinograph technique for macaroni dough". *Cereal Chem.* 38 (2): 153-164.

ISO International Organization for Standardization. Standards. www.iso.org

Jackson E, Holt L and Payne P- 1983- "Characterization of high molecular weight gliadin and low-molecular weight glutenin subunits of wheat endosperm by two dimensional electrophoresis and the chromosomal localization of their controlling genes". *Theor. Appl. Genet.* 66: 29-37.

Kling C- 1990- "Pigment content in durum wheat: dependence genotype x environment". Hohenheim Universitat, Stuttgart, Alemania.

La pasta- 2000- Barilla Alimentare, Italia.

Lezcano E- 2013- "Pastas alimenticias". En: *Revista Alimentos Argentinos Nº 57*, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. ISSN 0328-9168.

Lezcano E- 2014- "Farináceos 2013". Informe sectorial Nº 14. www.alimentosargentinos.gov.ar

Loewy T y Salomón N- 2004- "Efecto de la fertilización complementaria sobre las variables de calidad en trigo". *Actas VI Congreso Nacional de Trigo, Bahía Blanca*, pág. 151-152.

López L, Greco C, Cagnasso C, Binaghi M, Mambrín M and Valencia M- 2007- "Durum wheat and common wheat detection and measurement in commercial pasta". *Abstracts I Conferencia Latinoamericana ICC, Rosario*, pág. 154.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Estimaciones Agrícolas 2014 <http://dev.sija.gov.ar/series>

Miravalles M, Lerner S, Seghezzo ML, Molfese ER y Mockel F- 2007- "Use of the alveographic technique for gluten strength evaluation of durum wheat in Argentina". *Abstracts I Conferencia Latinoamericana ICC, Rosario*, pág. 145.

Miravalles M, Alonso D y Zecca G- 2008- "Cambios en la calidad industrial del trigo para fideos durante el almacenamiento". *Actas VII Congreso Nacional de Trigo, Sta. Rosa, La Pampa*.

Molfese ER y Seghezzo ML- 1997- "La calidad de los trigos brotados". *Revista Fiesta Provincial del Trigo*.

Molfese ER, Seghezzo ML, Lerner S, Ponzio N, Zamora M, Cogliatti D and Rogers J- 2001- "Efecto del genotipo, el ambiente y la fertilización sobre el contenido de pigmento en *Triticum turgidum* L. var. *Durum*". *Actas V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Argentina*.

Payne P, Jackson E and Holt L- 1984- "The association between γ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: A direct causal effect or the result of genetic linkage". *J. Cereal Sci.* 11:15-34.

Peña RJ- 2000- "Durum wheat for pasta and bread-making. Comparison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters". En: *Options Méditerr.* 40: 432-430.

Peña RJ, Trethowan R, Pfeiffer WH and van Ginkel M- 2002- "Quality (end use) improvement in wheat: compositional, genetic and environmental factors". *J. Crop. Production* 5: 1-37.

Raciti C, Doust M, Lombardo G, Dexter J, Schlichting L, Marchylo B and Hatcher D- 2002- "Influence of genotype and environment on durum wheat semolina milling performance and pasta colour". *Proceedings Durum Wheat and Pasta Quality, Roma*, pág. 265-269.

Ribotta, Pablo- 2009- Curso "Fundamentos físicoquímicos para la obtención de productos alimenticios: Pasta". Universidad Nacional de Córdoba

Rodríguez J y Bartosik R- 2001- "Poscosecha", en: *Manual técnico trigo candeal*, Publicación CEI Barrow, pág. 79-82.

Rogers J, Lerner S, Seghezzo ML, Molfese ER, Ponzio N y Cogliatti M- 2001- "Asociaciones entre las subunidades de gluteninas de alto peso molecular y calidad industrial en trigo candeal". *Actas V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Córdoba*.

Roncillo P, Akkiraju P, Carrera A, Helguera M, Cervigni G, Miranda R, Jensen C y Echenique V- 2007- "Factors affecting durum wheat grain color". *Actas I Conferencia Latinoamericana ICC, Rosario*, pág. 45.

Rondanini D, Borrás L y Savin R- 2012- "Grain quality in oil and cereal crops". En: *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. R Meyer Editor. 16: 4550-4563. ISBN 978-1-4419-0852

Saint Pierre et al- 2008- "Wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization and water stress". *Agron. J.* 100: 414- 420.

Saturno A- 2012- Curso teórico práctico de actualización en molinería. STIM 2012, UNLP.

Savin R- 2003- "La calidad del grano de trigo. Determinantes fisiológicos". En: *Producción de granos*, Editores Satorre, Benech Arnold, Slafer y otros. UBA. ISBN 950-29-0713-2.

Seghezzo ML, Molfese E, Bergh R, Jensen C- 1998- "El lavado en trigo candeal". *Actas IV Congreso Nacional del Trigo, Mar del Plata*, 5-11.

Seghezzo ML y Molfese E- 1999- "Trigo candeal. Criterios para la evaluación de la calidad". ISSN 0327-8735.

Seghezzo ML, Lerner S, Molfese E, Ponzio N, Zamora M, Cogliatti M y Rogers W- 2001- "Calidad industrial de trigo candeal: genotipo, ambiente y fertilización N/S". Actas V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Córdoba.

Seghezzo ML, Molfese ER- 2001- "Predicción del color de sémolas de trigo candeal en generaciones tempranas". Actas V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Córdoba.

Seghezzo ML, Molfese ER y Zamora M- 2005- "Relationship between semolina color and kernel weight in durum wheat: genotype and location effect". ICC Jubilee Conference, Viena, pág. 157.

Seghezzo ML y Molfese ER- 2006- "Calidad en trigo pan". Ediciones INTA.

Seghezzo ML, Molfese ER, Rosales Heredia S y Abbate P- 2011- "Effect of cultivar, year, location and its interactions on quality of durum wheat". Abstracts II Conferencia Latinoamericana ICC, Santiago, Chile, pág. 119.

SENASA Servicio Nacional de Sanidad Animal- Normas de Calidad, Muestreo y Metodología para los granos y subproductos. www.infoleg.gov.ar

Shewry PR, Mifflin BJ and Kasarda DD- 1984- "The structural and evolutionary relationships of the prolamin storage proteins of barley, rye and wheat". Philos. Trans. R. Soc Lond. B. Biol. Sci. 304: 333-339.

Sissons M, Schlichting L, Egan N, Aarts W, Harden S and Marchylo B- 2008- "A standardized method for the instrumental determination of cooked spaghetti firmness". Cereal Chem. 85: 440-444.

Stone PJ and Savin R- 1999- "Grain quality and its physiological determinants". En: *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. EH Satorre and GA Slafer Editors. Food Product Press, New York, pág. 85-120.

Stone P- 2001- "The effects of heat stress on cereal yield and quality". En: *Crop responses and adaptations to temperature stress*, AS Basra Editor, Food Products Press, New York, pág. 243-291.

Storm, Ana- 2011- Manchado de grano en trigo candeal, Informe final de Beca CIC

Trangoni G- 2014- Molinos Río de la Plata, Originación, comunicación personal

Trentesaux E- 1995- "Evaluation de la qualité du blé dur". En: *Options Méditerranéennes*. 22: 53-58. ICARDA-CIHEAM-CIMMYT.

Trigo candeal. Manual Técnico- 2001- Chacra Experimental Integrada Barrow. ISSN 0328- 1353.

Uhart S- 1998- "Trigo pan". En: *Calidad de productos agrícolas*, Editores Aguirrezábal, L y Andrade, F. UNMdeP- INTA. ISBN 987-521-001-3.

Wardlaw I, Blumenthal C, Larroque O and Wrigley C- 2002- "Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat". *Functional Plant Biology* 29: 25-34.

Weimann F- 2014- Panorama mundial y local del mercado de pastas. World pasta day, Buenos Aires.

La industria del trigo candeal tiene dos destinatarios principales que influyen sobre los objetivos de obtención de cultivares. Primero, consumidores y procesadores de alimentos y, segundo, productores agropecuarios, manipuladores de grano y comercializadores.

Los procesadores de alimentos demandan a los comercializadores para que los provean de calidades específicas para aumentar su participación en el mercado, reaccionar a los cambios en los gustos de los consumidores o para cumplir con exigencias de las nuevas tecnologías. También los nuevos cultivares deben satisfacer las necesidades de los productores agropecuarios, molineros, elaboradores de productos finales y, finalmente, las exigencias del consumidor de alimentos sanos y nutritivos.

Para el productor agropecuario la calidad se define como aquellos factores que proveen el mayor retorno económico y el mejor grado o precio. El grado está influenciado por la concentración de proteína, atributos físicos tales como peso hectolítrico, presencia de enfermedades del grano como escudete negro y fusariosis y daños físicos causados por insectos, brotado o heladas. También deben satisfacer las expectativas de rendimiento de grano, robustez del tallo, resistencia a enfermedades. Cuando nos movemos en la cadena de valor, la calidad para el molinero requiere factores adicionales como rendimiento molinero, cenizas y color de la sémola y fuerza de gluten. Los elaboradores de fideos incluyen ítems como color y apariencia de la pasta seca, comportamiento en la cocción, sabor y aroma. El consumidor incorpora los factores demandados por el procesador y más recientemente, nutrición, salud y sanidad del producto.

El objetivo de esta revisión es presentar conocimientos actualizados sobre la química y tecnología del trigo candeal y sus productos derivados. En los sucesivos capítulos se presentan el trigo candeal, su comercialización y una descripción de las características del grano. En una segunda parte, la química de los componentes, su valor nutricional, los procesos tecnológicos como molienda y fabricación de fideos y la metodología actualmente en uso para la evaluación de granos, sémolas y fideos. Finalmente, algunas recomendaciones sobre el manejo poscosecha y conclusiones de distintos trabajos nacionales sobre el efecto del ambiente y el genotipo sobre la calidad.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAA-INTA)
Laboratorio de Calidad Industrial de Granos
Ruta Nac. N°3 – Km 488 – CC 50 – (7500) Tres Arroyos – Buenos Aires