

*EFECTO DE LA COMPOSICIÓN Y LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DE HARINAS INTEGRALES DE
GENOTIPOS DE TRIGOS DUROS Y BLANDOS SOBRE LA
CALIDAD TECNOLÓGICA DE PANES Y GALLETITAS*

Bioquímica Paesani Candela

Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

ICYTAC (Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, CONICET-UNC)

Catedra de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC

DE ALFABETARIO BIBLIOTECA: 14279

LA FE INGRESO:

DECIMOS:

...

donación

PARTE MONIAL Y FECHA:

...

GLON:

ADERNADO:

IE CLASIFICACION:

SACION:

VENTARIADO EN:

DESÓ:

641.331

R-T

JML / 11/02/2022

Dra. Pérez Gabriela T.

Directora del trabajo de tesis

ICYTAC (Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, CONICET-UNC)

Catedra de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC

Dra. Maria Jimena Correa

Comisión de Tesis

Evaluadora externa

CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Crioteología de Alimentos)

UNLP (Universidad Nacional de La Plata)

Dr. Edgardo Calandri

Comisión de Tesis

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, UNC)

FCEfN (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC)

Dra. Natalia Cervilla

Comisión de Tesis

Escuela de Nutrición, FCM (Facultad de Ciencias Médicas, UNC)

*A mis padres y mis hermanos, por su amor
y compañía eterna,
A mi directora
y todos mis compañeros de este camino
por su apoyo y confianza.*



Y deberás plantar
y ver así a la flor nacer
y deberás crear
si quieres ver a tu tierra en paz
el sol empuja con su luz
el cielo brilla renovando la vida

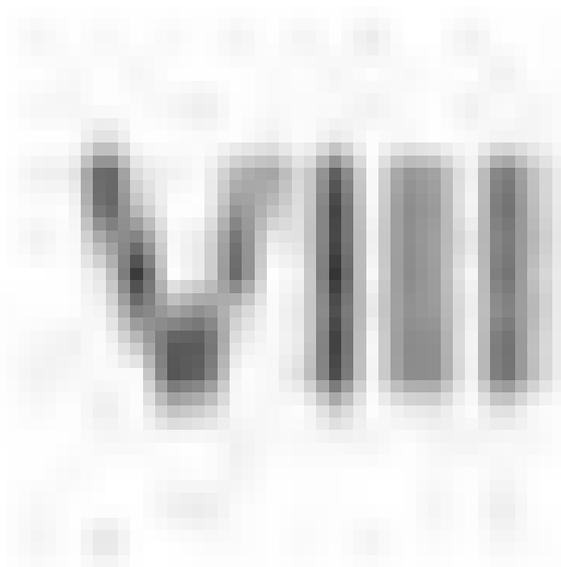
Y deberás amar
amar, amar hasta morir
y deberás crecer
sabiendo reír y llorar
la lluvia borra la maldad
y lava todas las heridas de tu alma

De tí saldrá la luz
tan sólo así serás feliz
y deberás luchar
si quieres descubrir la fe
la lluvia borra la maldad
y lava todas las heridas de tu alma

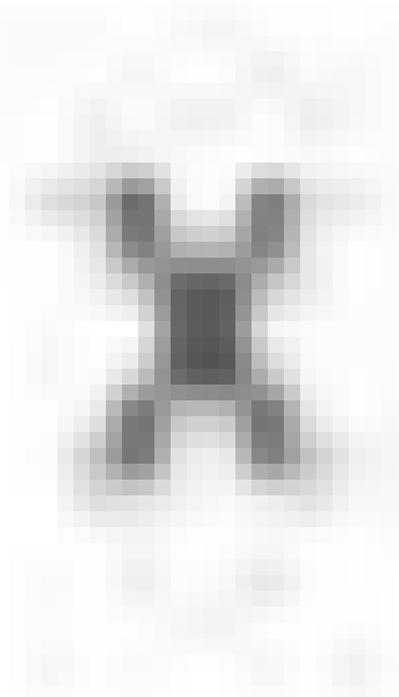
este agua lleva en sí
la fuerza del fuego
la voz que responde por tí
por mí

y esto será siempre así
quedándote o yéndote...

Luis Alberto Spinetta



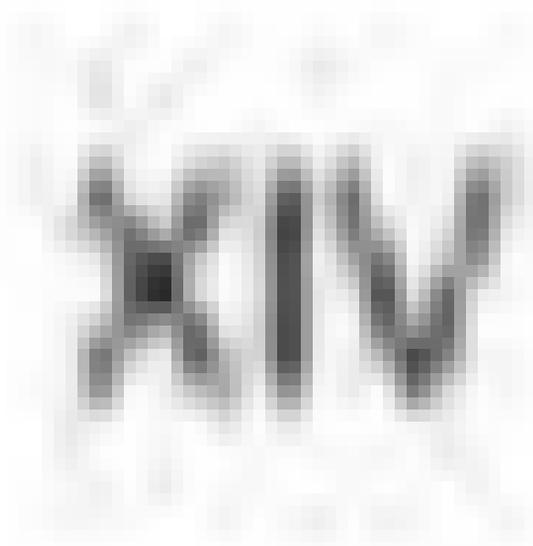
INDICE



RESUMEN.....	XIII
Listado de abreviaturas y símbolos	XVII
Listado de ilustraciones y tablas	XIX
INTRODUCCIÓN.....	19
1.1.1 Trigo	23
1.1.2 Textura del grano de trigo	25
1.1.3 Diferencias entre trigos duros y blandos	26
1.1.4 Harina de trigo	28
1.2 COMPOSICIÓN. DE LAS HARINAS.....	31
1.2.1 Fibra dietética.....	31
1.2.2 Pentosanos	31
1.2.3 Lípidos.....	33
1.2.4 Proteínas.....	33
1.2.5 Estructura del gluten	36
1.3 ENSAYOS DE PREDICION DE LA CALIDAD DE HARINAS.....	38
1.3.1 Índice de Sedimentación en SDS.....	38
1.3.2 Índice de Retención de Agua Alcalina.....	39
1.3.3 Capacidad de Retención de Solventes	39
1.4 PAN.....	45
1.4.1 Parámetros de Calidad del Pan	47
1.5 GALLETITAS.....	41
1.5.1 Parámetros de Calidad Galletitera	43
OBJETIVO GENERAL.....	51
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
MATERIALES Y MÉTODOS	53
2.1 MATERIAL VEGETAL.....	55
2.2 COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS HARINAS	56
2.2.1 Humedad.....	56
2.2.2 Cenizas	56
2.2.3 Proteínas.....	57
2.2.4 Gluten húmedo, seco e índice de gluten.....	57
2.2.5 Materia grasa	58
2.2.6 Fibra Dietaria soluble e insoluble	58
2.2.7 Pentosanos solubles y totales.....	59
2.3 ENSAYOS DE PREDICION.....	60

2.3.1 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)	60
2.3.2 Perfil de capacidad de retención de solventes (micro-SRC)	60
2.3.3 Índice de Sedimentación en Dodecil Sulfato de Sodio (IS-SDS).....	61
2.4 TAMAÑO DE PARTICULA DE LAS HARINAS	56
2.5 ELABORACION DE LOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN	62
2.5.1 Elaboración de Galletitas	62
2.5.2 Calidad de las galletas	62
2.5.3 Elaboración del pan.....	65
2.5.3 Calidad del pan	65
2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	67
RESULTADOS Y DISCUSION	69
3.1_TAMAÑO DE PARTICULA DE LAS MUESTRAS DE HARINA.....	71
3.2 COMPOSICIÓN. DE LAS HARINAS DE GRANO ENTERO	75
3.2.1 Contenido de gluten	78
3.3 ENSAYOS DE PREDICCIÓN.....	83
3.3.1 Trigos duros vs blandos	88
3.3.2 Relación entre los test de predicción y la composición fisicoquímica de las harinas.....	89
3.4 ELABORACION DE GALLETITAS.....	95
3.4.1 Correlaciones entre la calidad de las galletas, la composición. de las harinas y los test de predicción.....	98
3.5 ELABORACION DE PANES	103
3.5.1 Correlaciones entre la calidad de los panes, la composición. de las harinas y los test de predicción.....	108
4. CONCLUSIONES	115
5. REFERENCIAS	119
6. ANEXO	135

RESUMEN



Aun siendo de amplio conocimiento que los productos elaborados con harinas integrales son nutricionalmente más ricos que los productos de panificación de harina refinada, los productos que se comercializan en la Argentina como integrales, se elaboran a partir de harina blanca con el agregado de salvado. Las harinas de grano entero, en cambio, contienen no solo el endosperma del grano de trigo, sino también su germen y pericarpio, aportando mayores cantidades de fibra dietaria, principalmente, así como de ácidos grasos y minerales, entre otros. Este aporte que enriquece de manera nutricional los panificados, dificulta la formación de la red de gluten característica del trigo y, por ende, disminuye la calidad sensorial de los productos. Es por esto que se propuso estudiar las propiedades fisicoquímicas de las harinas integrales obtenidas a partir de las variedades de trigo blando y duro seleccionadas, así como la calidad de los panes y galletitas elaborados a partir de ellas. Se determinaron los principales parámetros de las harinas integrales que influyen sobre la calidad de los productos y se evaluaron, además, la calidad de los productos obtenidos con las harinas de los distintos genotipos de trigo. Se estimó la capacidad de los ensayos de calidad utilizados en harinas refinadas para predecir la calidad de los productos finales cuando se utilizan en harinas de grano entero.

Se trabajó con 12 cultivares de trigo blando experimental y 9 de trigo duro, seleccionando aquellos que son los más cultivados en nuestro país. Se molieron mediante molino de rodillos quitando sus tamices, obteniendo así la harina de grano entero gruesa. A las harinas se le determinaron humedad, proteínas, fibra dietaria soluble e insoluble, pentosanos solubles e insolubles, cenizas y materia grasa. Con estas mismas muestras se realizaron los test de predicción para evaluar cuál será la calidad final de los productos de panificación elaborados con estas harinas. Con los cultivares de trigos blandos se elaboraron galletas dulces, y con los cultivares de trigo duro panes, evaluando en ambos casos parámetros de calidad definidos para cada producto.

Se encontraron diferencias significativas entre la composición de las harinas integrales de los dos tipos de trigo al analizarlas de manera global, siendo las harinas de trigo blando las que tuvieron porcentajes mayores de fibra dietaria, tanto soluble como insoluble.

Se observó que la calidad de las galletas fue aceptable, y se relacionó con la composición de la harina con la cual se había elaborado, principalmente con el contenido de fibra dietaria y pentosanos. Sin embargo, se concluyó que los ensayos de predicción no eran útiles en el caso de las harinas de grano entero de los cultivares de trigo blando.

Los panes elaborados con las harinas integrales de los trigos duros fueron de baja calidad, pero en este caso, los test de predicción, principalmente el IS-SDS y el contenido de gluten, fueron útiles para predecir las características finales de las piezas elaboradas. EL SRC láctico también arrojó resultados concordantes con el contenido de proteínas, y de gluten de las harinas integrales.

Se debe realizar un análisis más exhaustivo sobre el sistema que forman este tipo de harinas para poder realizar modificaciones en los ensayos de predicción, y lograr que estos reflejen la misma información en harinas de grano entero que la que otorgan en harinas refinadas; y para analizar posibles variaciones en la metodología de elaboración de galletas y panes para obtener productos de mejor calidad.

Palabras clave:

Trigo

Harina integral

Calidad

Predicción

Galletitas

Panes

Listado de abreviaturas y símbolos

FG: Factor Galleta

GH: Gluten húmedo

GS: Gluten seco

H: Humedad

HG: Humedad de la Galleta

IDF: Fibra dietética Insoluble

IG: Índice de Gluten

IRAA: Índice de Retención de Agua Alcalina

IS-SDS: Índice de Sedimentación en SDS (Sodio DodecilSulfato)

MG: Materia Grasa

PS: Pentosanos Solubles

PSA: Distribución de Tamaño de Partícula

PT: Pentosanos Totales

SDF: Fibra dietética soluble

SRC a: Capacidad de Retención del Solvente agua

SRC c: Capacidad de Retención del Solvente carbonato de sodio

SRC l: Capacidad de Retención del Solvente ácido láctico

SRC s: Capacidad de Retención del Solvente sacarosa

VE: Volumen Específico



Listado de ilustraciones y tablas

Figura 1. Gráfica de la Alimentación Diaria.....	20
Figura 2. Esquema de la anatomía del grano de trigo.....	23
Figura 3. Elementos estructurales de los arabinosilanos.....	31
Figura 4. Esquema general de la estructura de la red de gluten.....	36
Figura 5. Intensidad de los colores según sus valores en los ejes.....	62
Figura 6. Curva de análisis de perfil de textura.....	66
Figura 7. Distribución de tamaño de partícula de las harinas.....	70
Figura 8. Valores promedios de micro SRC.....	86
Figura 9. Factor galleta de las galletas.....	96
Figura 10. Imágenes de panes elaborados.....	103
Figura 11. Volumen Especifico de los panes elaborados.....	106
Tabla 1. Análisis del tamaño de partícula.....	72
Tabla 2. Composición fisicoquímica de las harinas.....	74
Tabla 3. Contenido y calidad de gluten de las harinas.....	78
Tabla 4. Análisis multivariado entre los dos tipos de trigo.....	79
Tabla 5. Ensayos de predicción de las harinas.....	82
Tabla 6. Correlaciones entre los parámetros de micro SRC.....	85
Tabla 7. Análisis multivariado de los test de predicción entre tipos de trigo....	88
Tabla 8. Correlaciones entre test de predicción y composición.....	90
Tabla 9. Coeficientes de correlación entre el tamaño de partícula, composición de las harinas y los test de predicción.....	91
Tabla 10. Parámetros de la calidad de las galletas.....	94
Tabla 11. Correlaciones entre composición centesimal, test de predicción y parámetros de calidad galletitera.....	98

Tabla 12. Parámetros de calidad evaluados en los panes elaborados.....	104
Tabla 13. Correlaciones entre composición centesimal, test de predicción y parámetro de calidad panadera.....	110

18

INTRODUCCIÓN

20

Desde el punto de vista nutricional el consumo de cereales es de suma importancia, ya que proporcionan a la dieta hidratos de carbono complejos, fibra dietética, minerales y vitaminas del complejo B, y son de bajo contenido graso. El Ministerio de Salud de la Nación, a través de las guías de Alimentación saludable para la población argentina (<http://www.msal.gob.ar>) que publica en su portal, establece la importancia del consumo diario de alimentos a base de cereales

Como puede observarse en la figura 1, la porción diaria recomendada de cereales es de suma importancia. Se recomienda, a su vez, que el consumo de cereales se realice a base de productos integrales



Figura 1. Gráfica de la Alimentación Diaria. Ministerio de Salud de la Nación 2016.

Se denominan productos a base de grano entero a los que poseen endosperma, germen y capas de la aleurona (salvado) en las mismas proporciones que existen en el grano intacto previo a la molienda (AACC, 2000; FDA, 2010). En la actualidad, las pautas alimentarias recomiendan incrementar el consumo de productos a base de grano entero debido al rol que dichos granos ejercen en reducir el riesgo de enfermedad crónicas degenerativas (Bressiani *et al*, 2017; Liu, 2007).

Los alimentos a base de cereales han ocupado por milenios una parte muy importante de la dieta de los humanos. Como se mencionó anteriormente los granos de cereales contienen macronutrientes, tales como proteínas, lípidos y carbohidratos, necesarios para el crecimiento y el mantenimiento de la salud de las personas. También aportan una importante cantidad de minerales, vitaminas y otros micronutrientes esenciales para una buena salud (Liu, 2007). Sin embargo, desde hace años existe evidencia científica respecto a que los cereales tienen el potencial para mejorar la salud más allá de la provisión de los nutrientes antes mencionados, y que su consumo puede disminuir sustancialmente el riesgo de padecer enfermedades crónicas relacionadas con la dieta (Wu *et al.*, 2015; Topping, 2007).

La mayoría de los productos a base de trigo consumidos en Argentina son a base de harina blanca, consistiendo principalmente en endosperma, mientras que las capas de aleurona, embrión y las capas externas del grano (pericarpio y testa) son descartadas (Shewry *et al.*, 2010). Sin embargo, las concentraciones de Fe y Zn en el endosperma son muchos menores que las presentes en el salvado y dichas cantidades muestran una gran variación entre diferentes genotipos de trigo (Dewettinck *et al.*, 2008).

La demanda interna comprende el consumo de harina blanca de trigo en diferentes formas: producciones industriales de panificados, galletitas y pastas, elaboración de pan tradicional de panadería o fraccionada en envases de un kilogramo para el consumo hogareño, entre otros. En el año 2015 se consumió un promedio de 90 Kg de harina de trigo por habitante por año (FAIM, 2015). En los últimos 10 años el consumo interno de galletitas creció fuertemente, alcanzando en la actualidad un consumo per cápita de entre 12 y 13 kg anuales, mientras que el consumo de pan alcanzó los 89 Kg por habitante por año de pan (envasado y de panadería) en el año 2015 (Zapata *et al.*, 2016).

En cambio, el consumo de productos a base de harina integral es considerablemente menor. Sin embargo, en los últimos años ha crecido notablemente el interés por este tipo de productos por su mayor contenido de

fibra, minerales y vitaminas que los productos a base de harina refinada (Frontela *et al.*, 2011).

Siguiendo la nueva tendencia de comida saludable regida por pautas alimentarias, los cereales han recibido especial atención con el objetivo de minimizar pérdidas de compuestos saludables para el hombre que se pierden en el proceso de molienda (Liu, 2007; Slavin, 2003). A pesar de sus efectos benéficos, la aceptación por parte de los consumidores es limitada debido al sabor y textura característicos de dichos productos por la presencia de salvado y germen (Dammann *et al.*, 2013). Por lo tanto, se necesitan mejoramientos tecnológicos con el objetivo de acrecentar la aceptación por parte de los consumidores de los productos a base de grano entero. Seleccionar el proceso de molienda a utilizar podría ser la clave a tener en cuenta para la producción de harina integral (Kihlberg *et al.*, 2004).

1.1.1 Trigo

El trigo es uno de los cereales más importantes en el mundo en términos de cultivo y alimentación humana, y el cereal más importante en el consumo de la población argentina (FAO: Food Balance Sheet 2007). Es el segundo en producción mundial, después del maíz y se encuentra entre los tres cereales que mayor rango geográfico y climático tiene para su producción (FAOSTAT, 2015).

El rendimiento promedio de la molienda de trigo es de 510.229 t, en el periodo enero del 2012 hasta mayo del 2015. Alrededor del 12-15% de la harina producida se exporta y el resto se destina a panificación. El 95% de la panificación es pan artesanal, elaborado por pequeñas y medianas panaderías. El 5% restante, es procesado por empresas industriales. La producción de pan industrial está compuesta por un 55% de pan de molde (lacteado) y un 45% de bollería (pan de Viena y pan dulce) (SAGPyA, 2007; Alimentos Argentinos, 2012). El grano de trigo se encuentra constituido por tres partes principales: el salvado, el germen o embrión, y el endosperma (Marquart *et al.*, 2007) (Figura 2). El salvado está constituido por 4 capas celulares: pericarpio, cubierta de la semilla, epidermis nuclear y capa de la aleurona, cuyas células tienen un alto contenido

de celulosa y hemicelulosa, estructuras que rodean al endosperma y son eliminados durante la molienda del grano a la hora de obtener harina blanca refinada (Hemery *et al.*, 2009). El germen constituye un porcentaje pequeño del grano, relativamente rico en proteínas, azúcares y aceite, y por esta razón es eliminado de la harina con el fin de evitar el enranciamiento (Hoseney, 1994). Por último, el endosperma, está formado por células repletas de gránulos de almidón incluidos en una matriz proteica constituida por proteínas de reserva, que, en el caso del trigo, constituyen el gluten y proteínas metabólicamente activas (Gómez Pallarés *et al.*, 2007; Pomeranz, 1971).

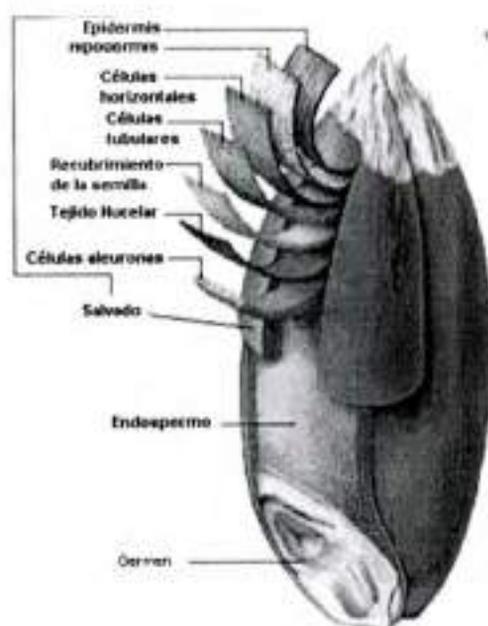


Figura 2. Esquema de la anatomía del grano de trigo

1.1.2 Textura del grano de trigo

La dureza del grano puede ser definida como la resistencia a la deformación o propiedades de fractura y la distribución del tamaño de partícula de la harina, después de la molienda. Es una de las principales características para clasificar el trigo y determinar el uso final de sus harinas (Campbell *et al.*, 2001; Khan *et al.*, 2000).

Según la textura del grano, los trigos pueden dividirse en tres clases principales: blandos, duros hexaploides (*Triticum aestivum* L.) y extra duros tetraploides (*T. durum* Desf.) o candeales. El grado de dureza está relacionado con la forma en que el endosperma se rompe y, afecta la facilidad con que el endosperma se separa del salvado (Campbell *et al.*, 2001).

En los trigos duros esta separación es más limpia y las células del endosperma permanecen intactas, sin embargo, en los trigos blandos las células periféricas del endosperma tienden a fragmentarse y mientras unas se separan, otras quedan unidas al salvado (Gómez Pallarés *et al.*, 2007). Los trigos extra duros producen una harina con mayor granulometría (sémola o semolina), arenosa y formada por partículas de forma regular que son, en su mayoría, células enteras del endosperma.

En la molienda, la textura del grano afecta los requerimientos de acondicionamiento del trigo, el tamaño de la partícula y la densidad de la harina, el contenido de almidón dañado, la absorción de agua y el rendimiento en el molino (Osborne *et al.*, 2006; Delwiche, 2000). Generalmente, las harinas de trigo duro son de textura tosca, contienen más almidón dañado, el cual aumenta la absorción de agua inicial e impide la óptima formación de gluten durante el amasado. También disminuye la consistencia de la masa perdiendo la capacidad de retención de gas después de la degradación del almidón durante la fase de fermentación (Barrera *et al.*, 2007). Las harinas de trigo blando son de textura más fina, poseen gran número de gránulos intactos y son usadas para elaborar galletitas, tortas y otros productos no esponjados (Campbell *et al.*, 2001). Las harinas de trigo candeal presentan un incremento adicional de la dureza, lo cual produce harinas con textura más tosca denominadas semolinas y altos niveles de almidón

dañado. Este tipo de harinas es generalmente usado para pastas (Fu, 2008; Giroux y Morris, 1998).

1.1.3 Diferencias entre trigos duros y blandos

La textura del grano está determinada genéticamente y controla el grado de adhesión entre la matriz proteica y los gránulos de almidón del endosperma (Campbell *et al.*, 1999). Es una característica expresada en el desarrollo temprano, cuando hay muy poco almacenamiento de proteínas y los gránulos de almidón están presentes en las células del endosperma (Bechtel *et al.*, 1996). Entre los factores que afectan la dureza final del grano, podemos mencionar el contenido de humedad, la presencia de materiales solubles en el agua de la semilla, así como el contenido de lípidos y pentosanos.

La dureza del grano juega un importante papel en la comercialización y el procesamiento del trigo tanto nacional como internacional. En general, se entiende a la dureza como el resultado de las fuerzas de interacción almidón-proteína (Barlow *et al.*, 1973). El endosperma blando se relaciona con la presencia de las friabilinas (Greenwell y Schofield 1986, Schofield, 1994), y la presencia de dos clases de glico- y fosfolípidos polares unidos al almidón. Greenblatt *et al* (1995) sugieren que la interfaz de almidón debe desempeñar un papel importante en determinar la textura del grano en la carióspside de trigo. Características físicas del grano de trigo, como la uniformidad en la dureza y el tamaño del grano son importantes para la molienda de harina de trigo tradicional porque maximizan la separación del salvado y el endosperma en el molino de rodillos (Posner y Hibbs, 2005; Li y Posner, 1987), para la obtención de harina blanca.

Para el molinero, la textura del endosperma afecta los requisitos del acondicionamiento del grano, y los parámetros de la harina, tales como su tamaño de partícula, densidad, cantidad de almidón dañado, absorción de agua y rendimiento de la molienda (Prabhasankar y Rao, 2001). Para el procesador, la textura del endosperma es un indicador de la idoneidad de esa harina para la

elaboración de un producto en particular (Osborne y Anderssen, 2003), mientras que, para el productor, la textura es importante ya que generalmente se paga más por los trigos más duros, debido a que contienen más proteína.

Macroscópicamente, la morfología de los granos de trigos duros y blandos es similar. La superficie de corte de un cultivar duro a menudo se puede distinguir de un cultivar blando por el contenido vitreo en la superficie cortada, pero esto no siempre se ajusta rigurosamente a la textura del grano. Se informó que la resistencia a la compresión del endosperma del trigo duro es más sensible al contenido de humedad que el endosperma de trigo blando (Delwiche, 2000; Glenn *et al.*, 1990).

En general, el trigo duro se usa para pan, mientras que el trigo blando se usa para galletas, bizcochuelos y pasteles (Campbell *et al.*, 2001; Morris *et al.*, 1996). En la actualidad, Argentina es productor de trigo duro hexaploide, de muy buena calidad panadera, pero el cultivo de trigo blando no está extendido por temor que se produzcan mezclas con trigos panificables que afecten la calidad panadera de este último. Por este motivo, los trigos blandos no se cultivan en la Argentina y la industria galletitera utiliza harina de trigos panaderos con el agregado de aditivos o enzimas para reducir la fuerza del gluten y logran así imitar las propiedades del trigo blando, pero a un costo más conveniente.

Las líneas de trigo blando que se cultivaron hasta el año 2012 eran variedades extranjeras y no presentaban una buena adaptación a los suelos y ambientes argentinos. Actualmente existen en el país 4 variedades de trigo inscriptas para su cultivo, y una de estas ha sido desarrollada en el país por INTA e inscripta en 2012 (variedad Biointa 3007 BB). Desde hace cinco años Molino Campodónico cultiva y comercializa unas 2000 toneladas de trigo blando (variedad QALBis) en el país para Terrabusi (*Kraft Foods*) y algunas empresas más pequeñas (com. pers. Miguel Cardos, Molino Campodónico, 2013).

1.1.4 Harina de trigo

La harina de trigo es la única con la habilidad de formar masas cohesivas tras el agregado de agua, capaces de retener gases durante la fermentación y el horneado y dar productos aireados y livianos. Estas características particulares se deben a su composición química, y en especial a sus proteínas y su capacidad de formar gluten (Campbell *et al.*, 2001).

El Código Alimentario Argentino (CAA) clasifica: (Artículo 662 - Dec. 2370, 28.3.73)

-"Con la denominación de Harina, sin otro calificativo, se entiende al producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo que responda a las exigencias de éste. Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0), medio cero (medio 0), Harinilla de primera y Harinilla segunda, corresponderán a los productos que se obtienen de la molienda gradual y metódica del endosperma en cantidad de 70-80% del grano limpio.

-"Se entiende por Harina integral o Harina de Graham, el producto que se obtiene por la molienda del grano de trigo que responda a las exigencias de éste. Según el grado de la molienda se admiten y distinguen tres tipos: Gruesa, Mediana y Fina. Estos productos se rotularán: Harina integral o Harina de Graham. Por debajo y con caracteres semejantes a los empleados en su denominación, la tipificación que les corresponda: Gruesa, Mediana o Fina".

Con el advenimiento de los modernos molinos de rodillos durante la revolución industrial, la producción de harina de trigo integral casi desapareció durante gran parte del siglo XX. En los Estados Unidos, la producción de harina de trigo integral fue de alrededor del 2% de la producción total de harina en el año 2000 (Vocke *et al.*, 2008) y solo alrededor del 7% de la población consumía al menos 3 porciones de granos enteros por día (USDA, 2000). Además, la harina de trigo integral contiene mayor actividad enzimática (Every *et al.*, 2006), lípidos (Chung *et al.*, 2001) y antioxidantes (Adom *et al.*, 2005) que la harina refinada, lo cual

puede afectar el uso final (Every *et al.*, 2006) y las propiedades de almacenamiento de la misma (Heinio *et al.*, 2002)

Diversos estudios han asociado el consumo habitual de cereales de grano entero con un menor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, diabetes de tipo 2, algunos tipos de cáncer, así como con una menor tasa de obesidad; efectos que son atribuidos a la composición de estos alimentos (Bressiani *et al.*, 2017; Liu 2007). El pan integral, al tener más fibra que el pan blanco, ofrece una mayor sensación de saciedad, favorece la función intestinal, previene y alivia el estreñimiento, tiene la capacidad de modular de manera favorable para la salud el microbioma y el tránsito intestinal (Sánchez *et al.*, 2005).

El germen contiene ácidos grasos esenciales de tipo omega-3 que ayudan a disminuir el colesterol sérico (Pirini *et al.*, 2007), contienen algunas vitaminas del grupo B, muy importantes para el funcionamiento del sistema inmunológico, sistema nervioso, producción de hormonas o formación y crecimiento correctos del feto durante el embarazo (ácido fólico); vitamina E, con importante actividad antioxidante; fibra, para prevenir el estreñimiento y distintos tipos de cáncer (Caers *et al.*, 2000); minerales como calcio, hierro o fósforo y proteínas (Sidhu *et al.*, 1999).

La mayoría de los productos a base de trigo consumidos en Argentina se elaboran con harina blanca, compuesta principalmente por el endosperma, mientras que las capas de aleurona, germen y las capas externas del grano (pericarpio y testa) son descartadas (Shewry *et al.*, 2010). Sin embargo, en lo que respecta a los compuestos de alto valor nutricional como los minerales, se encuentran en mayores concentraciones en el salvado (Vignola *et al.*, 2017; Dewettinck *et al.*, 2008).

Por estos motivos, los cereales han recibido especial atención con el objetivo de minimizar pérdidas de compuestos saludables para el hombre durante el proceso de molienda (Liu, 2007; Slavin, 2003), y de buscar productos de grano que sean mas aceptables por los consumidores aun en presencia de salvado y germen (Dammann *et al.*, 2013). Por lo tanto, se necesitan mejoramientos tecnológicos

en la elaboración de productos integrales con el objetivo de acrecentar la aceptación por parte de los consumidores.

La selección del proceso de molienda que se utilizará es clave en la producción de harina integral (Kihlberg *et al.*, 2004). Las cuatro técnicas predominantes para molienda de harinas de grano entero son molino de piedra, molino de rodillos, molino ultrafino y molino de martillos (Kent y Evers, 1994). El molino de martillo hace que el producto se caliente y pierda humedad (Posner y Hibbs, 2005). Los molinos de piedra generan calor considerable debido a la fricción, lo que daña al almidón, la proteína y los ácidos grasos insaturados (Prabhasankar y Rao, 2001). El proceso de la molienda con rodillos, que es el utilizado en este trabajo, implica la separación del endospermo del salvado y germen seguido de una reducción gradual del tamaño del endosperma (Ziegler Y Greer, 1971). En comparación con los molinos de piedra, la molienda de rodillos es más económica y flexible (Posner y Hibbs, 2005), con menos producción de calor y, por lo tanto, menos destrucción de componentes químicos (Prabhasankar y Rao, 2001). Por otra parte, hay considerables estudios realizados sobre los procesos posteriores a la molienda para harina de trigo integral, que incluye la extrusión de doble tornillo, el tratamiento térmico del salvado y el germen (Kock, Taylor y Taylor, 1999) y los procesos de molienda ultrafina (Hemery *et al.*, 2011)

1.2 COMPOSICIÓN. DE LAS HARINAS

1.2.1 Fibra dietética

La fibra dietética se define como "la parte consumible de la planta que es resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con fermentación completa o parcial en el intestino grueso" (Mongeau, 2003; Trowell *et al.*, 1976). Esta definición incluye un amplio rango de compuestos no digeribles como, celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón resistente pero también incluye componentes no polisacáridos como lactosa, rafinosa, fructo-oligosacáridos, lignina entre otros, que escapan también a la digestión y absorción en el intestino delgado, y, por lo tanto, funcionan como fibra dietética (Manning y Gibson, 2004). La fibra dietética se clasifica en dos categorías de acuerdo con su solubilidad en agua: fibra dietética insoluble (celulosa, parte de hemicelulosa y lignina) y soluble (pentosanos, pectinas, mucilago, gomas) (Esposito *et al.*, 2005).

La fibra dietética, en general, tiene propiedades tales como: disminución del tiempo de tránsito intestinal, reduce el nivel de colesterol total y/o colesterol LDL y los niveles de glucosa postprandial y de insulina (Chaplin, 2003). La fibra soluble forma una dispersión en agua que conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal que tienen la propiedad de retardar la evacuación gástrica, puede ser saludable en algunos casos, haciendo más eficiente la digestión y absorción de alimentos y generando mayor saciedad. Este tipo de fibra es altamente fermentable y se asocia con el metabolismo de carbohidratos y lípidos (De la Llave, 2004). La fibra insoluble aumenta el volumen de las heces hasta 20 veces su peso, debido a su capacidad de retención de agua, y se relaciona con la protección ante trastornos digestivos, como estreñimiento y constipación (Blackwood *et al.*, 2000)

1.2.2 Pentosanos

Los pentosanos son carbohidratos complejos altamente ramificados y de alto peso molecular que incluyen los arabinoxilanos y arabinogalactanos. La función

principal de los arabinoxilanos en las plantas es la de proveer soporte estructural a las paredes celulares como aglutinante de las fibras de celulosa (Carpita y Gibeaut, 1993).

En el grano de trigo, la concentración de pentosanos varía dependiendo del cultivar y el tejido del grano del que se trate, constituyendo el 20-27% de la aleurona, el 23-32% del salvado y el 2-4% del endosperma (Pomeranz, 1988). Su estructura general (Figura 3) es un esqueleto central de xilosas unidas por enlaces β -(1-4) con un residuo simple de D-arabinosa en el C-3 o en los C-2 y C-3 (Wang *et al.*, 2006) por lo que la relación arabinosa/xilosa es variable. Se pueden encontrar ácido ferúlico unido al carbono cinco (C(O)-5) de la arabinosa mediante una unión tipo éster (Bagdi *et al.*, 2017; Fausch *et al.*, 1963). Se ha asociado a los pentosanos con efectos beneficiosos para la salud en pacientes con alteración de la tolerancia a la glucosa (García *et al.*, 2006).

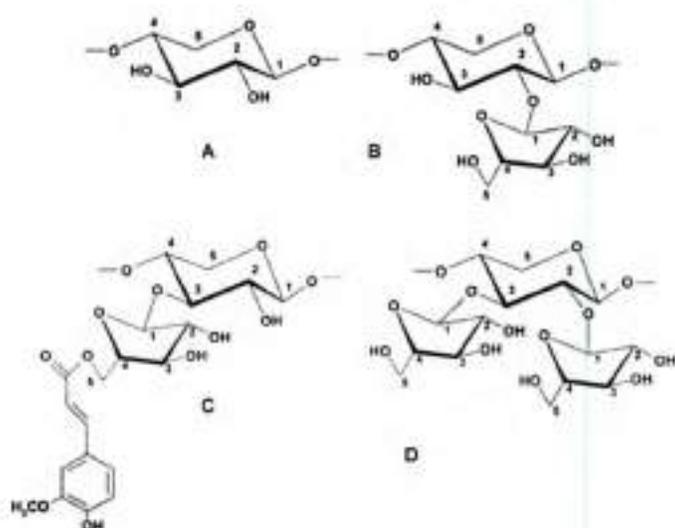


Figura 3. Elementos estructurales de los arabinoxilanos. (A) Residuo de D-Xilosa no sustituida. (B) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-2 con un residuo de D-arabinosa. (C) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-3 con un residuo de D-arabinosa que tiene unido al C(O)-5 una molécula de ácido ferúlico. (D) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-2 y C(O)-3 con residuos de D-arabinosa.

Los arabinoxilanos constituyen una fracción de la fibra dietética que tiene múltiples efectos sobre el sistema digestivo humano, estimulando el desarrollo de bacterias probióticas del microbioma intestinal (Crittenden *et al.*, 2002). Han demostrado, también, tener potentes efectos sobre la respuesta inmune

innata y adquirida en ratones (Cao *et al.*, 2011). Los arabinoxilanos aumentan significativamente el potencial de activación de linfocitos T y B, como así también, la inmunidad humoral y mediada por células en ratones portadores de tumores (Akhtar *et al.*, 2012).

1.2.3 Lípidos

El grano de trigo contiene una cantidad relativamente pequeña de lípidos con diferente estructura química y composición. Entre los ácidos grasos constituyente de los lípidos del trigo se encuentran mayoritariamente el ácido linoleico y, en menor cantidad, el ácido palmítico, oleico y linolénico (Prabhasankar y Rao, 2001; Eliasson y Larsson, 1993).

Se almacenan principalmente en el germen y la capa de aleurona, mientras que los fosfolípidos y glucolípidos se encuentran en el endosperma. Se pueden encontrar libres o unidos a otro constituyente de la harina, como el almidón y las proteínas. Los lípidos asociados al almidón comprenden en gran parte a los fosfolípidos que forman complejos de inclusión con la amilosa durante la gelatinización del almidón, sin embargo, estos complejos también se encuentran en el almidón nativo del cereal (Doblado-Maldonado, *et al* 2012; Morrison *et al.*, 1993).

Durante el desarrollo de la masa panaria, los lípidos que se encuentran libres se asocian a las proteínas del gluten mediante interacciones específicas, modificando las propiedades reológicas de la masa. En particular, los lípidos polares (especialmente los glicolípidos) pueden promover tanto interacciones hidrofóbicas como hidrofílicas entre el gluten y el almidón (Goesaert *et al.*, 2005; Matsuo *et al.*, 1986).

1.2.4 Proteínas

Osborne (1907) fue el primero en separar sistemáticamente las proteínas del trigo en cuatro fracciones, basándose en las diferencias de solubilidad: llamando albúminas a las proteínas solubles en agua, globulinas a las proteínas solubles

en soluciones salinas diluidas, gliadinas a las solubles en alcohol y gluteninas a las solubles en soluciones ácidas o básicas diluidas (Ortiz-Martinez *et al.*, 2017). Chen y Bushuk (1970) revelaron que sólo una parte de las gluteninas son solubles en ácido acético diluido, y así diferenciaron dos fracciones proteicas: una soluble y una insoluble. Posteriormente, Orth y Bushuk (1972) encontraron una correlación positiva entre la cantidad de gluteninas insolubles en ácido acético y el volumen de pan, por lo que esta fracción se transformó en la clave para explicar diferencias en la fuerza de la masa y en la calidad panadera (Khan y Bushuk 1979). El uso de detergentes y solventes orgánicos permitió una mejor separación concluyendo que la insolubilidad de las proteínas era debido al tamaño y al alto grado de polimerización de los agregados proteicos (Graveland *et al.*, 1980).

De acuerdo a la funcionalidad, estas proteínas se pueden clasificar en dos grandes grupos, las proteínas capaces de formar el gluten y aquellas que no lo forman (van den Broeck *et al.*, 2009; Pomeranz, 1971).

Las proteínas que no forman gluten representan entre un 15-20% del total de las proteínas del trigo, son solubles en soluciones salinas diluidas, por lo tanto, corresponden a las albúminas y globulinas del fraccionamiento de Osborne. Son proteínas monoméricas, metabólicamente activas y/o estructurales que se ubican en las capas más externas del grano de trigo. Su función en la panificación no está clara aún (Veraverbeke y Delcour, 2002). Estas proteínas poseen un buen balance de aminoácidos, contienen proporciones relativamente altas de lisina, triptófano y metionina; tres aminoácidos que se encuentran en baja proporción en la mayoría de los cereales.

Las proteínas formadoras de gluten, que son las proteínas de almacenamiento del grano (van den Broeck *et al.*, 2009; Kasarda *et al.*, 1976), constituyen la mayor parte del total de las proteínas del trigo (80-85%) y sirven como fuente de nitrógeno durante la germinación de la semilla (Larroque *et al.*, 2000; Ng y Bushuk, 1987). Se encuentran en el endosperma del grano de trigo maduro, donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas del gluten son insolubles en agua o en soluciones salinas diluidas y pueden ser divididas en dos grupos de acuerdo con su funcionalidad: las gliadinas monoméricas y las gluteninas poliméricas (extraíbles o no extraíbles).

La composición de aminoácidos de las gliadinas y de las gluteninas es similar, se caracterizan por tener altas concentraciones de glutamina (un tercio o más del residuo total de aminoácidos) y de prolina (una séptima parte o más del residuo total de aminoácidos). En general, se considera que las gliadinas son las responsables de la viscosidad del gluten, mientras que las gluteninas son las encargadas de conferirle fuerza y elasticidad (Khatkar *et al.*, 2002; Hosenev, 1994^a).

Las gluteninas se encuentran formando agregados proteicos, unidos por puentes disulfuro (S-S) y fuerzas no covalentes intermoleculares. Luego de la reducción de los puentes disulfuros las subunidades de gluteninas resultantes poseen una solubilidad en alcohol similar a las gliadinas y pueden ser divididas en dos tipos: las subunidades de alta masa molecular (HMW-GS) y las subunidades de baja masa molecular (LMW-GS) (Shewry *et al.*, 1992, Wieser *et al.*, 2003). Las HMW-GS están asociadas a la calidad panadera de los cultivares de trigo.

Las gliadinas son mayormente proteínas monoméricas ricas en glutamina y prolina, y además poseen un bajo nivel de aminoácidos cargados. Constituyen un tercio de las proteínas de la harina y son clasificadas en α -, β -, γ - y ω -gliadinas en base a su movilidad en electroforesis a pH ácido (Hurkman *et al.*, 2007; Shewry *et al.*, 1986). Estas proteínas poseen una masa molecular entre 30-80 kDa y están formadas por un dominio no repetitivo rico en estructura secundaria α -hélice y por un dominio repetitivo heterogéneo rico en estructura espiral β (Wieser, 2006; Tatham, 1995).

La calidad y cantidad de proteínas del gluten determinan la fuerza de la masa; en general, los trigos duros tienen altos contenidos proteicos y gluten fuerte por lo que son utilizados para la elaboración de pan, mientras que los trigos blandos con gluten débil y bajo contenido de proteínas son preferidos en la elaboración de galletitas, donde no es deseable el desarrollo de la red de gluten (Capbell *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 1994; Gaines, 1991).

Es deseable un mayor contenido de gluten para el proceso de panificación (Day *et al.*, 2006). La calidad del gluten puede determinarse por diferentes pruebas o ensayos. La elección de un método determinado está influida por muchos factores como, por ejemplo, la clase de trigo (Gaines *et al.*, 2006). Los valores que se obtienen en la determinación del mismo son los porcentajes de gluten húmedo (%GH) y de gluten seco (%GS), así como el índice de gluten (IG) que hace referencia a la calidad del mismo, tratándose de un gluten débil cuando se obtiene valores cercanos al 0% y de un gluten fuerte si se encuentran alrededor del 100%. En las muestras de gluten más débiles, la proporción que atraviesa la malla durante la centrifugación es mayor que en las de gluten más fuerte, dando valores menores de IG, pudiendo estimarse así su calidad (Pertin, 1990). El contenido de gluten de una muestra de harina es de suma importancia para evaluar la posible calidad final del producto a elaborar, ya que se espera que se forme una red extensible y elástica de buena calidad en el caso de la elaboración de pan, y que la misma no sea tan fuerte en el caso de la producción de galletitas (Campbell *et al.*, 2001).

1.2.5 Estructura del gluten

Las proteínas que integran el gluten se encuentran localizadas en cuerpos proteicos en el endosperma del grano; durante el amasado se produce la ruptura de estos cuerpos y su hidratación, formando una red tridimensional continua en donde se encuentra embebido el almidón. Las interacciones de tipo covalentes y no covalentes entre los polipéptidos más grandes que forman la masa producen una matriz elástica y extensible. La composición de aminoácidos de las proteínas del gluten muestra que aproximadamente la mitad de los constituyentes son glutamina y prolina, por lo que hay gran cantidad de puentes de hidrógeno en el sistema. Otro aporte importante son las interacciones hidrofóbicas, ya que aproximadamente el 35% de los aminoácidos poseen cadenas laterales de naturaleza hidrofóbica (Hoseney 1994c). En la figura 4 se presenta un esquema de la estructura del gluten (Shewry *et al.*, 2001), en el cual las gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) forman la columna vertebral del polímero y se encuentran unidas entre sí a través de puentes disulfuro

intermoleculares ubicados en los extremos. Esta columna vertebral de gluteninas de alto peso molecular sirve de base para que se unan a ella las subunidades de bajo peso molecular (LMW-GS) mediante puentes disulfuro formando puntos de ramificación. Las gliadinas, consideradas tradicionalmente por contribuir a la viscosidad del gluten, interactúan principalmente con los polímeros de gluteninas mediante interacciones no covalentes. En el dominio central de las HMW-GS ocurren fuertes interacciones puentes de hidrógeno probablemente entre las amidas de los residuos de glutamina. Estas interacciones son muy importantes porque contribuyen a la viscoelasticidad de la masa (Cornish *et al.*, 2001; Belton, 1999).



Figura 4. Esquema general de la estructura de la red de gluten (S-S: puente de disulfuro, gli: gliadinas).

1.3 ENSAYOS DE PREDICION DE LA CALIDAD DE HARINAS

La evaluación de la calidad de la harina es de gran importancia para la industria del trigo. La elaboración del producto se considera el método más preciso en la evaluación de la calidad (Hoseney, 1994), sin embargo, en programas de mejoramiento de cultivo solo pequeñas cantidades de muestras están disponibles y la información relacionada con la calidad de la harina es requerida de inmediato. Por este motivo, se evalúan los atributos de calidad, mediante pruebas predictivas que se pueden realizar fácilmente y emplean sólo unos pocos gramos de muestra (Colombo *et al.*, 2008). Las variaciones en los niveles y las propiedades de los componentes de la harina resultan en productos finales de calidad diferente. Además de la calidad intrínseca del trigo, su almacenamiento y molienda, y las características de almacenamiento de la harina afectan la funcionalidad de la misma (Delcour y Hoseney, 2010; Webb y Owens, 2003).

1.3.1 Índice de Sedimentación en dodecilsulfato de sodio (SDS)

El índice de sedimentación en SDS (IS-SDS) mide el volumen de sedimentación de una suspensión de harina en un solvente de ácido láctico-SDS, y está relacionado con el hinchamiento de las gluteninas (Rasper & Walker, 2000). A mayor cantidad de gluten, y capacidad de formación de la red, mayor capacidad tiene la harina de embeberse en el solvente e hincharse (Campbell *et al.*, 2001). El agregado de un detergente (SDS) facilita la ruptura de las células del endosperma y la dispersión de las proteínas, ayudando a la formación de la red. Ha sido considerado un buen indicador de las propiedades de panificación de la harina (Axford *et al.*, 1979; Dick y Quick, 1983), relacionándose un alto IS-SDS con harinas de buena calidad para la elaboración de panes. Además, ha demostrado ser una herramienta adecuada para la selección del trigo en los programas de cultivo (Carter *et al.*, 1999). Sin embargo, esta prueba también ha

sido cuestionada porque está fuertemente influida por el contenido total de proteína de la harina (Wang *et al.*, 2004; Dick y Quick, 1983).

1.3.2 Índice de Retención de Agua Alcalina

El índice de retención de agua alcalina (IRAA) determina la cantidad de solución de carbonato de sodio retenidos por muestras de harina después de la centrifugación (Método 56-10, AACC, 2000). Se relaciona con la capacidad de una harina de retener agua en condiciones de alcalinidad, simulando lo que sucede en las masas de galletitas por el agregado de bicarbonato de sodio como agente leudante. La prueba se usa para evaluar la calidad de las harinas de trigo y para distinguir entre trigo blando y duro (Gaines, 2000; Slade y Levine, 1994). Este índice correlaciona negativamente con la capacidad de expansión de la galletita durante el horneado, y se utiliza para predecir la calidad de la harina para la elaboración de galletitas dulces (Campbell *et al.*, 2001), cuyas masas son ligeramente alcalinas debido a los agentes leudantes. Mayores valores de IRAA se asocian con harinas de pobre calidad para la elaboración de galletitas, por este motivo, se seleccionan para la elaboración de galletitas harinas cuyos valores de IRAA son bajos (Yamazaki y Lord, 1971). Su capacidad predictiva, sin embargo, disminuye cuando se usa para discriminar trigo perteneciente al mismo grupo de dureza (Campbell *et al.*, 2001; Kitterman y Rubenthaler, 1971).

1.3.3 Capacidad de Retención de Solventes

La prueba de capacidad de retención de solventes (SRC) constituye un método que determina la capacidad de la harina para retener un conjunto de cuatro solventes (agua destilada, ácido láctico al 5%, sacarosa al 50% y carbonato de sodio al 5%) (Rochia *et al.*, 2006). La técnica se parece a la prueba de IRAA, pero proporciona más información (Guttieri and Souza 2008; Ram y Singh, 2004), ya que cada solvente se relaciona con distintos componentes de la harina y estima la calidad de esta para elaborar distintos productos de panificación. El

SRC de ácido láctico se asocia con las características de las gluteninas; el SRC de carbonato de sodio se asocia con los niveles de almidón dañado; el SRC de sacarosa se asocia con el contenido de pentosanos y el SRC de agua con todos los componentes de la harina capaces de absorber agua (Roccia *et al* 2006; Ram and Singh 2003; Guttieri *et al* 2001; Gaines, 2000).

1.4 GALLETITAS

El consumo de galletas es tradicional en Argentina, y por eso integran la canasta básica de alimentos (específicamente se incluyen las galletitas de agua y las dulces sin relleno). La producción argentina de galletitas dulces se mantiene por encima de las saladas: 60% y 40%, respectivamente (Samela, 2011).

En los últimos 10 años el consumo interno de galletitas creció fuertemente, alcanzando en la actualidad un consumo per cápita de entre 12 y 13 kg anuales. La categoría galletitas es la segunda más grande del mercado de productos de consumo masivo en la Argentina, ya que son consumidas en el 97% de los hogares. Según la Guía Alimentaria para la población argentina del Ministerio de la Nación, el consumo aparente de galletitas y bizcochos en el período enero - noviembre de 2012 fue de un promedio de alrededor de 827 g mensuales, por habitante.

Al hacer referencia a galletitas dulces, denominadas a nivel mundial como *cookies* o *biscuits*, se refiere a productos formulados principalmente a base de harina, azúcar y grasa; con un bajo contenido de humedad (1-5%) (Chevallier *et al.*, 2002). La cantidad elevada de azúcar y grasa en la masa condiciona el desarrollo de la red de gluten, observándose un mínimo desarrollo de la misma.

Manley (2000) describe a la estructura de la masa de galletitas como una mezcla de partículas de proteínas y almidón con la grasa, que está presente en forma de grandes glóbulos o bloques, interconectados en una solución de azúcar. La estructura de la masa va a depender de la proporción de sus componentes; en las formulaciones con grandes contenidos de grasa, esta última va a formar una fase continua; y en las de bajo tenor graso se presentará de forma mucho más dispersa (Manley 2000; Baltasvias *et al.*, 1999). Luego de mezclar los ingredientes, la masa suele dejarse reposar por un período de tiempo (al menos 30 minutos), durante el cual las proteínas y el almidón absorben el agua en forma pasiva produciendo un "secado" de la masa que facilita su posterior laminado y corte.

Por último, durante el horneado, la masa se expande debido a la evaporación del agua y a los gases liberados por los leudantes químicos (Chevallier *et al.*,

2000). Miller y Hosney (1997) demostraron que durante el horneado las galletitas incrementan su diámetro de manera lineal durante un tiempo y luego se fija su estructura de manera repentina. La expansión de la galletita es causada por dos factores: la liberación de gases por parte de los leudantes químicos y la disminución de la viscosidad provocada por la fusión de la grasa y la disolución del azúcar (Hosney y Rogers, 1994). El diámetro final de la galletita estará controlado por la velocidad de expansión y del tiempo en el que ocurra la fijación de la estructura (Hosney y Rogers, 1994; Miller y Hosney, 1997). Este tiempo lo determinará la cantidad de agua que se encuentre libre en la masa para actuar como solvente y la fuerza de la masa (Ram y Singh, 2004); por lo que también se podría afirmar que los componentes de la harina capaces de ligar agua juegan un importante rol en el desarrollo de la galletita. Para elaborar galletitas, tortas y otros productos que no requieren de un desarrollo importante de la red de gluten se prefieren harinas de trigo blando (Abboud *et al.*, 1985). Resulta importante destacar que, como se mencionó anteriormente, en la Argentina no se utiliza el trigo blando en la elaboración de las mismas, si no que se hace uso de trigos duros con el agregado de diferentes aditivos que debilitan la red de gluten para su efectiva elaboración.

El C.A.A. define a las galletitas en el Capítulo IX: "Alimentos Farináceos-cereales, harinas y derivados":

Art. 760: "Con la denominación genérica de Galletitas y Bizcochos (Cakes, Crackers, Biscuits, etc.), se entienden numerosos productos a los que se les dan formas variadas antes del horneado de una masa elaborada a base de harina de trigo u otras o sus mezclas, con o sin agentes químicos y/o biológicos autorizados".

Las galletas o galletitas comerciales pueden ser dulces o saladas. Las dulces a su vez se dividen en secas, rellenas u obleas. Mientras que como saladas se identifica a las crackers, las galletas de agua y las crackers saborizadas. Las galletitas dulces se elaboran a partir de trigos poco tenaces y se caracterizan por tener altos niveles de azúcar y grasa y un bajo contenido de humedad. Pueden identificarse los siguientes tipos básicos de galletitas dulces industriales (Lezcano, 2011b):

- Dulces secas
- Dulces tipo "maría"
- Dulces variedades
- Dulces rellenas
- Obleas (generalmente rellenas, también pueden estar bañadas y asociarse más a una golosina)

1.4.1 Parámetros de Calidad Galletitera

La calidad galletitera puede ser resumida en dos términos generales. El primero es el tamaño de la galletita, tanto el diámetro o el ancho como la altura. Se prefiere una galletita delgada y de buen diámetro. El segundo es su textura o consistencia a la mordida. Las galletitas de buena calidad resultan tiernas a la mordida (Perry *et al.*, 2003; Hosenev, 1994). La dureza es una indeseable característica de las galletas, mientras que la fracturabilidad se puede considerar una característica sensorial agradable si no se vuelve extrema (Zoulias *et al.*, 2000).

El ingrediente principal de una galletita es la harina, proporcionando la matriz sobre la cual se van a incorporar los demás ingredientes para formar la masa. Los trigos de textura blanda tienen propiedades únicas que los hacen aptos para la producción de galletitas. Sus harinas tienen un menor contenido de proteínas, gluten más débil, menor capacidad de absorber agua, menor contenido de almidón dañado y una granulometría más fina que las harinas de trigos duros (Barrera *et al.*, 2013; Tanilli, 1976). En trigos blandos la adhesión entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es menor que en trigos duros, por lo que muchos gránulos permanecen intactos durante el proceso de molienda, produciendo menor contenido de almidón dañado. Diferentes trabajos han demostrado que la elaboración de galletitas con trigos duros produce una

disminución en la calidad (Moiraghi *et al.*, 2012), obteniendo galletas que se expanden poco durante el horneado con una alta firmeza (Barrera *et al.*, 2013).

Las galletitas elaboradas a partir de trigos blandos tienen una mejor apariencia y textura, y resultan más tiernas que las elaboradas a partir de trigos duros (Wade, 1988; Hosney y Rogers, 1994). Asimismo, se sabe que las galletitas de trigos blandos se expanden a mayor velocidad y fijan su estructura más tarde, durante el horneado, que las elaboradas con trigos duros (Doescher *et al.*, 1987; Miller y Hosney, 1997). Esto es así dado que las masas obtenidas con harinas de trigos duros incrementan su viscosidad más rápidamente y a menores temperaturas durante el horneado que las masas elaboradas con trigos blandos (Wade, 1988).

El contenido de agua es un parámetro muy importante a tener en cuenta durante la elaboración de galletitas, ya que un exceso de agua produce masas pegajosas que dificultan su laminado y recorte, que deben ser horneadas por más tiempo para evaporar el exceso de humedad, aumentando los costos de energía (Ram y Singh, 2004; Bushuk, 1998). Además, una baja absorción de agua por parte de la harina provoca una mayor absorción por parte del azúcar, incrementando la formación de jarabe y produce una disminución en la viscosidad de la masa durante el horneado, haciendo que la masa se expanda y se obtengan galletitas de mayor diámetro (Slade y Levine, 1994). La composición química de la harina va a determinar la cantidad de agua óptima para la elaboración de galletitas, ya que sus componentes tienen diferente capacidad de absorber agua.

1.5 PAN

El pan es una mezcla de harina, agua, sal y levadura que se amasa hasta obtener una masa extensible y cohesiva capaz de retener los gases de la fermentación (Morita *et al.*, 2002_a). Es un producto leudado obtenido gracias a la fermentación de los azúcares presentes en producto de la hidrólisis del almidón por la acción de las enzimas naturales de la harina. Durante la fermentación los gases son generados como parte de la actividad metabólica de las levaduras (Bloksma, 1990). Muchos microorganismos pueden fermentar azúcares para producir CO₂, pero el organismo que mejor funciona en masas es el *Saccharomyces cerevisiae*. Los principales productos de la fermentación son, en este caso, el CO₂ y el etanol, resultado de una serie de reacciones controladas por enzimas. El dióxido de carbono es el responsable del aumento de volumen de la masa, mientras que el alcohol ayuda a producir el aroma complejo de los productos horneados. Diferentes tecnologías de panificación fueron desarrolladas para responder mejor a las nuevas demandas de la industria (Decock y Cappelle, 2005).

El C.A.A. define panes en el Capítulo IX: "Alimentos Farináceos- cereales, harinas y derivados":

Artículo 725 – (Resolución Conjunta SPReI y SAV N° 1 – E/2017)

Con la denominación genérica de Pan, se entiende el producto obtenido por la cocción en hornos y a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adición de sal con o sin la adición de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios

Artículo 726

Con la denominación de Pan, Pan blanco, Pan francés, o Pan tipo francés, se entiende el producto obtenido por la cocción de una masa hecha con harina, agua potable y sal en cantidad suficiente, amasada en forma mecánica y fermentada por el agregado de masa agria y/o levaduras.

Debe responder a las siguientes características: miga porosa, elástica y homogénea, corteza de color uniforme amarillo-dorado. Ser de olor y sabor agradables. No deberá contener más de 3,25% de cenizas totales calculadas sobre substancia seca.

Este producto se rotulará:

- Pan,
- Pan blanco,
- Pan francés o
- Pan tipo francés.

Artículo 736

Con la denominación de Pan negro con grasa o Pan integral con grasa, se entiende el producto elaborado en la misma forma que el pan integral, pero con el agregado al amasijo de 4% a la mezcla de harinas, de grasa comestible o manteca.

Este producto se rotulará:

- Pan integral con grasa o
- Pan integral con manteca,

según sea el agregado.

Artículo 737

Con la denominación de Pan de Graham, se entiende el producto obtenido por la cocción de una masa fermentada espontáneamente, obtenida en forma

mecánica por la mezcla exclusivamente de harina de Graham gruesa y agua potable, pudiendo agregarse hasta 3% de grasas comestibles. Este producto terminado no deberá contener más de 2% de cenizas totales.

Este producto se rotulará: Pan de Graham.

Se considera falsificación expender como Pan de Graham un pan negro o integral.

La calidad del pan depende fuertemente de las características y propiedades de la masa que se forma (Campbell *et al.*, 2001). Se espera que la red sea lo suficientemente fuerte y tenaz como para resistir la expansión que genera el CO₂ durante la fermentación, pero a su vez elástica y flexible, para obtener una miga esponjosa y homogéneamente alveolada (Morita *et al.*, 2002a). Durante la cocción de las masas panarias, los eventos más importantes que dan origen a las características del producto final son el incremento de volumen de las piezas, la formación de la corteza, la inactivación de enzimas y levaduras, la coagulación de las proteínas y la gelatinización parcial del almidón (Pylar, 1988).

1.5.1 Parámetros de Calidad del Pan

En la producción de pan se busca obtener un producto de gran volumen y de miga tierna, esponjosa y con una estructura uniforme. También resulta de gran interés la textura de pan, parámetro que se relaciona directamente con la aceptación del consumidor (Van Huang *et al.*, 2007). La corteza tiene que ser crujiente a la mordida y, por el contrario, la miga debe de ser esponjosa, suave y elástica, y poseer una estructura porosa y aireada (Cauvain y Young, 2000). El color de la corteza de pan también es un atributo importante dentro de las preferencias del consumidor. En general, la corteza de pan se caracteriza por tener baja humedad y un color tostado-pardo, el cual es resultado de las reacciones de Maillard y de caramelización que tienen lugar durante la cocción.

Las características externas frecuentemente evaluadas en panes y relacionadas con su calidad son: dimensiones del producto, volumen, apariencia, color y formación de la corteza. Mientras que las internas son: distribución, tamaño y número de alveolos de la miga, color y textura (Cauvain y Young 1998). El volumen específico o razón entre el volumen y el peso, es un parámetro de calidad que indica si la fermentación fue suficiente o si se suscitaron problemas en la formación de la red de gluten (Campbell *et al.*, 2001).

En la actualidad, a pesar de que las propiedades organolépticas y la calidad de los productos derivados de granos son menores que las de los panificados elaborados con harinas refinadas, existe una demanda creciente de estos, debido a su mayor valor nutricional y su efecto benéfico sobre la salud. Esta es una de las razones por las que se ha extendido el uso de este tipo de harina en la elaboración industrial, sumado a la menor vida útil de las harinas integrales por enranciamiento favorecido por los ácidos grasos que se encuentran en el germen del trigo, y la baja producción por parte de los molinos. Además, los panes y galletas que se ofrecen en el mercado son productos con salvado que no son elaborados a partir de harina de trigo integral, sino a partir de harina refinada con agregado de salvado de trigo u otros cereales en distintas proporciones, por lo que estos productos no contienen ni todos los componentes, ni en las proporciones en las que estos se encuentran en el grano entero.

Por otro lado, es ampliamente conocido que las características del genotipo, en especial en lo que respecta a las propiedades del gluten, están fuertemente asociadas a la calidad del pan. El salvado, especialmente las partículas más pequeñas, tiene un efecto negativo sobre el volumen del pan (Zhang y Moore, 1997; Onwulata *et al.*, 2002). El contenido de fibra y minerales, así como las propiedades fisicoquímicas del salvado varían de acuerdo al cultivar (Greffeuille *et al.*, 2006). Además, el contenido de componentes bioactivos, como fibra, minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes, es afectado por el genotipo de trigo; mientras que la biodisponibilidad puede verse afectada tanto por la proporción relativa entre ellos (por ejemplo, entre fibra, proteínas y minerales) como por la estructura del producto.

Teniendo en cuenta lo expuesto se desprende la siguiente hipótesis:

El comportamiento de los cultivares de trigo en la elaboración de panes y galletitas a partir de harinas refinadas, no puede aplicarse como criterio para predecir su desempeño en la elaboración de productos integrales. El contenido de fibra dietaria presente en las harinas integrales es afectado por el genotipo de trigo.

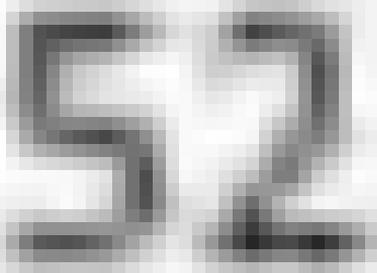
50

OBJETIVO GENERAL

Se propone estudiar las propiedades fisicoquímicas de las harinas integrales obtenidas a partir de las variedades de trigo blando y duro seleccionadas y la calidad de los panes y galletitas elaborados a partir de ellas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Estudiar la composición fisicoquímica de las harinas integrales provenientes de las líneas de trigo blando y duro seleccionadas.
- 2- Determinar el contenido de fibra y de arabinoxilanos de harinas integrales de las líneas de trigo seleccionadas
- 3- Evaluar la calidad tecnológica de los panes y las galletitas elaborados con harina integral.
- 4- Estimar la capacidad de los ensayos de calidad de harinas para predecir el comportamiento de las harinas integrales.



MATERIALES Y MÉTODOS

51

2.1 MATERIAL VEGETAL

Se trabajó con 9 cultivares de trigo pan: CRONOX, KLEIN YARARA, KLEIN GUERRERO, ANIVERSARIO 75, BIOINTA 3004, BAGUETTE 11, ACA 315, ACA 320, LE 2330, y 12 líneas de trigo blando: PM 647, 650, 663, 673, 679, 681, 682, 686, 687, 690, 691 y 692, obtenidas del INTA Marcos Juárez.

Los cultivares de trigo pan (duros) seleccionados corresponden a las variedades de mayor superficie cultivada en nuestro país en las últimas 3 campañas (2011-2012 y 2013). Las líneas experimentales de trigo blando se seleccionaron de acuerdo a su calidad galletitera (Moiraghi *et al.*, 2011). Se acondicionaron los granos a un porcentaje de humedad del 15% y se molieron en un molino de rodillos (AG AQC 109, Agromatic, Suiza) al cual se le removieron los tamices para obtener harina integral. Las harinas se almacenaron a -20 °C para evitar la degradación lipídica (Doblado-Maldonado *et al.*, 2011).

Las harinas integrales obtenidas a partir de las líneas experimentales de trigos blandos se tamizaron con tamiz de malla 60 mesh para la obtención de harina refinada, separando el salvado y las partículas de mayor tamaño, para obtener harina blanca.

Los granos de las líneas experimentales de trigo blando fueron también molidas, para la obtención de harina integral, utilizando un molino ciclónico (Cyclotec™ 1093; Foss, Dinamarca) sin acondicionamiento previo. De esta manera, se obtuvo harina de grano entero cuyas partículas atravesaron el tamiz del molino, con una malla de 0,5 mm (rango de tamaño de partícula menor a 500 µm). Las harinas de cada genotipo fueron identificadas y almacenadas a 4 °C hasta su análisis químico.

2.2 TAMAÑO DE PARTICULA DE LAS HARINAS

La distribución de tamaño de partículas de las harinas se determinó con un analizador de tamaño de partícula láser (LA-960, Horiba Instruments, EE.UU.) usando el muestreador para líquidos, y un índice de refracción de 1,4. Se midió el diámetro de las partículas de harina basado en la distribución de volumen, tomando el volumen de partícula medio (VMD) calculado usando la teoría de Fraunhofer. Se informaron los valores medios en μm , $d_v 10$, $d_v 50$, $d_v 90$ (el $d_v 10$ es el número que indica el % 10 del total de partículas cuyo tamaño es menor o igual al indicado; el $d_v 50$ es el el número indica el % 50 del total de partículas cuyo tamaño es menor o igual al indicado, y el $d_v 90$ es el número indica el % 90 del total de partículas cuyo tamaño es menor o igual al indicado) y span ($\text{Span} = [d_v 90 - d_v 10]/d_v 50$) de las muestras (HORIBA LA960 for windows [Wet] Ver2.20). Este último (span), proporciona el rango de separación entre el 10 por ciento y el 90 por ciento de los puntos, normalizados con el punto medio.

2.3 COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS HARINAS

2.3.1 Humedad

El contenido de humedad se determinó por diferencia de pesada en 2 g de harina exactamente medidos antes y después de calentar en estufa a 135 °C a presión atmosférica normal, durante 2 horas. Los resultados se expresaron como porcentaje de agua perdida (Método 44-19, AACC Internacional 2000).

2.3.2 Cenizas

La materia orgánica se incineró en mufla a 600 °C. (Método 08-12, AACC Internacional 2000).

2.3.3 Proteínas

La cuantificación se realizó por medio del método de Kjeldahl. Este se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en la muestra. Se realizó digestión de la muestra en ácido sulfúrico con sulfato sódico para aumentar el punto de ebullición y un catalizador para acelerar la reacción (sulfato de cobre). El amoníaco liberado luego se destiló y valoró por retroceso con ácido bórico titulando con HCl. (Factor de conversión: 6,25).

2.3.4 Gluten húmedo, seco e índice de gluten

Para la determinación de gluten húmedo, gluten seco, e índice de gluten se utilizó el método 38-10 de la AACC, 2000. Para el ensayo se utilizaron 10 g de harina, a las que se adicionaron 6,0 mL de agua destilada y se formó una masa que fue amasada durante 2 min. Esta masa se dejó reposar 1 hora en agua destilada a temperatura ambiente y luego se lavó bajo corriente de agua entre 12 y 15 minutos con una malla de 60 mesh debajo, hasta que todo el almidón y material soluble fue removido. El gluten obtenido se colocó nuevamente a reposar en agua destilada, y al cabo de una hora se centrifugó, y se tomó el peso del gluten que atravesó la malla de 60 mesh y el peso del gluten húmedo total para calcular el índice de gluten, y finalmente se secó en plancha eléctrica para el cálculo del gluten seco. Los porcentajes de gluten húmedo y seco se calcularon en base a harina con un 14% de humedad, mientras que el índice de gluten se expresó como una relación entre el peso de gluten que atravesó la rejilla y el gluten húmedo total.

$$\%GH = \frac{\text{peso gluten total} * 860}{100 - \%H}$$

$$\%GS = \frac{\text{peso gluten seco} * 860}{100 - \%H}$$

$$IG = \left[\frac{\text{peso del gluten total} - \text{peso de gluten que atravesó la malla}}{\text{peso gluten total}} \right] * 100$$

%H = porcentaje de humedad de la harina; %GH = porcentaje de gluten húmedo; %GS = porcentaje de gluten seco; IG = índice de gluten.

2.3.5 Materia grasa

Se utilizó el método 02-01A (AACC Internacional, 2000). La cuantificación se realizó liberando la materia grasa de la muestra por medio de una hidrólisis ácida y posteriormente se extrajo con éter etílico y éter de petróleo. Se pesaron 2 g de harina integral que se colocaron en tubos Mojonnier y se le agregaron 10 mL de la solución de HCl 25+11 (25mL de HCl con 11 mL de agua) colocándolo en un baño a 70-80 ° C por 30 minutos. Una vez a temperatura ambiente se le agregaron 10 mL de etanol 96% v/v, y se realizó la extracción con éter sulfúrico y éter de petróleo, recolectando el extracto en un balón previamente tarado. Este paso se repitió tres veces. Luego se evaporaron los solventes y se colocó en estufa a 103 °C hasta que el peso del balón llegó a ser constante.

2.3.6 Fibra Dietaria soluble e insoluble

Se utilizó el kit de Megazyme (total dietary fiber assay procedure it) y se siguió el método 32-07.01 de la AACC (2000). Se sometió 1 g de muestra a un proceso de digestión enzimática con α -amilasa, proteasa y amiloglucosidasa a diferentes temperaturas. Se filtró la fibra dietaria insoluble (IDF), empleando crisoles de 50 mL (Pyrex® Gooch, fritted crucibles, Sigma-Aldrich) lavando luego el residuo con agua destilada, etanol 95% y acetona, y se colocaron los crisoles en la estufa a 130°C. La solución de filtrado, junto con el agua destilada con la que se lavó, se precipitó con 4 volúmenes de etanol 95% precalentado por 1 hora y se aplicó el mismo proceso de filtrado y lavado obteniendo la fibra dietaria soluble (SDF). Luego de secar ambos filtrados, se les determinó cenizas y proteínas, lo cual se resta al residuo total obtenido para conocer el valor de fibra.

$$\%FD = \left[\frac{\left(\frac{R1 - R2}{2} \right) - A - P - B}{\frac{M1 - M2}{2}} \right] * 100$$

M1= peso de muestra 1; M2 = peso del duplicado; R1 = peso residuo M1; R2 = peso residuo M2; A = cenizas; P = proteínas; B(blanco) = $\left(\frac{BR1+BR2}{2} \right) - BP - B$

2.3.7 Pentosanos solubles y totales

La cuantificación de pentosanos totales y pentosanos solubles se determinó siguiendo el método del Orcinol-HCl con las modificaciones realizadas por Hashimoto *et al.*, (1987).

- Pentosanos totales (PT):

Se pesaron 10 mg de harina en tubos de hidrólisis de 15 mL a los cuales se adicionaron 2 mL de HCl 2 N. Se colocaron los tubos en baño de agua a ebullición por un lapso de 2,5 horas. Pasado este tiempo se dejaron enfriar y se neutralizaron con 2 mL de una solución de carbonato de sodio 2 N. Se agregaron 2 mL de una suspensión de levadura y se dejó fermentar durante 2 horas a 30 °C para eliminar los azúcares fermentables. Luego de este periodo se centrifugó a 1000 x g por 10 minutos. A 2 mL del sobrenadante se le aplicó el método del Orcinol-HCl, que consiste en agregar 0,1 mL de solución de orcinol al 1% en HCl concentrado. Los tubos se colocaron en baño de agua a ebullición durante 30 minutos y posteriormente se leyó su absorbancia a 670 nm. Se realizó una curva de calibración empleando soluciones estándar de xilosa (C₅O₅H₁₀) en agua de 80, 120, 160 y 200 µg / 3 mL, a las cuales se les aplicó también el método del Orcinol-HCl.

- Pentosanos solubles en agua (PS)

A las muestras de 100 mg de harina se le adicionaron 10 mL de agua destilada y se colocaron en baño de agua a 30 °C por 2 horas con agitación cada 30 minutos. Luego se centrifugaron a 1000 x g por 15 minutos. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se sometió a hidrólisis con 1 mL de HCl 4 N durante 2 horas a 100 °C. Transcurrido este tiempo se dejó enfriar y se tomó una alícuota de 1 mL a la cual se le aplicó el método del Orcinol-HCl. Se realizó además una curva estándar con soluciones de xilosa (C₅O₅H₁₀) en agua de 20, 40, 60, 80 y 120 µg/3 mL y se leyó su absorbancia a 670 nm.

- Pentosanos insolubles en agua (PI)

Se calcularon por diferencia entre los pentosanos totales y los pentosanos solubles

$$PI = PT - PS$$

2.4. ENSAYOS DE PREDICCIÓN

2.4.1 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)

Este índice se calcula como la cantidad de agua alcalina que es retenida por la harina al 14% de humedad luego de la centrifugación (Método 56-10, AACC, 2000). Se suspendió 1 g de harina en 5 mL de NaHCO₃ 0,1 N, se dejó hidratar durante 20 minutos, y luego se centrifugó a 700 x g durante 15 minutos. Se descartó el sobrenadante y se pesó el precipitado. El IRAA se calculó de la siguiente manera:

$$IRAA(\%) = \left[\left(\frac{PP}{PH} \right) \left(\frac{86}{100} - \%H \right) - 1 \right] * 100$$

PP = peso del precipitado; PH = peso de la harina, % H porcentaje de humedad

2.4.2 Perfil de capacidad de retención de solventes (micro-SRC)

La capacidad de retención de solventes (Método 56-11, AACC, 2000) es el peso ganado por la harina luego de la hidratación con distintos solventes: sacarosa 50% p/p, carbonato de sodio 5% p/p, ácido láctico 5% p/p y agua destilada; y el posterior centrifugado (Gaines, 2000; Guttieri *et al.*, 2001). Para realizar este test

en las harinas integrales se realizó el micro-método utilizado por Roccia *et al.*, (2006) y Bettge y Morris (2000). Se pesaron 200 mg de harina en tubos de centrifuga de 2 mL y luego se adicionó 1 mL de solvente y se dejó hidratar la harina durante 20 minutos con sucesivas agitaciones cada 5 minutos. Posteriormente las muestras se centrifugaron a 1000 x g durante 15 minutos, se descartó el sobrenadante y se dejó escurrir el tubo a 90° durante un lapso de 10 minutos. Por diferencia de peso se determinó la cantidad de solvente retenido obteniéndose el % SRC mediante la siguiente fórmula:

$$\%SRC = \left[\frac{PG}{PH} + \left(\frac{86}{100 - \%H} \right) - 1 \right] \cdot 100$$

PG = peso del gel; PH = peso de la harina; % H = porcentaje de humedad

2.4.3 Índice de Sedimentación en Dodecil Sulfato de Sodio (IS-SDS)

El índice de sedimentación en SDS (Sodium Dodecil Sulfate) se determinó de acuerdo a AACC 56-70, modificado según Dick & Quick (1988). Se pesó 1 g de harina en una probeta de 25 mL y se le agregó una solución de azul de coomassie, y de ácido láctico-SDS, luego de un periodo de agitación y de sedimentación se leyó el volumen expresado en cm³ que se observa en la probeta.

2.5 ELABORACION DE LOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

2.5.1 Elaboración de Galletitas

Para determinar la calidad galletitera de cada una de las harinas de grano entero en estudio se procedió a elaborar galletitas dulces según el Micro método III descrito por Finney y Barmore (1948) con las modificaciones realizadas en el por León *et al.*, (1996). Se utilizó la siguiente formulación: 60,00 g de harina, 27,00 g de azúcar impalpable, 20,20 g de margarina, 0,50 g de bicarbonato de sodio, 0,42 g de sal, 2,25 g de leche en polvo, 12 mL de agua.

Se mezcló el azúcar, la leche en polvo, la sal y el agente leudante; se agregó la margarina y se batió durante 2 minutos hasta obtener una crema. Luego, se incorporó el agua y se batió por 1 min más. Por último, se añadió la harina y se amasó durante 2 minutos. Con la masa obtenida se formó un cilindro de unos 10 cm de largo y se lo colocó entre dos varillas de madera (7 mm de alto) separadas entre sí por 5 cm. Se realizaron 12 pasadas con un palo de amasar, se cortaron cilindros de 45 mm de diámetro y se colocaron sobre una placa de horno. Las galletitas se hornearon a 200 ° C durante 10 minutos en horno convector (Beta 107 IPA – Pauna; Buenos Aires, Argentina), y luego se dejaron enfriar y almacenaron en bolsas cerradas durante 24 horas a temperatura ambiente. Luego de ese tiempo se les midieron los parámetros de calidad tecnológica.

2.5.2 Calidad de las galletas

2.5.2.1 Factor Galletita

Una galleta de buena calidad se define como un producto delgado, que se expande correctamente en el horneado, con una forma regular, tierna a la mordida, y que presente una superficie agrietada, producto de la evaporación del agua. Se determinó mediante la relación entre el diámetro y la altura de 4 galletitas tomadas al azar (León *et al.*, 1996). El mismo día de la elaboración,

una vez alcanzada la temperatura ambiente, se colocaron los 4 discos elegidos uno al lado del otro y se tomó el largo total (D1), luego se giró cada disco 90° y se volvió a tomar el largo total (D2), se colocaron luego los discos uno arriba del otro para tomar la altura total (A), y se calculó el valor del Factor galletita con la siguiente fórmula:

$$FG = \frac{\left[\frac{D1 + D2}{2} \right]}{A}$$

2.5.2.2 Textura de las galletas

La textura de una galletita es un parámetro muy importante a tener en cuenta a la hora de evaluar la aceptabilidad del consumidor. Uno de los parámetros más asociados a la calidad es la resistencia a la mordida, que se determina mediante la prueba de quiebre de tres puntos en la que se mide la fuerza aplicada hasta lograr la ruptura de la misma (Gaines, 1991).

Para evaluar la resistencia de las galletitas a la mordida se utilizó un texturómetro Instron modelo 3342 (Norwood, EEUU). Se colocó una galletita con una distancia de 4,5 cm entre los dos puntos de apoyo; y se realizó la compresión a una velocidad de 0,5 mm/s usando una sonda tipo HDP/3PB. La dureza se evaluó sobre 4 galletitas 24 horas después de la cocción.

2.5.2.3 Humedad de las galletas

La humedad de las galletitas se llevó a cabo a las 24 horas de la elaboración utilizando una balanza de humedad (OHAVs MB 45, Pinebrook, EEUU) en la cual se colocaron 3 g de la galleta molida a 130 °C donde se evapora toda el agua libre hasta peso constante de la muestra.

2.5.2.4 Color

Para medir el color en la superficie tanto de las galletitas como del pan, se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia Minolta 600d (Konica Minolta, Japón) de 8 mm de apertura, ángulo del observador 10° , iluminante D65. Los valores de color se expresaron en término de luminosidad (L), equilibrio entre rojo y verde (a), y equilibrio entre amarillo y el azul (b). Previamente se realizó la calibración del instrumento. Como medida objetiva del color se utilizó el sistema Cie-Lab (C.I.E., 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas L^* , a^* y b^* . Las magnitudes L^* , a^* , y b^* son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo para tratar de simular a los observadores reales (Joshi y Brimelow, 2002). La coordenada L^* recibe el nombre de luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas colorimétricas que forman un plano perpendicular a la luminosidad, siendo, a su vez, perpendiculares entre sí. El valor a^* es una medida de la intensidad de color rojo, en el desplazamiento sobre el eje a^* hacia valores positivos del punto acromático se observan los rojos y hacia valores negativos los verdes. El valor b^* es una medida de la intensidad de color amarillo, en el desplazamiento sobre el eje b^* hacia valores positivos del punto acromático se observan los amarillos y para valores negativos los azules (Figura 4). Los valores fueron tomados el mismo día de la elaboración, una vez que la galletita alcanzó la temperatura ambiente.

2.5.3 Elaboración del pan

Para la producción de pan de molde a partir de la harina de grano entero se utilizó la siguiente formulación (base 100% de harina): 1% de levadura liofilizada; 2,5% de azúcar, 1% de sal, 0,4% de SSL (estearoil lactilato de sodio) y agua de acuerdo a la cantidad absorbida según evaluación visual de la consistencia de la masa.

Se colocó la harina en una amasadora (Peabody SmartChef; Buenos Aires, Argentina) junto con la solución de sal, SSL y azúcar por 1,5 minutos a velocidad lenta (2), y luego se agregó la levadura previamente suspendida en agua, y se amasó por 1,5 minutos más. Por último, se dejó reposar la masa tapada con papel film por 15 minutos para que la harina integral absorba el agua agregada, y finalmente se amasó 8 minutos a máxima velocidad (4). La masa se llevó a la cámara de fermentación por 45 minutos y se le realizó un punch o desgasificado aplastando manualmente la masa de ambos lados, doblando luego por la mitad y aplastando nuevamente. Seguido a este proceso, la masa se pasó por la sobadora (Mi-Pan vroller - Mi-Pan; Córdoba, Argentina), se cortó en trozos de aproximadamente 150 g, que se colocaron en la armadora mecánica (Braesi MB 350; Caxias do sul, Brasil), de allí en el molde y se llevaron de nuevo a la fermentadora por 1,5 h. Se cocinaron a 220 °C por 15 minutos, y se explayó agua dentro del horno para evitar una desecación excesiva de las piezas. Se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y se procedió a la evaluación de su calidad tecnológica.

2.5.3 Calidad del pan

2.5.3.1 Color

La determinación se realizó de la misma manera que en las galletas, por triplicado tanto en la corteza como en la miga del pan obtenido a partir de las harinas de grano entero, obteniéndose 6 valores por muestra.

2.5.3.2 Volumen específico del pan

El volumen del pan se determinó por desplazamiento de semillas de colza de la pieza entera, una vez alcanzada temperatura ambiente después del horneado. El volumen específico se obtuvo dividiendo el volumen de la muestra por su peso.

2.5.3.3 Textura del pan

El perfil de textura de la miga de pan fue determinado usando un Texturómetro Instron modelo 3342 (Norwood, EEUU) bajo las siguientes condiciones: celda de compresión de 25 kg, velocidad del cabezal: 100 mm/min, deformación máxima: 40%, diámetro del émbolo de penetración: 25 mm.

Para el análisis de la textura de la miga, las piezas de pan fresco, 1 hora después de horneados, fueron guardadas en bolsas de polietileno y almacenadas a 25 ° C por 24 h. Cumplido este tiempo, dos hogazas de pan fueron cortadas en rodajas de 25 mm de espesor (2 rodajas de cada hogaza), descartándose los extremos de cada pan. El centro de cada rodaja de pan se sometió a dos ciclos de compresión - descompresión para obtener la curva de TPA (Análisis de Perfil de Textura) característica (Figura 5) a partir de la cual se obtuvieron los valores de firmeza. La dureza o firmeza es la fuerza máxima que tiene lugar, en cualquier tiempo, durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978). Definida también como la fuerza, en g fuerza o newton, necesaria para comprimir una rodaja de pan hasta un 40% del espesor original (Método 74-09, AACC Internacional 2000).

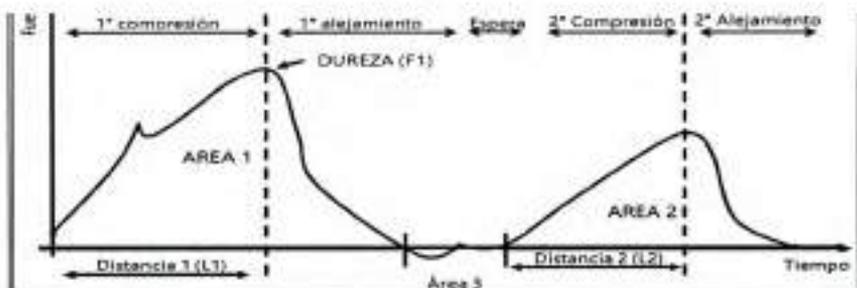


Figura 6. Curva de análisis de perfil de textura.

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron las determinaciones al menos por duplicado y se informaron las medias de estos resultados. Los datos obtenidos se trataron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y los resultados fueron comparados por el Método Fisher, a un nivel de significación del 0,05. Las correlaciones entre los parámetros medidos fueron evaluadas por el Método de Pearson y los valores de coeficiente de correlación informados se consideraron significativos con un $p < 0,05$ y/o $p < 0,01$. También se realizaron análisis de la varianza multivariado, comparando los resultados por el Método de Hotelling a un nivel de significancia del 0,05, así como regresiones lineales mediante el método de estimación de cuadrados mínimos. Estos análisis fueron realizados mediante el programa INFOSTAT (Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC; Córdoba, Argentina).

08

RESULTADOS Y DISCUSION



100

100

100

100

3.1 TAMAÑO DE PARTICULA DE LAS MUESTRAS DE HARINA

Hasta el momento no existen métodos estándares disponibles para la molienda de harina de trigo integral, lo que resulta en un rango de tamaño de partículas de salvado muy amplio y variado. La literatura sugiere que el tamaño de partícula de salvado moderado es el mejor para la producción de pan, mientras que el tamaño de partícula pequeño es mejor para aplicaciones sin gluten (Doblado-Maldonado *et al.*, 2012).

El tamaño de partícula (PSA) de una harina está relacionado con el grado de dureza de los granos y con el método de molienda utilizado. Los trigos de textura blanda ofrecen menos resistencia a la molienda y producen harinas con partículas más finas, mientras que las harinas provenientes de granos más duros poseen partículas de mayor tamaño (Pearson *et al.*, 2007; Glenn y Saunders, 1990). Esto significa que, si se someten a molienda distintos trigos bajo las mismas condiciones, las diferencias encontradas en el tamaño de partícula de sus harinas van a estar dadas por la dureza de los granos; con lo que el tamaño de partícula de una harina puede ser usado como un indicador de la dureza de estos. Así mismo, es esperable que harinas que difieren en sus tamaños de partículas muestren diferencias en cuanto a sus propiedades fisico-químicas (Wang y Flores, 2000).

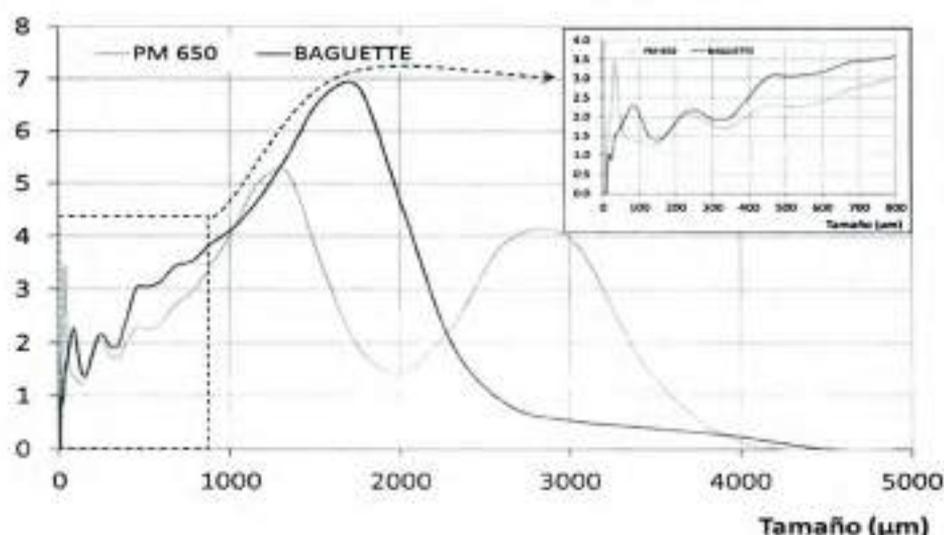


Figura 7. Distribución de tamaño de partícula de las harinas de grano entero de trigo. Con fines comparativos, se graficó una curva representativa de los cultivares de trigo duros (Baguette) y otra de trigo blando (PM 650). En el recuadro de la derecha se muestra en mayor tamaño la distribución del tamaño de las partículas menores a 800 µm.

En la Figura 7 se grafican dos curvas representativas de la distribución del tamaño de partícula de un cultivar de trigo duro (Baguette, línea roja) y uno de trigo blando (PM 650, línea amarilla). Para facilitar el análisis, se presenta un recuadro interno con las poblaciones de menor tamaño (0-800 μm). En general, la harina refinada presenta una distribución trimodal, con una primer moda alrededor de los 10 μm , la segunda entre 10-50 μm y la tercera, entre 50 y 300 μm (Kim *et al.*, 2004). En la Figura 7 se pueden observar otras poblaciones diferentes en el rango de 0 a 1000 μm , y a partir de este valor, se presenta una población de mayor tamaño para el trigo duro (aproximadamente 1800 μm), y dos para el trigo blando (aproximadamente en 1500 μm y 2800 μm). A simple vista pudo corroborarse que estas partículas correspondían a partículas de salvado o salvado unido a grandes porciones de grano. Las poblaciones menores a 1000 μm , por otro lado, corresponderían a partículas de endosperma (harina) y a partículas de salvado o germen más pequeñas. La heterogeneidad de la distribución del tamaño de partícula de estas harinas se corroboró macroscópicamente. Hemdane *et al* (2016) informo una media de tamaño de partícula de salvado determinado por tamizado de 222 μm , significativamente mayor a los resultados de las harinas integrales en este trabajo (866 μm).

El tamaño de partícula de las harinas integrales de trigo es un factor importante que afecta su funcionalidad y la calidad del producto (Kihlberg *et al.*, 2004). Se calcularon las medias de la distribución de tamaño de partícula, d_v 10, 50 y 90, y el span de las distintas muestras, (Tabla 1). En trabajos de Zhang (1997, 1999), se informaron tamaños de partícula similares a los cultivares que dieron los menores valores. Sin embargo, Noort *et al.*, (2009) informaron valores de salvado de trigo similares a los encontrados para las harinas de grano entero.

Tabla 1. Análisis del tamaño de partícula de las harinas integrales

MUESTRA	TIPO	Media (μm)	dv 10 (μm)	dv 50 (μm)	dv 90 (μm)	Span
PM 647	Blando	831 ghi	22 ab	531 bc	1038 abc	1,92 abc
PM 650	Blando	1082 j	22 abc	654 cd	2500 h	3,78 ij
PM 663	Blando	544 bcd	23 abcd	319 a	1225 bcd	3,77 ij
PM 673	Blando	738 efgh	32 ef	527 bc	1650 ef	3,07 defghi
PM 679	Blando	672 cdef	30 cdef	407 ab	1417 cde	3,42 fghij
PM 681	Blando	844 hi	22 ab	583 cd	1528 def	2,58 bcdefg
PM 682	Blando	455 ab	19 a	280 a	1199 bcd	4,23 j
PM 686	Blando	918 i	28 bcde	722 d	2101 gh	2,87 cdefghi
PM 687	Blando	2030 l	42 gh	2105 f	3665 ij	1,73 ab
PM 690	Blando	879 hi	28 bcde	635 cd	1882 fg	2,94 defghi
PM 691	Blando	905 i	29 bcdef	604 cd	1596 def	2,60 bcdefgh
PM 692	Blando	2361 m	45 h	3019 g	3862 j	1,26 a
BIOINTA	Duro	1640 k	55 i	1231 e	3358 i	2,77 cdefgh
LE 2330	Duro	680 defg	31 def	257 a	1399 cde	5,34 k
BAGUETTE	Duro	784 fghi	37 fg	517 bc	1693 ef	3,20 efghi
ACA 315	Duro	384 a	26 abcde	3501 a	840 ab	2,37 bcde
ACA 320	Duro	795 fghi	59 i	581 cd	1531 def	2,54 bcdef
K, YARARA	Duro	533 abcd	32 ef	311 a	1366 cde	4,28 j
CRONOX	Duro	521 abc	37 fg	330 a	1214 bcd	3,56 hij
ANIV 75	Duro	458 ab	30 cdef	288 a	669 a	2,22 abcd
GUERRERO	Duro	598 bcde	36 fg	386 ab	1399 cde	3,55 ghij
	BLANDO	1022 B	29 A	865 A	1972 A	2,85 A
	DURO	710 A	38 B	472 A	1497 A	3,32 A

Distintas letras minúsculas en la misma columna corresponden a valores significativamente diferentes entre cultivares ($p < 0,05$). Diferentes letras mayúsculas corresponden a valores significativamente distintos entre variedades de trigo ($p < 0,05$).

Los resultados obtenidos con los distintos cultivares de trigo blando fueron muy variables, arrojando valores entre 455 a 2361 μm en las medias de la distribución del tamaño de las partículas. Las líneas de trigo blando PM 687 y PM 692 fueron los que mayor tamaño final tuvieron luego de la molienda. PM 682, en cambio, fue el de tamaño final significativamente más pequeño.

En el caso de las muestras de trigos duros, se observó una menor variabilidad en la distribución del tamaño de partícula obtenido tras la molienda, encontrándose una media de este de entre 384 y 795 μm , para todos los cultivares con excepción de BIOINTA, cuya media fue de 1640 μm , siendo similar

a varios de los cultivares de trigo blando. ACA 315, fue el de valor final significativamente menor a las otras variedades.

La media del tamaño de partícula de las harinas mostró un valor significativamente mayor para los trigos blandos, siendo este resultado contrario al hallado por Pearson (2007), quien trabajó con harinas refinadas de trigos blandos y duros. Se conoce, de todos modos, que la capacidad del salvado para reducirse a pequeños tamaños de partículas varía entre cultivares (Greffeuille *et al.*, 2006). Sin embargo, el $d_v 10$ también mostró diferencias significativas entre los dos tipos de trigo, siendo menor el valor de trigo blando. Esto se debería a que el salvado de estos cultivares es de mayor tamaño, pero no así las partículas de endosperma que serían más pequeñas, ya que la media de $d_v 10$ es, efectivamente, más baja para las harinas de trigo blando y esto sí estaría de acuerdo con los resultados de Pearson (2007). Cabe destacar que las harinas de trigo blando arrojaron resultados significativamente más altos tanto de fibra dietaria soluble como insoluble (SDF e IDF) que las harinas de trigo duro (Tabla 2), por lo cual, es de esperarse entonces, que, a mayor contenido de fibra, más difícil resulte moler el salvado del grano, resultando en partículas de mayor tamaño.

Wang y Flores (2000) postularon que harinas que difieren en sus tamaños de partículas muestran diferencias en cuanto a su comportamiento y composición físico-químicas. Con el fin de corroborar esto, se buscaron correlaciones entre PSA y la composición físico-química de las harinas, las cuales se muestran en la sección 3.3.2 (Tabla 9).

3.2 COMPOSICIÓN. DE LAS HARINAS DE GRANO ENTERO

Se evaluó la composición fisicoquímica de las harinas de grano entero de los 9 cultivares de trigo duro y 12 líneas experimentales de trigo blando cuyos resultados se muestran en la Tabla 2. Se calculó la media de cada uno de los parámetros medidos para cada variedad de trigo, informando así un valor promedio para las harinas de grano entero de trigo duro y otro para las de trigo blando, y se realizó un ANOVA para determinar diferencias significativas entre los distintos tipos de trigo, así como dentro de los diferentes cultivares.

Tabla 2. Composición fisicoquímica de las harinas.

MUESTRA	TIPO	SDF	IDF	Cenizas	Proteínas	PT	PS	MG
PM 647	Blando	2,43 h	14,33 bcdef	1,69 efgh	15,14 efg	6,09 ab	0,52 abc	2,83 cdefg
PM 650	Blando	2,35 gh	13,98 bcde	1,64 defg	14,47 cde	13,31 ij	0,78 b	2,62 bcde
PM 663	Blando	1,18 abcd	14,69 bcdef	1,99 k	16,06 ij	7,05 abc	0,58 cd	2,80 cdef
PM 673	Blando	2,65 h	14,37 bcdef	1,83 ghijk	16,75 k	14,13 j	0,56 bcd	1,96 a
PM 679	Blando	1,31 abcdef	16,76 def	1,73 fghi	14,75 def	7,94 bcd	0,60 cd	3,27 fgh
PM 681	Blando	1,14 ab	17,50 ef	1,87 hijk	14,48 de	7,04 ab	0,64 d	4,40 i
PM 682	Blando	1,75 def	16,35 cdef	1,72 fghi	16,50 ijk	11,07 fgh	0,76 e	3,30 fgh
PM 686	Blando	1,29 abcdef	15,55 bcdef	1,93 jk	13,90 bc	11,33 ghi	0,57 cd	2,37 abcd
PM 687	Blando	2,51 h	14,44 bcdef	1,79 ghij	17,41 l	9,56 defg	0,57 cd	2,94 defgh
PM 690	Blando	1,05 bcde	13,91 bcdee	1,59 cdef	15,99 hi	8,89 cdef	0,52 abc	2,16 ab
PM 691	Blando	1,73 cdef	17,65 f	1,66 defg	13,52 a	12,64 hij	0,60 cd	2,63 bcde
PM 692	Blando	2,57 h	9,83 bc	1,45 bc	13,20 a	7,60 abcd	0,47 ab	2,54 abcde
BIOINTA	Duro	1,67 bcdef	12,88 abc	1,53 bcde	13,40 ab	11,59 ghi	0,52 abc	2,95 defgh
LE 2330	Duro	1,78 efg	12,85 abc	1,14 a	14,72 def	8,58 cde	0,55 bcd	2,35 abc
BAGUETTE	Duro	1,25 abcde	14,52 bcdef	2,00 k	14,58 def	8,58 cde	0,47 ab	4,69 i
ACA 315	Duro	1,25 abcde	14,79 bcdef	1,71 efghi	16,62 jk	14,31 j	1,07 g	2,76 cdef
ACA 320	Duro	1,15 abc	10,30 a	1,88 ijk	16,83 kl	10,60 efg	0,44 a	3,41 gh
K, YARARA	Duro	1,27 abcdef	12,92 abc	1,36 efg	15,02 c	10,63 efg	0,89 f	3,26 fgh
CRONOX	Duro	1,30 abcdef	12,35 ab	1,49 bcd	14,18 cd	5,49 a	0,52 abc	3,12 efg
ANIV 75	Duro	1,20 abcd	13,23 abcd	1,77 fghij	16,59 jk	14,28 j	0,60 cd	3,01 efg
GUERRERO	Duro	1,83 fg	15,77 bcdef	2,34 l	15,44 gh	9,01 cdef	0,62 d	3,42 h
	BLANDO	1,83 B	14,94 B	1,74 A	15,18 A	9,72 A	0,59 A	2,82 A
	DURO	1,41 A	13,29 A	1,69 A	15,26 A	10,34 A	0,63 A	3,22 A

Fibra dietaria insoluble (IDF), Fibra dietaria soluble (SDF), Pentosanos solubles (PS), Pentosanos insolubles (PT), y Materia grasa (MG) expresados todos en porcentaje en base seca. Diferentes letras minúsculas corresponden a valores significativamente diferentes entre cultivares ($p < 0,05$) dentro de la misma columna. Diferentes letras mayúsculas corresponden a valores significativamente diferentes entre los tipos de trigo ($p < 0,05$).

Las muestras arrojaron valores de humedad, fibra dietaria y cenizas similares a los informadas por Lui *et al.*, (2015) y Bressiani *et al.*, (2017) para harinas integrales de trigo. En cuanto al contenido de proteínas y de MG, fueron mayores en este trabajo. Los resultados hallados en este trabajo son, también, similares a los reportados por Vignola *et al.*, (2017) en el caso de harinas integrales de trigos duros argentinos, quien informo valores promedio de cenizas de 1,72%, de materia grasa de 2,65% y de 14,33% para proteínas.

Al analizar por separado cada uno de los parámetros medidos en función del tipo de trigo, se observó que solo hay diferencias significativas para IDF y SDF, siendo mayores para los cultivares de trigo blando. El contenido total de fibra dietética en harina integral reportado por Hung *et al.*, (2007) fue de 11,2% para IDF y 4,1% para SDF, siendo aún mayor el valor para IDF hallado en las muestras de harinas integrales de este trabajo (14,12%), y menor en el caso de SDF (1,62%).

La calidad del trigo no está solo determinada por sus componentes mayoritarios, los minoritarios como lípidos, enzimas y polisacáridos no almidonosos (como arabinosilanos o pentosanos) juegan un papel muy importante en la calidad del producto (Goesaert *et al.*, 2005).

El contenido de pentosanos en el grano de trigo afecta la formación de gluten, la calidad de masas congeladas y las propiedades de horneado, entre otras (Dornez *et al.*, 2008). En general, la dureza en el trigo está correlacionada de manera positiva con mayor contenido de pentosanos, tanto solubles como insolubles (Hong *et al.*, 1989). Sin embargo, un estudio de Bettge y Morris (2000) encontró que la cantidad de pentosanos modificaba la dureza de los trigos blandos mucho más que la de los trigos duros. Esto podría estar también relacionado con el tamaño medio de partícula hallado en las harinas de trigos blandos. En este trabajo, no se hallaron diferencias significativas entre la composición de pentosanos en los distintos tipos de trigo.

El amplio rango de valores de pentosanos encontrados refleja lo informado por diferentes autores tanto para trigos duros (Dornez *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2009) como para trigos blandos (Finnie *et al.*, 2006). Vignola *et al.*, (2017) encontró una gran variabilidad en el contenido de PT y PS en harina integral (valores promedio de 9,68% y 0,49%, respectivamente). Dornez *et al.*, (2008) determinaron el contenido de pentosanos solubles y totales para 14 cultivares de trigo en tres años de cosecha e informaron rangos de 0,49-0,99% para PS y de 5,81-7,57% para PT en harinas integrales. Wang *et al.*, (2006) informó valores entre 0,62-0,90% para PS y entre 4,45-7,32% para PT para 6 cultivares Canadienses de trigo duro.

Panozzo (1993) encontró que los granos de trigo duro cultivados en Australia tienen niveles más altos de lípidos libres que cultivares de trigo blando, mientras que Morrison (1989), demostró una fuerte correlación entre el aumento de la dureza y la disminución de lípidos polares libres. En concordancia con Panozzo (1993), a pesar de no encontrar diferencias significativas, en el presente trabajo se hallaron valores mayores de contenido lipídico en los cultivares de trigos duros que en aquellos de trigos blandos. Vignola *et al.*, (2017) informó valores menores de lípidos (1,07 – 2,65%) a los encontrados en este trabajo

El contenido proteico de una harina de trigo es un elemento importante a tener en cuenta a la hora de clasificarla para sus posibles usos. En la elaboración de pan, un mayor contenido proteico se asocia a un mayor volumen de las piezas, mientras que, para la elaboración de galletitas, donde no se desea un importante desarrollo de gluten, se prefieren harinas de menor contenido proteico (Campbell *et al.*, 2001; Morris y Rose, 1996). Los trigos blandos generalmente tienen un menor contenido de proteínas totales que los trigos pan o duros (Morris y Massa, 2003; Souza *et al.*, 1994;), sin embargo, en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas entre el contenido de proteínas de los distintos tipos de trigo, ya que se obtuvo un valor mayor al esperado en los cultivares de trigo blando. Es de destacar, que el contenido total de proteínas es un parámetro con una alta influencia del ambiente (Vignola *et al.*, 2016; Koeler *et al.*, 2007) que podría explicar los valores inusualmente elevados encontrados en este trabajo. En años de sequía, los granos son más ricos en proteínas por deficiencia de

almidón (Cuniberti *et al*, 2016). La calidad del pan está fuertemente influenciada por las proteínas de almacenamiento (gluten), las cuales son responsables de la viscoelasticidad de la masa. Tanto el genotipo como el ambiente son factores que afectan el contenido y composición del gluten (Triboi *et al.*, 2003). Aun así, el contenido de proteínas mostró una importante variación entre los diferentes cultivares, y con valores similares a los reportados para trigos blandos (Igrejas *et al.*, 2001; Ram y Singh, 2004; Lui *et al.*, 2005). Vignola *et al*, (2016) hallaron valores de proteínas entre 12,21% y 16,03% en harinas tanto blancas como integrales de trigos argentinos, sin diferencias significativas entre los tipos de harina.

3.2.1 Contenido de gluten

El gluten es la fracción insoluble en agua que se obtiene luego del lavado de una masa. Es un material viscoelástico, conformado por una red tridimensional de proteínas, en la cual las gluteninas le confieren elasticidad y las gliadinas viscosidad.

El contenido de gluten húmedo encontrado varía desde 15,30 a 30,25 % (Tabla 3), estos valores son similares a los informados en bibliografía por Bressiani *et al*, (2017) y ,Lui *et al.*, (2015) y son mayores a los informados por Vignola *et al.*, (2017) en harinas integrales de trigo duro (22,01%), sin embargo, estos valores son menores a los encontrados en harinas refinadas de trigos duros argentinos (Vignola *et al.*, 2017). Esta diferencia entre el contenido de gluten de las harinas refinadas e integrales puede deberse a diversos factores, por un lado, el salvado interrumpe la red de gluten interfiriendo con la hidratación uniforme del material y por interacciones entre las proteínas y la fibra inhibiendo así, su correcta formación; por otro lado, en la harina integral hay un efecto de dilución del gluten por el salvado (Noort, *et al.*, 2010; Gan *et al.*, 1992).

Tabla 3. Contenido y calidad de gluten de las harinas estudiadas

MUESTRA	TIPO	%GH	IG	%GS
PM 647	Blando	26,10 h	94,90 k	9,90 kl
PM 650	Blando	22,50 f	65,75 c	8,20 cdefg
PM 663	Blando	16,10 ab	88,75 f	6,20 a
PM 673	Blando	27,50 i	55,40 b	10,00 kl
PM 679	Blando	22,50 f	91,10 h	8,30 defg
PM 681	Blando	16,50 b	90,20 g	6,30 a
PM 682	Blando	15,30 a	83,85 d	5,65 a
PM 686	Blando	21,00 de	85,65 e	7,80 bcde
PM 687	Blando	30,25 j	52,15 a	11,10 m
PM 690	Blando	23,65 g	92,90 i	8,45 efgh
PM 691	Blando	20,70 d	93,80 k	7,45 b
PM 692	Blando	21,35 de	95,65 j	8,05 bcdef
BIOINTA	Duro	18,50 c	97,55 l	7,55 bc
LE 2330	Duro	25,55 h	95,75 k	9,40 ijk
BAGUETTE	Duro	21,65 e	97,50 l	8,55 fgh
ACA 315	Duro	25,83 h	97,31 l	10,25 l
ACA 320	Duro	22,85 fg	99,6 m	9,45 jk
K, YARARA	Duro	33,90 k	91,80 h	12,45 n
CRONOX	Duro	19,25 c	97,50 l	7,70 bcd
ANIV 75	Duro	23,10 fg	97,30 l	8,75 ghi
GUERRERO	Duro	23,05 fg	97,05 l	9,05 hij
	BLANDO	21,95 A	82,51 A	8,12 A
	DURO	23,74 A	96,82 B	9,24 B

Valores de porcentaje de gluten húmedo (%GH), porcentaje de gluten seco (%GS) e índice de gluten (IG) de las harinas de grano entero. Letras minúsculas distintas corresponden a valores significativamente diferentes entre cultivares ($p < 0,05$) dentro de la misma columna. Letras mayúsculas distintas corresponden a valores significativamente diferentes entre los dos tipos de trigo ($p < 0,05$).

Los valores obtenidos de %GH y %GS son menores a los encontrados por Sobota *et al.*, (2015) quienes estudiaron el contenido de gluten en semolina y harina integral de trigo duro. Pasha *et al.* (2009) informó valores de %GH entre 8,09 y 43,0%, y %GS de 2,58 y 14,55% en harinas integrales de trigos primavera, evidenciando también una elevada variabilidad en los resultados, pero los valores medios fueron menores a los de este trabajo tanto en harinas de trigos duros como blandos. Curic *et al.*, (2001) y Miralbes (2003) informaron resultados similares a los obtenidos en este trabajo de gluten húmedo y seco en distintas variedades de trigo.

El índice de gluten (IG) encontrado para los cultivares de trigo duro (Tabla 3) fue comparable al reportado en harinas integrales por otros autores (Lui *et al.*, 2015) Este índice hace referencia a la resistencia de la red de gluten. El IG de los trigos blandos, en cambio, fue menor que el de los trigos duros, ya que estas variedades no se caracterizan por tener gluten de buena calidad. Bock *et al.* (2013) y Li *et al.* (2012), postularon que la incorporación del salvado causa la redistribución de agua en la masa, lo que lleva a la deshidratación parcial de proteínas de gluten. En este caso los trigos blandos arrojaron valores significativamente mayores de fibra dietaria que los duros por lo que podría también estar afectando a este parámetro. Es importante destacar que, a pesar de no encontrarse diferencias significativas en el contenido proteico, ni en los valores de GH de los dos tipos de trigo, la cantidad de GS y los valores de IG fueron significativamente mayores en los trigos duros. Este resultado era esperable, ya que una de las principales características de los trigos duros, además de su dureza, es la alta concentración de gluteninas y la capacidad de formación de la red de gluten.

Se realizó un análisis de la varianza multivariado, incluyendo todos los parámetros medidos de la composición fisicoquímica de las harinas integrales, y se encontró que existen diferencias significativas entre las harinas obtenidas a partir de trigo blando y trigo duro (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis multivariado de diferencias entre los dos tipos de trigo.

TRIGO	psa	dv 10	dv 50	dv 90	span	SDF	IDF	CENIZAS	%H	Proteínas	PT	PS	MG	%GH	IG	%GS	
BLANDO	1022,09	28,68	865,68	1971,96	2,85	1,83	14,94	1,74	13,09	15,18	9,72	0,6	2,82	21,95	82,51	8,12	A
DURO	710,95	38,16	472,32	1496,71	3,32	1,41	13,29	1,69	13,14	15,26	10,34	0,63	3,22	23,74	96,82	9,24	B

Prueba Hotelling Alfa=0,05. Distintas letras indican que los valores son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

En resumen, las harinas integrales de trigo duro contienen mayores cantidades de PT, PS y MG que aquellas de trigo blando. Tiene un alto contenido proteico, lo cual se asocia con una mejor aptitud para la elaboración de pan, y mayores porcentajes de gluten húmedo y seco y un mayor índice de gluten

Los trigos blandos, tienen mayor tamaño medio de partícula y aportan valores significativamente mayores de fibra dietética, tanto soluble como insoluble.

La composición de las harinas de los dos tipos de trigo son significativamente distintas al ser analizadas de manera global.

82

3.3 ENSAYOS DE PREDICCIÓN

La forma idónea de establecer la calidad de una harina para elaborar un determinado producto de panificación es elaborar el producto. Sin embargo, en muchas ocasiones esto no es posible ya que es necesario tener esta información de manera rápida o se cuenta con muy poca cantidad de muestra. Una alternativa es utilizar pruebas predictivas que se correlacionen significativamente con la aptitud de las harinas para elaborar diferentes productos (Colombo *et al.*, 2008). Existen varios ensayos de predicción, basados en distintos parámetros fisicoquímicos, que se utilizan para evaluar harinas refinadas.

Tabla 5. Ensayos de predicción de las harinas.

MUESTRA	TIPO	IRAA	IS-SDS	% SRC a	% SRC s	% SRC I	% SRC c
PM 647	Blando	87,50 def	14,50 g	79,50 cdef	94,25 bcd	82,55 bc	82,25 abc
PM 650	Blando	74,00 ab	10,00 bc	76,50 abcde	97,80 cd	89,00 cde	91,40 cdef
PM 663	Blando	112,50 gh	10,50 c	96,35 i	114,75 hig	91,35 de	92,50 def
PM 673	Blando	93,95 f	9,25 ab	71,45 abc	109,10 gh	90,00 cde	95,95 efg
PM 679	Blando	84,70 cde	12,75 ef	69,15 ab	85,10 ab	71,60 a	81,80 abc
PM 681	Blando	81,15 bcd	10,50 c	84,10 efg	108,70 fgh	94,55 defg	98,75 fg
PM 682	Blando	85,50 cde	11,00 cd	92,45 hi	108,60 efgh	88,55 b	98,45 fg
PM 686	Blando	117,60 h	8,25 a	91,70 ghi	109,5 ghi	90,15 cde	94,10 defg
PM 687	Blando	105,20 g	11,75 de	74,65 abcd	118,35 hij	93,15 def	84,80 bcd
PM 690	Blando	94,30 f	13,75 fg	79,55 cdef	133,60 k	86,60 cd	94,20 defg
PM 691	Blando	76,20 ab	11,75 de	80,60 def	93,05 bc	74,15 a	91,20 cdef
PM 692	Blando	93,95 f	11,00 cd	68,30 a	86,40 ab	76,45 ab	74,55 a
BIOINTA	Duro	71,20 a	10,00 bc	76,80 bcde	78,40 a	92,15 def	78,10 ab
LE 2330	Duro	76,75 ab	17,25 h	76,05 abcde	98,80 cdef	93,70 def	90,45 cdef
BAGUETTE	Duro	91,65 ef	13,75 fg	80,10 def	87,65 ab	96,45 efg	84,85 bcd
ACA 315	Duro	78,90 bc	18,50 ij	83,65 efg	109,30 gh	93,20 def	95,45 efg
ACA 320	Duro	81,25 bcd	17,50 hi	84,30 efgh	104,25 defg	100,20 fg	94,35 defg
K, YARARA	Duro	74,70 ab	19,00 j	76,85 bcde	98,60 cde	96,65 efg	94,90 efg
CRONOX	Duro	80,15 bcd	14,00 g	82,50 def	100,50 cdefg	93,85 def	86,60 bcde
ANIV 75	Duro	93,65 f	14,00 g	86,85 fgh	119,50 ij	102,45 g	93,60 defg
GUERRERO	Duro	79,30 bc	11,00 cd	86,55 fgh	120,30 j	117,00 h	102,75 g
	BLANDO	92,21 B	11,25 A	80,36 A	104,93 A	85,68 A	90,00 A
	DURO	80,84 A	15,00 B	81,52 A	101,92 A	98,41 B	91,23 A

Índice de retención de agua alcalina (IRAA), índice de sedimentación en SDS (IS-SDS), y porcentaje de micro SCR de las harinas de grano entero. Diferentes letras minúsculas corresponden a valores significativamente diferentes entre cultivares ($p < 0,05$) en la misma columna. Diferentes letras mayúsculas corresponden a valores significativamente diferentes entre tipos de trigo ($p < 0,05$).

En la tabla 5 muestra los resultados de IRAA, IS-SDS y porcentaje de micro SRC hallados en las harinas de grano entero de los distintos cultivares de trigo, con las medias de los trigos duros y blandos, para cada una de las determinaciones realizadas.

El IRAA mostró un amplio rango en los valores como se observa en la Tabla 5, principalmente en las harinas integrales de trigos blandos. Este resultado era esperable teniendo en cuenta la variabilidad encontrada en los componentes de las harinas asociados con este índice. Los valores de IRAA obtenidos fueron mayores a los informados para harinas refinadas (Zhang *et al.*, 2007), debido a la mayor cantidad de fibra y pentosanos con alta capacidad de retención de agua que contienen las harinas de grano entero.

Es importante destacar que, a pesar de lo esperado, las harinas integrales de trigos duros arrojaron valores significativamente menores en este test de predicción que las de trigo blando. El resultado hallado fue también contrario a lo esperado sabiendo que las harinas integrales de los trigos duros contienen mayores concentraciones tanto de pentosanos como de proteínas, a pesar de no ser significativas las diferencias. Sin embargo, las líneas de trigos blandos tuvieron valores significativamente mayores de fibra. Bressiani *et al* (2017) al comparar la absorción de agua entre harinas integrales y refinadas, encontró que las integrales mostraron valores significativamente más altos, probablemente debido al contenido de fibra (Hemery *et al.*, 2011; Boita *et al.*, 2016). La gran cantidad de grupos hidroxilo en la estructura de la fibra permite una mayor interacción con el agua a través de enlaces de hidrógeno (Penella *et al.*, 2008). IRAA es un ensayo diseñado para harinas refinadas, por lo cual, frente a los datos obtenidos en el trabajo, donde los valores son mayores para los trigos blandos, se puede afirmar que este test no es útil como ensayo predictivo cuando se analizan harinas integrales.

Las harinas de trigo duro arrojaron una media de valores de IS-SDS significativamente mayores a las de trigo blando, que concuerda con los resultados de IG y %GS. Esto se relaciona con una mejor capacidad de

formación de gluten de estos trigos, lo que predice una mayor calidad final de los panes elaborados con estas harinas, principalmente mayor volumen específico de las piezas. Maghirang *et al.*, (2006) reportó valores mayores tanto de proteínas como del índice de sedimentación para trigos duros en comparación con trigos blandos, concordando con estos resultados, al igual que Plant (1982) que informó valores mayores de IS-SDS en harinas de trigos duros en comparación con harinas de trigos blandos.

El rango de valores de SRC de los trigos blandos del presente estudio (tabla 5), concuerdan con los observados por Guttieri *et al.*, (2004), y Ram y Singh (2004) quienes informaron rangos de SRC carbonato en harinas blancas de líneas de trigo blando entre 65,0-114,0% y de SRC sacarosa entre 77,0 y 109,0%. Ram *et al.*, (2005) trabajaron con harinas integrales e informaron un rango en SRC láctico de 72,0-122,8%, similar a los valores obtenidos en este trabajo. También hallaron, en concordancia con este trabajo, grandes variaciones en los valores de SRC con todos los solventes y valores más altos para las harinas integrales en comparación con harinas blancas en todos los casos, excepto con ácido láctico. Informaron que SRC Carbonato varió de 74,0 a 111,7%, SRC sacarosa de 88,2 a 111,8%, SRC ácido láctico de 72,0 a 97,4% y SRC agua de 67,2 a 83,7% (Ram *et al.*, 2005).

No se observaron diferencias significativas entre los SRC de trigos duros y blandos excepto para el SRC láctico, a pesar de que no hubo discrepancias en el contenido proteico. Guttieri y Souza (2008) informaron que el SRC láctico es un indicador de la calidad del gluten y varía debido a las diferencias en la composición de gluteninas en diferentes variedades de trigo. Ram *et al.*, (2005) encontraron una correlación muy alta entre SRC agua y carbonato, lo que indicó que el principal factor para determinar la absorción de agua en las harinas de trigo era la cantidad de almidón dañado. También que el SRC sacarosa mostró fuerte correlación positiva con SRC carbonato agua y láctico ($r=0,55$). La tabla 6 muestra las correlaciones encontradas entre los distintos solventes en este trabajo

Tabla 6. Correlaciones entre los parámetros de micro SRC

	%SRC a	%SRC s	%SRC l	%SRC c
%SRC a	1			
%SRC s	0,46**	1		
%SRC l	0,37*	0,42*	1	
%SRC c	0,43**	0,59**	0,49**	1

*p < 0,05 se informan con * y ** p < 0,01.

Se obtuvo una notable dispersión de datos en los SRC, por lo que no se encontraron diferencias significativas. Esta dispersión fue atribuida al salvado que presentó un tamaño de partícula mayor y un grado de hidratación diferente a las partículas provenientes del endosperma. Debido a esto, se decidió realizar el micro-método de SRC en tres grupos de muestras: 1) harina blanca obtenida por tamización de las harinas integrales (B), 2) harina integral obtenida a partir de la molienda de los granos de los cultivares de trigo blando utilizando un molino ciclónico (Cyclotec™ 1093; Foss, Dinamarca) obteniendo un menor tamaño de partícula (l1), y 3) los valores obtenidos de las muestras de harina que se utilizaron en todas las determinaciones realizadas en este trabajo (l2). Se trabajó de esta manera con todas las líneas de los trigos blandos, porque es a partir de estas harinas que se elaboraron las galletitas, por ende, a las que mayor información aportaba esta prueba de predicción. En la figura 8 se muestran los resultados de las medias encontradas para cada tipo de harina evaluada. Se encontraron diferencias significativas entre los valores obtenidos con los mismos solventes y las mismas variedades en los distintos tipos de harina (refinada e integral obtenida con distintos tipos de molino).

% SCR de las tres harinas obtenidas de las muestras de harina de trigos blando

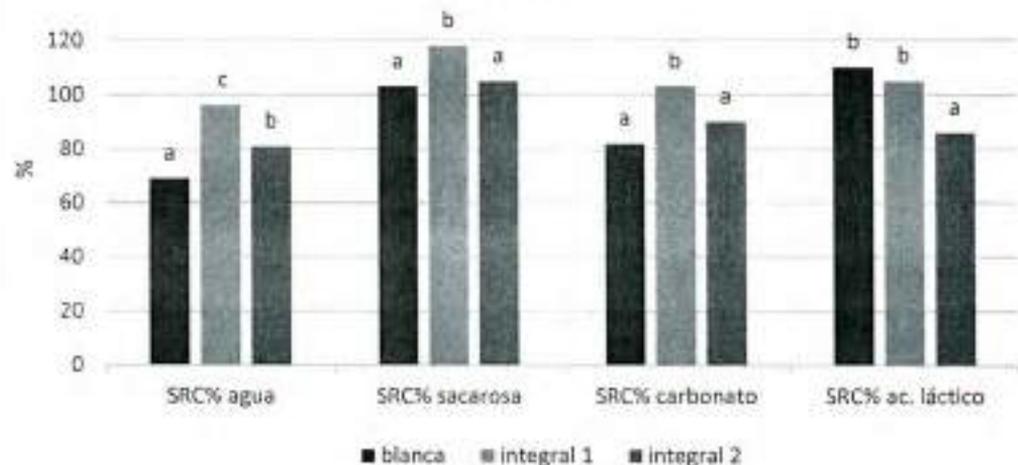


Figura 8. Valores promedio de micro SRC en harinas. Blanca: (B) por tamizado de harina integral 2. Integral 1: por molienda de granos en molino ciclónico (I 1). Integral 2: molienda en molino de rodillo sin tamiz (I 2). Letras distintas dentro de un mismo solvente, corresponden a valores estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los valores de todos los SRC (figura 8) fueron mayores para la harina integral obtenida con el molino ciclónico (I 1), excepto con ácido láctico y los más bajos, con la harina blanca obtenida del tamizado de las muestras. En el caso del ácido láctico se observó un valor mayor para I 1 que para I 2, aunque no hubo diferencias significativas entre las harinas blanca e integral 1. Esto se debe al efecto de dilución que aporta el salvado, al disminuir la proporción de gluteninas y como consecuencia, menor retención de ácido láctico. El resto de los compuestos se encuentran en mayor concentración en la harina integral que en la blanca, y el menor tamaño de partícula de la harina integral obtenida con el molino ciclónico, en relación con el molino de rodillos, hace que sea mayor la superficie de contacto, y por ende mayor la absorción de los solventes en las mismas.

Se realizaron análisis de correlación entre los parámetros de composición de las harinas de trigos blandos (tabla 2) y los resultados de %SRC realizados tanto con la harina tamizada (B) como la molida en el molino ciclónico (I 1), y no se encontraron relaciones en ninguno de los casos.

Se puede concluir que modificar el tipo de molienda de la harina, modifica el sistema en el cual se absorben los distintos solventes, afectando los valores obtenidos, por lo tanto, en este ensayo la absorción y retención de los distintos solventes no depende únicamente del contenido y características de los componentes específicos (pentosanos, almidón dañado, proteínas, y compuestos hidrofílicos), sino también de otros factores que tiene que ver con propiedades de la molienda y de la harina como el tamaño de partícula, la relación endosperma/salvado, y las condiciones de conservación. Es importante, por lo tanto, que los ensayos de predicción se realicen con la harina con la cual se van a elaborar los productos, ya que varía el comportamiento de la misma en función de su método de obtención (Kihlberg *et al.*, 2004; Bressiani *et al.*, 2017).

3.3.1 Trigos duros vs blandos

Tanto el IS-SDS como el SCR láctico (tabla 5) presentaron valores medios significativamente más altos en trigo duro respecto al blando que se condice con los mayores %GS e IG (tabla 3) Estos índices hacen referencia a una mayor capacidad para formar una red viscoelástica que podría deberse, tanto a una mayor cantidad de proteínas formadoras de gluten en la harina como a la presencia gluteninas de alto peso molecular relacionadas a un mejor desempeño panadero. El resto de los solventes evaluados en el micro método de SRC, no mostraron diferencias significativas entre las harinas de grano entero de los distintos tipos de trigo.

Al realizar un análisis multivariado con la prueba de Hotelling incluyendo todos los ensayos de predicción se observaron diferencias significativas globales entre el comportamiento de los trigos duros y blandos como se expone en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis multivariado de los test de predicción entre los dos tipos de trigo

TRIGO	IRAA	%SRC a	%SRC s	%SRC l	%SRC c	IS-SDS	
BLANDO	91,95	80,24	105,13	85,87	92,64	11,29	A
DURO	80,61	83,17	103,07	97,96	90,44	14,89	B

Prueba de Hotelling entre los resultados los test de predicción de las harinas de trigo duro y blando. Resultados con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Al igual que lo que ocurrió en el caso de la composición de los dos tipos de trigo, al hacer un análisis multivariado con todos los ensayos de predicción, se diferencian significativamente los trigos duros de los blandos.

3.3.2 Relación entre los test de predicción y la composición fisicoquímica de las harinas

Se realizó un análisis de correlaciones entre los distintos test de predicción evaluados y la composición fisicoquímica de las harinas integrales. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Los parámetros relacionados con la aptitud para la formación de la red de gluten (%GH y %GS) correlacionaron positivamente con la concentración de proteínas de las harinas integrales, y con el SRC sacarosa. El IG, a su vez, correlacionó de manera negativa con el contenido de fibra dietética soluble de las harinas, lo que evidencia que ésta interfiere con la correcta formación de una red gluten de buena calidad. Al analizar el IS-SDS, se obtuvieron las correlaciones esperadas con %GH, %GS e IG.

La falta de correlación encontrada entre el SRC láctico y el contenido de proteínas en trigos blandos ha sido informada previamente por Guttieri *et al.*, (2001), mientras que la asociación positiva con el IG fue encontrada por Gaines *et al.*, (2006) para trigos blandos canadienses. En trigos duros, sin embargo, se

han reportado fuertes asociaciones entre SRC láctico con proteínas e índice de gluten en harinas blancas (Xiao *et al.*, 2006; Colombo *et al.*, 2008).

Al realizar el análisis de correlación entre el SRC láctico y el contenido de proteínas, incluyendo los cultivares tanto de trigo duro como de trigo blando, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,35, ($p < 0,05$) El IRAA, por otro lado, correlacionó de manera positiva con SCR sacarosa y el SRC agua, y de manera negativa con el índice de gluten y el IS-SDS. Esto se debe a que, a mayor cantidad de compuestos hidrofílicos, mayor absorción de agua, y menor desarrollo de la red de gluten.

En la determinación de micro SRC se esperaba que el solvente sacarosa correlacionara con el contenido de pentosanos, sin embargo, esta relación no se encontró. Por otra parte, el SRC agua solo mostro asociación negativa con el contenido de fibra soluble (tabla 8) y positiva con el de cenizas.

Vale la pena destacar que el contenido de cenizas arrojó relaciones positivas con todos los solventes de micro SRC e IRAA, indicando que el aumento de su concentración, aumentan la capacidad de absorción en todos los casos. Las capas de salvado son muy ricas en cenizas (Parker *et al.*, 2005; Pomeranz, 1988), por lo cual remover dicha fracción del grano de trigo para obtener harina blanca llevó a reducir su contenido (Liu *et al.*, 2015; Sobota *et al.*, 2015), y de esta forma disminuir la absorción de los distintos solventes.

También se observó que el contenido de MG fue mayor a medida que la fibra soluble y los pentosanos totales fueron más bajos en las harinas, y correlacionó de manera positiva con el Índice de gluten, indicando que un aumento en el contenido graso favorece la formación de la red.

Se puede resumir, a partir de estos resultados, que los test de predicción evaluados no aportan información útil sobre la calidad de la harina de grano entero de trigo, al no encontrarse las correlaciones esperadas con los distintos componentes fisicoquímicos de las muestras, principalmente en el caso de los trigos blandos. Sin embargo, la determinación de gluten y el IS-SDS son menos influidos por la presencia del salvado y el germen de trigo en las muestras, y si aportarían información sobre la calidad de las harinas integrales.

Tabla 8. Correlaciones entre test de predicción y composición de las harinas de grano entero de trigo.

	SDF	Cenizas	%H	Proteínas	PT	PS	MG	IRAA	%SRC a	%SRC s	%SRC l	%SRC c	IG	%GS	IS-SDS
SDF	1														
IDF	ns														
CENIZAS	ns	1													
%H	ns	ns	1												
PROTEINAS	ns	ns	ns	1											
PT	ns	ns	-0,31*	ns	1										
PS	ns	ns	ns	ns	0,44**	1									
MG	-0,37*	0,33*	ns	ns	-0,31*	ns	1								
IRAA	ns	0,37*	ns	ns	ns	ns	ns	1							
%SRC a	-0,5**	0,44**	ns	ns	ns	ns	ns	0,32*	1						
%SRC s	ns	0,33*	ns	0,65**	ns	ns	ns	0,40**	0,46**	1					
%SRC l	ns	0,39**	ns	0,35*	ns	ns	ns	ns	0,37*	0,42*	1				
%SRC c	ns	0,37*	ns	0,41*	ns	0,38*	ns	ns	0,43**	0,59**	0,49**	1			
%GH	ns	ns	ns	0,31*	ns	ns	ns	ns	-0,48**	ns	ns	ns	1		
IG	-0,57**	ns	ns	ns	ns	ns	0,30*	-0,31*	ns	ns	ns	ns	ns	1	
%GS	ns	ns	ns	0,32*	ns	ns	ns	ns	-0,45**	ns	ns	0,97**	ns	ns	1
IS-SDS	-0,32*	-0,39*	ns	ns	ns	0,31*	ns	-0,40*	ns	ns	ns	0,51**	0,44**	0,58**	1

Fibra dietaria soluble (SDF) e insoluble (IDF), cenizas, humedad (%H), proteínas, pentosanos solubles (PS) y totales (PT), materia grasa (MG), índice de retención de agua alcalina (IRAA), micro método de SCR cde agua (%SCR a), sacarosa (%SRC s), carbonato de sodio (%SCR c) y ácido láctico (%SCR l), gluten húmedo (%GH), índice de gluten (IG), gluten seco (%GS) e índice de sedimentación en SDS (IS-SDS). (*) $p < 0,005$ y (**) $p < 0,001$.

Se evaluó a continuación, si alguno de los parámetros estudiados hasta el momento tenía correlación con el tamaño de partícula de las distintas harinas (tabla 9).

Tabla 9. Coeficientes de correlación entre el tamaño de partícula, la composición de las harinas y los test de predicción.

	SDF	IDF	PS	Proteínas	%SRC a	%SRC c	IG	IS-SDS	media	dv 10	dv 50
media	0,52**	ns	-0,36*	ns	-0,46**	-0,62**	ns	-0,36**	1		
dv 10	ns	-0,50**	-0,44*	ns	ns	-0,35*	ns	ns	0,49**	1	
dv 50	0,51**	ns	ns	ns	ns	-0,55**	ns	ns	0,95*	0,45**	1
dv 90	0,49**	ns	-0,30*	-0,31*	-0,45**	-0,54**	-0,37**	-0,42**	0,94**	0,49**	0,88**
span	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,52*	ns	-0,6**

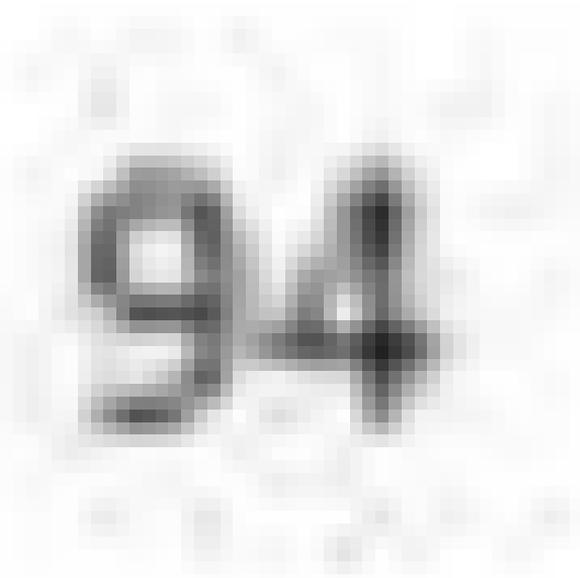
Fibra dietética soluble (SDF) e insoluble (IDF), índice de sedimentación en SDS (IS-SDS). (*) indica diferencias con un $p < 0,005$ y (**) con un $p < 0,01$.

Se encontró que la distribución del tamaño de partícula de las harinas integrales de los distintos cultivares se relacionó con componentes de la fibra dietética. El tamaño medio de partícula correlacionó positivamente con la fibra soluble y negativamente con los PS. El valor de dv 10 (29 y 38 μm para trigos blandos y duros respectivamente) que corresponde solo a partículas del endosperma molido y por lo tanto con menor contenido de fibra, correlacionó negativamente con la fibra insoluble y los pentosanos solubles. El dv90 también mostro correlación negativa con los PS, y en todos los casos (media, dv10 y dv90) estaría relacionado al mayor grado de extracción de los PS cuando el tamaño de partícula es menor. El dv50 y dv90, que incluyen partículas de endosperma y salvado, correlacionaron positivamente con la fibra soluble. Esto podría significar una mayor proporción relativa de salvado respecto al endosperma, y, por ende, mayor proporción de SDF. Sin embargo, las correlaciones con la IDF no fueron estadísticamente significativas.

En cuanto a los test de predicción, la absorción de los solventes carbonato y agua en el micro SRC fueron menores a medida que mayor fue el tamaño de las partículas con las que se realizaron, ocurriendo lo mismo en la determinación de IS-SDS. Estos resultados indicarían que, a mayor tamaño de partícula, mayor es la absorción de estos solventes y, por ende, mayor es el valor obtenido en las determinaciones.

El IG y el contenido de proteínas, a su vez, correlacionaron de manera negativa con d_{v90} , esto indica que cuanto mayor es el tamaño de las partículas de harina, menor es la capacidad de hidratación de las proteínas del gluten y por lo tanto hay un menor desarrollo de la red (Penella *et al.*, 2008). Bressiani *et al.*, (2017) reportó que muestras de harina de grano entero con mayor tamaño de partícula presentaron contenidos de gluten significativamente menores. Esto se debe a que, cuanto mayor es el tamaño de partícula, mayor es la dificultad de agregación de las proteínas del gluten. Estos resultados están relacionados con aquellos descritos por Liu *et al.*, (2015), sobre el estudio del efecto de diferentes procesos de molienda en la calidad de la harina de trigo.

Sin embargo, el efecto del tamaño de partícula del salvado en la panificación sigue siendo un tema controvertido, así como en la elaboración de otros productos a partir de ellos, ya que los hallazgos en diferentes estudios son a menudo contradictorios.



3.4 ELABORACION DE GALLETITAS

Con las harinas integrales de las 12 líneas de trigo blando se elaboraron galletitas dulces (figura 7), a las cuales se les determinó: factor galletita (FG), color, firmeza (F) y humedad (%H). Se modificó la cantidad de agua respecto a la utilizada para harina blanca refinada, pasando de utilizar un 15 a un 20% de agua en la formulación. Esto se debió a la mayor concentración de fibra y pentosanos en la harina de grano entero, los cuales absorben una mayor cantidad de agua, haciendo necesario aumentar su volumen para formar la masa con la consistencia deseada.

Tabla 10. Parámetros de la calidad de las galletas obtenidas con harinas integrales de trigo blando.

Muestra	FG	L*	a*	b*	Firmeza (N)	Humedad (%)
PM 647	5.60 ab	54.40 ab	31.96 b	10.71 bc	31.55 ab	6.53 abc
PM 650	5.16 a	56.89 ab	29.74 b	9.26 ab	17.05 a	7.45 ab
PM 663	7.81 c	53.28 ab	31.30 b	10.86 c	20.23 ab	4.55 a
PM 673	7.00 bc	57.78 b	35.05 b	10.44 c	37.30 bc	5.36 ab
PM 679	6.85 abc	52.83 ab	31.65 b	11.00 b	33.68 abc	4.64 a
PM 681	7.17 bc	56.96 ab	33.41 b	9.78 abc	35.80 ab	4.50 a
PM 682	5.53 ab	56.94 a	29.65 a	8.73 a	30.63 abc	8.37 c
PM 686	7.89 c	52.83 ab	31.65 b	11.00 c	27.67 abc	3.79 a
PM 687	6.27 abc	56.35 ab	32.68 b	9.72 abc	30.06 abc	5.64 abc
PM 690	7.36 c	54.24 ab	31.09 b	10.28 bc	45.85 c	4.92 ab
PM 691	7.44 c	52.30 ab	30.21 b	10.19 bc	29.27 abc	4.45 a
PM 692	7.23 bc	52.34 ab	30.32 b	10.13 bc	27.54 abc	4.81 ab

Factor galletita (FG). Distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El factor galletita mostró un rango de valores entre 5,16 y 7,89 (Tabla 10), siendo las variedades PM 663, 686, 690 y 691 las que presentaron valores significativamente más altos que el resto, y PM 650 la de menor valor. Estos valores son similares a los obtenidos con harinas blancas de cultivares de trigo blando (Moiraghi *et al.*, 2011). lo cual indica que la presencia de salvado no influiría en este parámetro. Pasha *et al.*, (2009) obtuvieron resultados menores de FG (4,43 - 6,52) en las galletitas elaboradas con harinas integrales.

El FG es un parámetro muy importante al referirnos a calidad galletitera. El diámetro final de la galletita se relaciona con la cantidad de agua libre en la masa para actuar como solvente (Ram y Singh, 2004). Los componentes de la harina capaces de ligar agua aumentan la viscosidad de la masa, lo que disminuye su capacidad de expansión durante el horneado, influyendo negativamente sobre el diámetro final de la galletita (Pareyt y Delcour, 2008). Mientras mayor es la expansión de la masa, mayor es el FG del producto, y más aceptable es la textura de la galleta. El aumento en el contenido lipídico de la harina provoca una mayor expansión de las galletas durante el horneado (Kissell *et al.*, 1971), y se ha encontrado que los lípidos de salvado de trigo también tienen este efecto (Yamazaki *et al.*, 1979). Por el contrario, se informó que cuando el salvado de trigo se agrega a las galletas dulces, el FG disminuye (Vratanina y Zabik 1978; Jeltama *et al.*, 1983), lo cual no se observó en este trabajo.

Los cultivares PM 686, PM 663, PM 691, PM 690, PM 692 y PM 681 mostraron alto FG (> 7.00), con una humedad baja en las galletitas (< 5.00%) y aceptables valores de firmeza (20,23 – 35,80 N), a excepción de PM 690 que registró una dureza significativamente mayor (45,85 N). Estos valores se asocian con una calidad aceptable de los productos obtenidos. Las galletas elaboradas con las harinas integrales de PM 650, PM 682, y PM 647 fueron las de menor FG y también fueron las de valores más altos de humedad, y PM 650, además, la de menor firmeza.

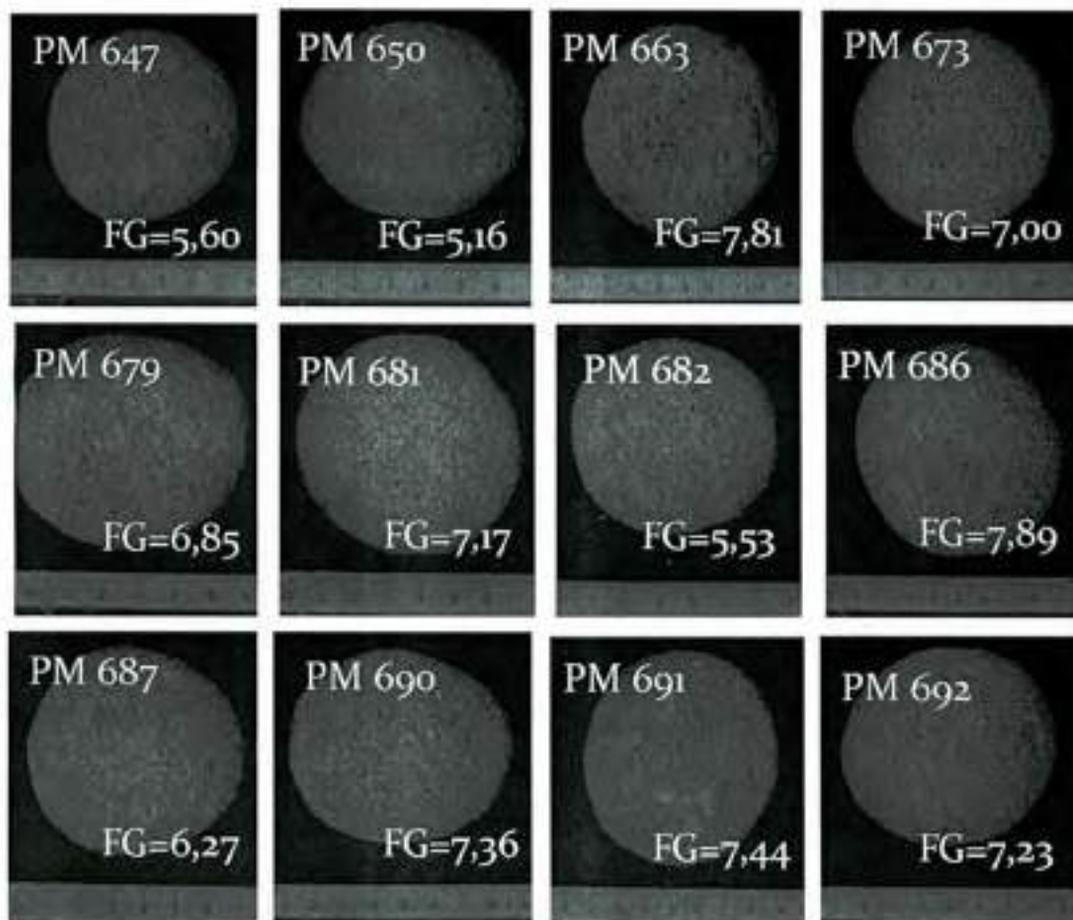


Figura 9. Factor galleta (FG) de las cookies elaboradas con harinas integrales de trigo blando.

La humedad arrojó resultados entre 3,79 y 8,37%, y los valores de firmeza se hallaron entre 17,05 y 45,85 N. En ambos casos el cultivar que arrojó los valores significativamente mayores fue PM 682. En cuanto al color, los resultados entre los distintos cultivares fueron muy similares, con excepción del cultivar PM 682, el cual fue el de menor luminosidad, y PM 673 con el valor de L^* significativamente más alto.

La textura de una galletita es un importante atributo sensorial a tener en cuenta a la hora de hablar de calidad, se espera que la galleta sea crocante y fácil de morder (Zoulias *et al.*, 2000). Existen diversos factores asociados a la harina, como la textura del grano, el contenido de proteínas y la capacidad de la harina de absorber agua, que afectan esta propiedad (Gaines *et al.*, 1994). Durante el horneado, el agua migra desde el interior de la masa hacia el exterior, y comienza

a evaporarse sobre la superficie de la galletita, provocando la cristalinización de la sacarosa que estaba disuelta en el agua formando un jarabe. Si la evaporación de agua es muy grande o su disponibilidad es baja, se produce un alto grado de cristalización de la sacarosa, haciendo que la galletita se torne mas dura. Esto hace que en la industria galletitera se utilicen inhibidores de la cristalinización de la sacarosa con el objetivo de lograr galletitas mas tiernas (Hoseney, 1994), aunque siempre algo de cristalización es bueno para la crocancia de la misma.

3.4.1 Correlaciones entre la calidad de las galletas, la composición de las harinas y los test de predicción

Tanto los test de predicción como la composición centesimal de las harinas, arrojaron resultados muy variables dentro de las 12 líneas con los que se trabajó. Se analizaron entonces las correlaciones entre las variedades de trigo blando para determinar si estos ensayos brindan información de utilidad sobre la calidad final del producto a elaborar con harinas de grano entero. Las correlaciones que se encontraron se muestran en la Tabla 11.

El micro método de SRC mostró correlación entre SRC láctico y el contenido de proteínas, al igual que al realizar la correlación con ambos tipos de trigo (3.3.2). Para los otros SRC, no se encontraron las correlaciones esperadas. El SRC agua arrojó una correlación negativa con SDF, el SRC sacarosa correlacionó de manera positiva con el contenido de proteínas, e IRAA y SCR carbonato de manera positiva con PS. Pasha *et al.*, (2009) encontraron que SRC láctico y SRC sacarosa correlacionan positivamente con el espesor de las galletas (asociado con un menor FG). A su vez, observaron coeficientes de correlación negativos entre SRC agua y el espesor de la galleta, y que SRC carbonato correlaciona negativamente con el diámetro. Del mismo modo, Ram y Singh (2004) encontraron una fuerte correlación negativa entre el diámetro de la galleta y el SRC agua. En este trabajo no se registró ninguna correlación entre el micro SRC y el FG. Por otro lado, SRC láctico correlacionó positivamente con el contenido de cenizas al igual que lo publicado por Pasha *et al.*, (2009), (Tabla 11).

Tabla 11. Correlaciones entre composición centesimal, test de predicción y parámetros de calidad galletitera para las harinas integrales de los cultivares de trigo blando.

	FG	b*	a*	%H	SDF	IDF	Cenizas	%HG	Proteínas	PS	MG	%GH	IG	%GS	IRAA	SRC a	SRC s	SRC I	SRC c	PSA	dv 10	dv 50	
%G	1																						
b*	ns	1																					
a*	0.46*	1																					
%H	ns	ns	1																				
SDF	ns	ns	ns	1																			
IDF	-0.84**	-0.64**	ns	1																			
PT	-0.47*	ns	ns	ns	1																		
PS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.49*	ns														
MG	-0.50*	-0.56**	-0.42*	0.54**	ns	0.42*	ns	ns	ns	1													
%GH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.37*	1												
IG	ns	ns	ns	ns	0.59**	ns	ns	ns	ns	ns	-0.44*	1											
%GS	ns	ns	ns	ns	-0.52**	ns	ns	ns	-0.60**	ns	ns	-0.57**	1										
IRAA	ns	ns	ns	ns	0.60**	ns	ns	ns	ns	-0.41*	-0.40*	0.99**	-0.54**	1									
SRC a	0.45*	0.42*	ns	ns	ns	ns	0.50**	ns	ns	-0.45*	ns	ns	ns	ns	1								
SRC s	ns	ns	ns	ns	-0.51**	ns	0.61**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1							
SRC I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.62**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45*	0.42*	1					
SRC c	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.52**	ns	0.50**	ns	ns	ns	-0.49**	ns	ns	0.43*	0.65**	1					
IS-SDS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.47**	ns	ns	0.44*	ns	ns	ns	ns	ns	0.5*	0.47*	0.52*	1				
PSA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.47*	ns	ns	-0.41*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.44*	ns				
dv 10	ns	ns	ns	ns	0.53**	-0.52**	-0.46*	ns	ns	ns	ns	0.43*	ns	0.45*	ns	-0.50*	ns	ns	-0.60*	1			
dv 50	ns	ns	ns	ns	0.44*	-0.43*	-0.35*	ns	ns	-0.56**	ns	0.54**	ns	0.54**	ns	-0.60*	ns	ns	-0.50**	0.84**	1		
dv 90	ns	ns	ns	ns	0.49**	-0.59**	-0.47*	ns	ns	-0.43*	ns	0.39*	ns	ns	ns	-0.48*	ns	ns	-0.58*	0.98**	0.86	1	
span	ns	ns	ns	ns	0.47*	-0.51*	-0.40*	ns	ns	ns	ns	0.41*	ns	0.41*	ns	-0.46*	ns	ns	-0.48*	0.94**	0.80**	0.91*	
span	ns	ns	ns	ns	-0.42*	ns	ns	ns	ns	0.63**	ns	-0.49*	ns	-0.52*	ns	0.46*	ns	ns	0.44*	-0.75**	-0.67**	-0.74**	

Factor galleta (FG), color amarillo (b*), rojizo (a*), humedad (%H), fibra dietaria soluble (SDF), humedad de la galleta (%HG), pentosanos totales (PT), pentosanos solubles (PS), materia grasa (MG), gluten húmedo (%GH), índice de gluten (IG), gluten seco (%GS), índice de retención de agua alcalina (IRAA), perfil de retención de solventes utilizando agua (SRC a), sacarosa (SRC s), carbonato de sodio (SRC c) y ácido láctico (SRC I), índice de sedimentación en SDS (IS-SDS), y medias de tamaño de partícula (PSA), dv 10, 50 y 90 de la distribución del tamaño de partícula y span. (*) indica correlaciones con un $p < 0,05$ y (**) con un $p < 0,01$.

En cuanto al IRAA, se observó una correlación positiva con el FG, y correlación negativa de estos dos con la concentración de pentosanos solubles. Se sabe que tanto los pentosanos totales como los solubles en agua se relacionan con un menor diámetro de galleta y menor volumen de bizcochuelos (Kaldy *et al.*, 1991). Éstos tienen la capacidad de disminuir el agua disponible de las masas, aumentando la viscosidad y disminuyendo, por ende, la capacidad de expansión de la galletita (Pareyt y Delcour, 2008). El FG correlacionó, a su vez, negativamente con el contenido de SDF. Un menor valor de IRAA hace referencia a una menor capacidad de retención de agua por parte de las harinas, indicando que tienen una mejor aptitud para la elaboración de galletitas. Sin embargo se observó que a mayor IRAA se obtiene un mayor FG, contrariamente a lo que sucede en el caso de las harinas blancas, estos resultados indican que la absorción de agua alcalina en el IRAA se ve afectada por componentes del salvado y el germen, por lo tanto este ensayo no presenta relación con la calidad de la galletita. Aun así, al tener mayor concentración de pentosanos solubles en la harina, se observa un menor FG, lo cual haría referencia a que, a pesar de que IRAA no logró reflejar esta información, la composición, de la harina influyó en la calidad del producto elaborado.

El factor galletita no mostró correlación con el contenido de proteínas, gluten húmedo, gluten seco o índice de gluten. Esto se debe, probablemente, a que durante la elaboración de galletitas el desarrollo de la red de gluten se ve limitado por los grandes niveles de grasa y azúcar que tiene la masa (Huebner *et al.*, 1999). Sin embargo, las proteínas no son componentes inertes en la elaboración de galletitas (Gaines, 1990) ya que retienen agua, compitiendo por el agua libre en el sistema, por lo que altos niveles de proteínas reducen la expansión de la galletita durante el horneado. En la bibliografía existen resultados contradictorios respecto al rol de las proteínas en la calidad galletitera. Si bien la mayoría de los autores han reportado una asociación negativa entre ambos parámetros (Faridi *et al.*, 1994; Ram y Shingh, 2004), otros no han encontrado relación entre ellos (Yamamoto *et al.*, 1996; Colombo *et al.*, 2008).

En trabajos previos se ha informado que los parámetros de color que influyen sobre la aceptación de la galletita son L^* y a^* (León *et al.*, 1995; Ribotta *et al.*,

2002), los cuales se encuentran afectados por el contenido de fibra y ceniza de las harinas. Los parámetros a^* (verde-rojo) y b^* (amarillo) de las galletas correlacionaron de manera negativa con pentosanos solubles. A su vez, b^* mostró una relación positiva con FG. El color final de la galleta, entonces, se relaciona directamente con el FG y el efecto de horneado.

En cuanto al tamaño de partícula de las harinas, no se encontraron relaciones con ninguno de los parámetros de calidad de las galletitas. Se hallaron correlaciones positivas de los valores de PSA, dv_{10} , dv_{50} y dv_{90} con el contenido de SDF, al igual que lo hallado al analizar las variedades dos de trigo al mismo tiempo (tabla 9), y de gluten húmedo de las harinas, pero negativas con IDF y cenizas. Esta correlación indica que solo la fracción soluble de la fibra estaría asociada a un mayor tamaño de partícula en los trigos blandos, pero que la fibra insoluble y las cenizas (acumuladas en mayor proporción en las capas externas) disminuyen con el aumento del tamaño de partícula. Este resultado, en apariencia contradictorio, puede estar relacionado con que las harinas integrales contienen tanto partículas de endosperma como de salvado, y germen y salvado adheridos al endosperma con distintos tamaños relativos.

Moiraghi *et al.*, (2011), también encontraron relación entre PSA y el contenido de gluten, y a su vez entre PSA con proteínas y SRC agua. Los productos que no requieren desarrollo de gluten pueden tener diferentes requisitos de tamaño de partícula en comparación con los que sí lo hacen. En una evaluación de 69 variedades de trigo blando para galletas integrales, la expansión de las galletitas (FG) fue influenciada por el tamaño de partícula de la harina de trigo integral (Gaines y Donelson, 1985). Pequeñas partículas producían galletas más grandes, mientras que, harinas con partículas de salvado mayores producirán galletas más pequeñas. En una evaluación sensorial, la mejor aceptabilidad se alcanzó cuando los tamaños de partícula más finos eran usados (Gomez *et al.*, 2010).

En resumen, los test de predicción no reflejaron, para las harinas de grano entero obtenidas de diferentes líneas de trigo blando, las diferencias encontradas en la calidad final de las galletitas. El IRAA entregó información contradictoria, y el

método micro SRC no mostró correlaciones con la calidad de las galletitas elaboradas.

Sin embargo, la composición de las harinas sí influyó, de la misma manera que en harinas blancas, tanto en el color, como en el FG de los productos finales: estos parámetros fueron menores cuanto mayor fue la concentración de pentosanos y fibra dietaria soluble en las muestras. La humedad de las galletitas se encuentra también afectada por la retención de agua de estos componentes, los que resulta perjudicial para la textura final del producto.

3.5 ELABORACION DE PANES

Con las harinas de grano entero de los 9 cultivares de trigo duro se elaboraron panes de molde. Se realizaron modificaciones en la técnica, dejando más tiempo la masa en reposo para absorber el agua, y así formase la red de gluten. La cantidad de agua que se utilizó en cada muestra fue la requerida para formar la masa con la consistencia final deseada, y varió con cada cultivar. Una vez elaborados los panes, se esperó a que alcancen la temperatura ambiente, y se les midió color tanto de la miga como de la corteza, así como el volumen y la textura de los mismos. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 12.

Además de la reducción en el contenido de gluten cuando la harina contiene salvado, se cree que algunas propiedades intrínsecas del salvado tienen efectos negativos en la calidad final de los panes (Hemdane *et al.*, 2016). Estas propiedades pueden ser físicas, químicas o bioquímicas. Entre los aspectos físicos, el tamaño del salvado, la presencia de pelos del epicarpio (Gan *et al.*, 1992) y la fuerte capacidad de retención de agua (Li *et al.*, 2012) se han propuesto como factores responsables de su efecto perjudicial en la elaboración del pan. Los aspectos químicos incluyen la presencia de compuestos reductores como glutatión y ácido ferúlico más abundantemente presentes en la capa de aleurona en comparación con el endospermo amiláceo (Noort *et al.*, 2010) y que podría debilitar la red de gluten. Finalmente, también se ha asociado que las enzimas presentes en el salvado, ya sean de origen microbiano o provenientes de la aleurona, puede tener un impacto considerable en la fabricación de pan (Dornez *et al.*, 2008). En la Figura 10 se presentan imágenes representativas de los panes obtenidos, y en la tabla 12 los valores de los parámetros de calidad obtenidos



Figura 10. Imágenes de panes elaborados con harinas de grano entero. Vista frontal (izquierda) vista superior (derecha). Los panes de la foto son los elaborados con los cultivares Yarara a la derecha y ACA 315, izquierda.

El volumen específico osciló entre 1,75 y 2,12 cm^3/g , valores mayores a los encontrados en panes elaborados con harinas de grano entero por Bressiani *et al* (2017), pero más bajos que los obtenidos por Wang *et al.*, (2002), quien informó valores de 2,9 cm^3/g con el agregado de inulina y de 2,8 cm^3/g con fibra de arveja y harinas refinadas de trigo. En ese trabajo, el total de la harina utilizada para la elaboración de panes fue de grano entero, es decir, no se mezcló con harinas refinadas, por lo que se esperaba que los volúmenes obtenidos fueran menores a los publicados en otros estudios donde, en general, se sustituye una parte de la harina refinada por otras harinas o distintas fibras. Los panes que presentaron los volúmenes específicos más altos fueron aquellos elaborados con los cultivares Klein Yarara, Biointa y Baguette 11, todos por encima de 2 cm^3/g . Cabe destacar que el cultivar Biointa fue el que arrojó un valor significativamente mayor de tamaño de partícula de acuerdo con lo reportado por Noort *et al.*, (2010). Dentro de estos, el mayor volumen específico fue la pieza elaborada con Baguette 11. Los de menor volumen fueron los de las harinas integrales de LE 2330 (significativamente el menor de todos), Cronox y ACA 320. Este último, además, fue el que presentó mayor firmeza. Los de menor firmeza fueron los panes elaborados a partir del cultivar Guerrero y Baguette 11. Todos los cultivares presentaron firmezas similares a las encontradas por Wang *et al.*, (2002), entre 20,7 y 26,8 N.

Tabla 12. Parámetros de calidad evaluados en los panes elaborados con harinas integrales de trigo duro.

Muestra	VE (cm ³ /g)	Firmeza (N)	Corteza			Miga		
			L*	a*	b*	L*	a*	b*
BIOINTA	2.02 cd	21.34 b	43.75 a	15.13 b	21.75 abc	57.77 bcd	5.59 ab	18.13 bc
LE 2330	1.75 a	26.48 c	48.34 b	11.58 a	24.04 d	55.56 ab	6.77 e	18.04 bc
BAGUETTE	2.12 d	18.69 a	47.14 b	12.71 a	23.82 d	59.16 cd	5.96 bc	18.05 bc
ACA 315	1.95 bc	21.64 b	43.86 a	13.57 ab	22.93 cd	56.93 bc	6.15 cd	17.03 ab
ACA 320	1.88 ab	30.76 d	43.79 a	12.86 a	21.42 ab	60.12 d	5.83 abc	17.23 ab
K. YARARA	2.02 cd	27.20 c	47.51 b	12.80 a	23.97 d	57.57 bcd	5.98 bc	16.89 a
CRONOX	1.87 ab	26.67 c	46.71 b	11.73 a	22.20 bc	57.37 bc	6.14 cd	18.50 c
ANIV 75	1.98 bcd	27.49 c	42.16 a	13.02 ab	20.57 a	57.37 bc	6.55 de	18.14 bc
GUERRERO	1.92 bc	18.43 a	42.57 a	12.61 a	21.14 ab	54.11 a	5.50 b	20.15 d

Distintas letras en una misma columna refieren diferencias significativas entre los cultivares ($p < 0,05$).

En distintos trabajos se ha enriquecido la formulación de panes con fibra dietética, incluyendo salvado de trigo (Ranhotra *et al.*, 1990; Sidhu *et al.*, 1999), goma guar y celulosas modificadas (Pomeranz *et al.*, 1971), y β -glucanos (Knuckles *et al.*, 1997) para aumentar el valor nutricional del producto. La adición de estas fibras, a pesar de enriquecer nutricionalmente el producto, provoca un efecto negativo sobre la calidad final del pan, siendo los más evidentes la reducción del volumen específico de la pieza, el aumento de la firmeza, el color más oscuro del producto y el aspecto compacto de su miga.

Wang *et al.*, (2001), al elaborar panes con agregados de fibras comerciales también observaron una disminución en el volumen específico en comparación con panes de harina refinada, además, revelaron un aumento de la permeabilidad de la masa al dióxido de carbono. Galliard (1986) y Gan *et al.*, (1989) encontraron que la adición de componentes particulados a masas, especialmente salvado y fibras, promueven una interrupción física de la matriz proteica de gluten, al igual que Noort *et al.*, (2010). Ellos explicaron este efecto asumiendo que las fibras actúan como puntos de debilidad o estrés dentro de las paredes alveolares de la masa en expansión. A su vez, Pomeranz *et al.*, (1971) supusieron que el efecto depresor del volumen del pan era causado por la adición de celulosa, salvado o avena, y podría deberse a una menor capacidad

de retención de gases. Se conoce que las porciones de las capas externas del grano de trigo también contienen varios compuestos químicos y enzimas que pueden afectar las propiedades de horneado (Joye *et al.*, 2009), como el glutatión (Every *et al.*, 2006), fitato (Lehrfeld y Wu, 1991), ácido ferúlico (Adom *et al.*, 2005) y lipoxigenasa (Every *et al.*, 2006), los cuales disminuyen la calidad final de los productos elaborados con harina en donde se encuentran las mismas.

Las masas ricas en fibra tienen una alta absorción de agua, por lo que el tiempo de fermentación se acorta dada su menor tolerancia (Laurikainen *et al.*, 1998). Por este motivo, en este trabajo se disminuyó el tiempo de leudado y el número de sobados realizados sobre la masa, en relación a la elaboración que se realizaba con harina blanca. Pomeranz *et al.*, (1971) observaron efectos en la absorción de agua al agregar salvado de trigo, y lo mismo sucedió con el agregado de salvado de centeno (Laurikainen *et al.*, 1998) y salvado de arroz (Barber *et al.*, 1981). Esto es probablemente causado por la gran cantidad de grupos hidroxilo existentes en la estructura de la fibra dietética, que permiten más interacciones con el agua a través de puentes de hidrógeno, como fue encontrado por Rosell y Alabama *et al.*, (2001), trabajando con diferentes hidrocoloides.

Hung *et al.*, (2007) elaboraron panes con harinas refinadas e integrales de trigo ceroso (sin amilosa), y sus mezclas. Encontraron que la masa hecha con harina integral aumentó la absorción de agua y mostró una menor estabilidad durante la mezcla que la de harina blanca. A medida que fue aumentando la cantidad de fibra en la formulación, la concentración de gluten se diluyó en la masa durante la mezcla para formar una masa débil e inextensible. El pan elaborado 100% con la harina de trigo ceroso integral tuvo un volumen específico significativamente más bajo, además de ser de color marrón oscuro y de sabor amargo. En otro de sus trabajos, demostraron, de la misma forma, que a medida que aumentó la cantidad de harina integral que se le agrega a la formulación del pan, disminuía el volumen específico del mismo desde $3,0 \text{ cm}^3/\text{g}$ al realizarlo con un 10%, hasta un $2,2 \text{ cm}^3/\text{g}$ para los panes elaborados exclusivamente con harina integral (Hung *et al.*, 2007) como en el caso del presente trabajo.

Respecto a los parámetros de color, los panes obtenidos en este trabajo fueron marrón oscuro tanto en la corteza como en la miga. Hung *et al.*, (2007) observaron un aumento de a^* y b^* junto con una disminución de L^* a medida que aumentaba la cantidad de harina integral con la que elaboraba panes, obteniendo valores de 39,7 para L^* , y 8,5 y 16,6 para a^* y b^* respectivamente. Estos valores son similares en relación a los parámetros a^* y b^* , pero aun menores en función de L^* a los obtenidos con las harinas integrales evaluadas en este estudio.



Figura 11. Volumen Especifico (VE) de los panes elaborados con los distintos cultivares de trigo duro (cm³/g).

Es evidente que, como se vio en este trabajo, las capas externas del grano de trigo ejercen efectos químicos sobre las propiedades de la masa (de Kock *et al.*, 1999; Noort *et al.*, 2010; Seyer y Gelinas, 2009).

3.5.1 Correlaciones entre la calidad de los panes, la composición de las harinas y los test de predicción

Al realizar análisis de correlación entre la composición de las harinas integrales de los cultivares de trigo duro y los test de predicción (Tabla 13), se observó una correlación positiva entre el contenido de proteínas con el SRC sacarosa, carbonato y agua, pero no se encontró correlación entre las proteínas y el SCR láctico, contrariamente a Guttieri *et al.*, (2002), quienes informaron una correlación positiva significativa entre estos dos parámetros en harinas integrales. Otros estudios, sin embargo, indicaron que no hay correlación entre el contenido de proteínas y los valores de SRC (Gaines, 2000; Guttieri *et al.*, 2001; Ram y Singh, 2004).

A su vez, se halló una correlación positiva entre pentosanos solubles y el contenido de gluten húmedo y seco, debido a que dentro de la red de gluten que se forma quedan retenidas partículas de salvado, que pueden observarse incluso macroscópicamente. Este salvado es rico en PT y PS que absorben entre 6 y 10 veces mayor cantidad de agua que el almidón dañado (Kulp, 1968; Jeleca and Hynka, 1971; Curtin y Delcour, 2002) produciendo una sobreestimación del contenido de gluten. Sin embargo, los mismos (PS) correlacionaron de manera negativa con el índice de gluten, que es un indicador de la calidad de la red formada. Es decir, aunque se sobreestime la cantidad de gluten, queda claro que su calidad se ve disminuida por el contenido de pentosanos. Esto nos permitió afirmar que, a mayor contenido de pentosanos solubles, es menor la capacidad de formación de una red de gluten de alta calidad.

El IS-SDS, correlacionó de manera positiva con el contenido proteico, y %GH y %GS. Estos resultados, al igual que en harinas refinadas, reflejaron las

relaciones esperadas entre la composición de la harina, y el resultado de los ensayos de predicción para los trigos panaderos.

En cuanto a la calidad de los panes obtenidos a partir de las harinas integrales de los cultivares de trigo duro, se observó que la firmeza de los productos presentó una relación negativa con la concentración de IDF en la harina, obteniendo un producto de menor firmeza, es decir de miga más esponjosa, cuando mayor es la retención de agua de la masa, otorgada por la fibra. Por otro lado, la firmeza de la miga correlacionó de manera positiva con el IS-SDS. Es decir, la pieza de pan es más firme cuando la red de gluten que se forma es más fuerte.

La dilución del gluten por la adición de fracciones de fibra fue propuesta por Gan (1992) como una causa del deterioro en la calidad del pan. Otros autores postularon a las fibras como obstáculos físicos de la red de gluten, y efectos negativos sobre las enzimas de la harina (Lai *et al.*, 1989). En una serie de trabajos, Wang *et al.*, (2003a, b, 2004a, b) reportaron un estudio sistemático sobre los efectos tanto de los pentosanos solubles como de los insolubles de la harina de trigo en la formación de la red de gluten. Concluyó que, en principio, ambas fracciones tienen el mismo efecto negativo, se forma menos gluten y la red que logra formarse es más rígida y menos extensible.

Las muestras de trigo con las que se trabajó en este ensayo mostraron altos valores de contenido proteico (promedio de 15,26%). Se observaron correlaciones negativas entre el tamaño medio de partícula (PAS), y los d_v 50 y 90 con el IS-SDS, como consecuencia de que, a mayor tamaño, más dificultada se ve la formación de la red de gluten y, por ende, la expansión de la masa de harina integral durante el proceso de panificación. El tamaño de partícula de la fracción de salvado en la harina de trigo integral tiene una sorprendente influencia en las propiedades funcionales de la harina. En general, partículas grandes de salvado de trigo (tamaño de partícula medio mayores a 500 μ m) conducen a una mayor absorción de agua (Anderson y Eastwood, 1987; Mongeau y Brassard, 1982) y mayor volumen del pan (de Kock *et al.*, 1999;

Zhang y Moore, 1999) en comparación con tamaños de partículas de salvado más finos (inferior a aproximadamente 500 μm). Sin embargo, si las partículas son demasiado gruesas ($> 600 \mu\text{m}$), como en este trabajo, el pan posee una corteza áspera junto con una apariencia y textura arenosa (Zhang y Moore, 1999). Las partículas pequeñas tienen un mayor impacto negativo en la calidad del pan porque los componentes químicos en el salvado pueden interactuar más fácilmente con el gluten e inhibir su desarrollo (Noort *et al.*, 2010). Por lo tanto, un tamaño de partícula moderado (entre 400-500 μm) puede ser el más deseable en harina de trigo integral para la producción de pan.

Lagrain *et al* (2007), Coda *et al* (2014) y Moder *et al.*, (1984), junto con Lorenz (1976) informaron que al reducir el tamaño de partículas del salvado se obtenían panes de mejor calidad, y resultaba en un mayor volumen específico de la pieza. Por otro lado, Noort *et al.*, (2010), y Zhang y Moore (1999) concluyeron que se observan menos efectos adversos en la elaboración de pan, cuando mayor es el tamaño del salvado agregado, al igual que Galliard y Gallagher, (1988). Recientemente, Jacobs *et al.* (2016) estudiando el impacto de la hidratación de salvado en la capacidad del desarrollo óptimo de la masa y el volumen específico del pan, demostraron que la estimación inadecuada del tiempo de mezcla puede llevar a una evaluación incorrecta del impacto real en producción de panes de harina integral y ayuda a explicar las contradicciones encontradas en la literatura.

En cuanto al tamaño de partícula de las distintas harinas, se encontraron correlaciones positivas entre todos los parámetros evaluados de tamaño de partícula y la humedad de la harina y a^* de la corteza del pan, y negativo con a^* de la miga. Cai *et al.* (2014) y Hemdane *et al.* (2016) encontraron una reducción en el volumen de pan y un mayor grado de retrogradación del almidón durante el almacenamiento de pan hecho de harina de trigo con salvado de tamaño de partícula más pequeño. En este trabajo no se encontraron correlaciones entre el volumen de la pieza y PSA.

Tabla 13. Correlaciones entre composición centesimal, test de predicción y parámetros de calidad panadera para las harinas integrales de los cultivares de trigos duros.

	VE	Textura	Lcorteza	bcorteza	amiga	bmiga	PSA	dv 10	dv 50	dv 90	span	cenizas	proteínas	%GH	IG	%GS	SDF	PT	PS	SRC a	SRC s	SRC c	
orteza	0,47*	ns	-0,46**																				
miga	ns	-0,48*	ns	ns	ns	1																	
10	ns	ns	ns	ns	-0,55**	ns	0,72**	1															
50	ns	ns	ns	ns	-0,50*	ns	0,92**	0,73**	1														
90	ns	ns	ns	ns	-0,51*	ns	0,96**	0,65**	0,88**	1													
an	ns	ns	0,66**	0,50*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1												
l	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,51*	0,46*	0,47*	0,52*	ns												
nizas	ns	-0,47*	-0,60*	-0,47*	-0,53*	0,46*	ns	ns	ns	ns	ns	1											
teínas	ns	ns	-0,47*	ns	ns	ns	-0,60*	ns	ns	-0,69**	ns	ns	1										
3H	ns	ns	ns	0,47*	ns	ns	-0,48*	-0,44*	-0,50*	ns	ns	ns	ns	1									
	ns	ns	-0,49*	-0,56*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,46*	ns	-0,81**	1								
3S	ns	ns	ns	ns	ns	-0,48*	-0,46*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,97**	-0,71**	1							
IF	ns	ns	ns	ns	ns	0,55*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1						
l	ns	-0,72**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns						
	ns	ns	-0,55*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,52*	ns	0,55*	ns	ns	ns	ns	1					
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,55*	ns	ns	ns	ns	ns	0,65**	-0,49*	0,68**	ns	0,49*	1				
3	0,66**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,58**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
IC a	ns	ns	-0,49*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,48*	0,52*	0,54*	ns	ns	ns	-0,53*	ns	ns	1			
IC s	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,72**	ns	-0,63**	-0,78**	ns	ns	0,72**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,65**	1		
IC l	ns	ns	ns	-0,48*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,67**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,46*	0,60**	1	
IC c	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,71**	ns	-0,61**	-0,66**	ns	ns	0,68**	0,49*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,82**	0,63	
SDS	ns	0,55*	ns	0,50*	ns	-0,73**	-0,56*	ns	-0,54**	-0,53**	ns	ns	0,50*	0,73**	ns	0,75**	ns	ns	0,51*	ns	ns	ns	

Volumen específico (Vol), luminosidad (L*), Color amarillo (b*), rojizo (a*), humedad (%H), fibra dietaria soluble (SDF), fibra dietaria insoluble (IDF), pentosanos totales (PT), pentosanos solubles (PS), materia grasa (MG), gluten húmedo (%GH), índice de gluten (IG), gluten seco (%GS), índice de retención de agua alcalina (IRAA), perfil de retención de solventes utilizando agua (SCR a), sacarosa (SCR s), carbonato de sodio (SRC c) y ácido láctico (SCR l), índice de sedimentación en SDS (IS-SDS), y medias de tamaño de partícula (PSA), dv 10, 50 y 90 de la distribución del tamaño de partícula y span. (*) $p < 0,05$ y (**) $p < 0,01$.

El alto contenido de fibra dietética se debió a la presencia del salvado, el cual, en la panificación, deteriora las propiedades reológicas de la masa, disminuye el volumen de pan, aumenta la firmeza de la miga, oscurece su apariencia y la de la corteza del producto, y da diferentes perfiles de sabor en relación con panes de harina blanca de trigo (Chang y Chambers, 1992; Lai, *et al.*, 1989; Ozboy y Koksel, 1997; Wang, *et al.*, 2002). Al encontrar una pobre calidad de pan en distintos trabajos. Atwell *et al.*, (2000) recomendaron utilizar menos del 50% de la harina sustituida en las fórmulas. Otra propuesta para resolver estos problemas fue utilizar diferentes fracciones de la molienda, ya que el tamaño de partícula del salvado parece jugar un papel importante en la calidad del pan (Glitso y Bach Knudsen, 1999).

En la elaboración de pan con harinas de grano entero, se obtuvieron productos de bajo volumen específico, y de miga y corteza oscura lo cual sugiere una calidad pobre de los mismos. Esto se debe principalmente a la presencia de concentraciones elevadas de fibra dietética, incluidos los pentosanos, que disminuyen la capacidad de formación de la red de gluten en las harinas de grano entero (reduciendo el índice de gluten), y disminuyen el L^* , tanto de la miga como de la corteza del pan.

Los panes de harina de grano entero se caracterizaron, además, por presentar alta firmeza y bajo volumen, por su color oscuro en miga y corteza (bajo L^*) y por ser marrones (bajo b^*). El L^* de la corteza de los panes, que a valores más altos refiere mayor luminosidad, correlacionó negativamente con proteínas, PT y cenizas de la harina integral, observándose que a mayor concentración de los mismos se obtuvo un producto más oscuro, probablemente por un mayor contenido relativo de salvado que es la fracción más rica en pentosanos y cenizas. El mismo tipo de correlaciones se halló con SRC agua y sacarosa, y el IG. En el caso del color de la miga, solo se observó una relación negativa con el contenido de fibra insoluble y SRC sacarosa. También se observó que, a mayor concentración de cenizas y mayor IG, el pan tendió a tener un menor b^* , siendo por tanto más marrón.

En la mayoría de las formulaciones que se utilizan comercialmente para obtener panes de salvado, se suele agregar una cierta cantidad de grasa con el fin de obtener una masa más elástica y expansible, y aumentar de esta manera el volumen final de la pieza (O'Brien *et al.*, 2003). Como en este trabajo se utilizaron harinas de grano entero, que también contienen molido el germen de trigo, son mayores y variables las cantidades de MG que se encuentran en la harina, y luego en la pieza de pan. A medida que fue mayor el contenido de materia grasa de las harinas integrales, se observó un mayor volumen específico.

Tal vez, la consideración más importante en la elaboración de productos con harina de granos entero sea la selección del proceso de molienda que se utilizará, debido a que, la técnica de molienda, puede tener un mayor impacto en la calidad de los productos de trigo integral (Kihlberg *et al.*, 2004). Las dos técnicas predominantes para moler harinas de grano entero son con molino de piedra y molino de rodillos, este último fue el método utilizado en la obtención de harinas para este trabajo.

Los test de predicción en el caso de los trigos duros mostraron correlaciones entre el IS-SDS con el contenido proteico y de gluten, y a su vez con el volumen específico del pan. También se observó que a mayor concentración de fibra dietaria insoluble, fue menor la firmeza del producto elaborado, y que el contenido de fibra de las harinas se vio luego reflejado en el color de los panes. Los test de predicción en el caso de estos tipos de trigo, brinda información sobre la calidad del producto que se elaborará con la harina integral.

114

CONCLUSIONES

116

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, realizado con 21 harinas de grano entero de cultivares de 2 variedades distintas de trigo (duro y blando), en donde se analizó su composición fisicoquímica, se realizaron ensayos de predicción y se elaboraron galletas y panes, cuya calidad fue evaluada, se puede concluir que:

- Se observaron diferencias tanto en la media de tamaño de partícula de las harinas de grano entero, como en la distribución de estos valores (PSA) en los distintos tipos de trigo, siendo mayor la media de las líneas de trigos blandos.
- Existen diferencias significativas entre la composición de las harinas de grano entero de los trigos blandos y duros cuando se realiza un análisis de manera global. Los trigos blandos contienen concentraciones significativamente mayores de fibra dietaria, y menores cantidades pentosanos y gluten que los trigos duros.
- Las galletas elaboradas con harinas integrales arrojaron aceptables valores de FG, humedad y firmeza. La calidad de los panes, en cambio, no fue buena, ya que presentaron bajo volumen específico, miga compacta y color de miga y corteza oscuro.
- En el caso de los trigos blandos, existe relación entre la composición de las harinas de grano entero, principalmente de la concentración de fibra y pentosanos, y la calidad final de las galletitas, a pesar de que los ensayos de predicción no logren evidenciar esta información.
- Los ensayos de predicción, en el caso de los trigos duros, son útiles para dar una idea de cuál será la calidad de los panes a elaborar con las harinas integrales de los distintos cultivares, según cual sea su composición fisicoquímica. EL IS-SDS y el contenido de gluten son los que mayor información brindan.
- La fracción de salvado influye sobre el comportamiento del sistema con el cual se trabaja a la hora de elaborar los distintos productos con harinas integrales. Su interferencia afecta las interacciones que se observan entre los componentes en harinas refinadas, y esto hace que los ensayos de predicción no arrojen los resultados esperados.

Se puede concluir, entonces, que la hipótesis planteada fue aceptada, y, por este motivo, se recomienda llevar adelante un análisis exhaustivo sobre el sistema que forman las harinas de grano entero, para buscar posibles modificaciones en los ensayos de predicción, y que éstos logren reflejar la misma información en harinas de grano entero que la que otorgan en el caso de las harinas refinadas, así como distintas maneras de obtener productos integrales de mayor calidad.

REFERENCIAS

120

AACC, American Association of Cereal Chemists, 2000. Approved Methods of the AACC, Ninth Edition. The Association, USA.

Abboud A., Rubenthaler G. and Hosenev R, 1985. Effect of fat and sugar in sugar-snap cookies and evaluation of test to measure flour quality. *Cereal Chemistry*, 62: 1241-29

Adom K., Sorrells M. E. and Liu R. H, 2005. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53: 2297-2306.

Akhtar M, Tariq A. F., Awais M. M., Iqbal Z., Muhammad F and Shahid, M., 2012. Studies on wheat bran Arabinoxylan for its immunostimulatory and protective effects against avian coccidiosis. *Carbohydrate Polymers*, 90, 333e339.

Anderson, A., Eastwood, M.A., 1987. Flow characteristics and the water retention properties of wheat bran. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 39:185e194.

Atwell W A, Hood L F, Lineback D R, Varriano-Marston E., Zobel H F, 2000. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33: 306-311.

Axford D. W. E., McDermott E. and Redman D. G, 1979. Note on the sodium dodecyl sulphate test of breadmaking quality: Comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chem*, 56: 582.

Bagdi A., Tomoskozi S., Nystrom L. Structural and functional characterization of oxidized feruloylated arabinoxylan from wheat, 2007. *Food Hydrocolloids* 63219e225.

Baltsavias A., Jurgens A., and Van Vliet T, 1999. Fracture properties of short-dough: effect of composition. *Journal of Cereal Science*, 29: 235-244.

Barber S., Benedito de Barber C. and Martinez J., 1989. Rice bran proteins, II, Potential value of rice bran fractions as protein food ingredients. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 21. 247-258.

Barlow K K., Butrose M.S., Simmonds D.H. and Vesik M. The nature of the starch-protein interface in wheat endosperm. *Cereal Chemistry* 50 (1973) 443-454.

Barrera G N, León A E and Ribotta P D, 2013. Effect of damaged starch on starch thermal behavior, *Starch/Stärke*, 116: 233-239.

Barrera G N, Pérez G T, Ribotta P D and León A E, 2007. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. *European Food Research and Technology*, 225: 1-7.

Bartnik M and Jakubczyk T, 1989. Chemical and nutritive value of wheat bran, *World Rev Nutr Diet* 60 92-131.

Bechtel D. B., Wilson J. D. and Martin C. R. Determining Endosperm Texture of Developing Hard and Soft Red Winter Wheats Dried by Different Methods Using the Single-Kernel Wheat Characterization System, 1996. *Cereal Chem.* 73(5):567-570.

Belton P, 1999. On the elasticity of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, 29:103-107.

Bettge AD and Morris C.F, 2000. Relationships among grain hardness, pentosan fractions and end-use quality of wheat. *Cereal Chemistry*, 77: 241-247.

Blackwood A, Salter J, Dettmar P and Chaplin M, 2000. Dietary fibre, physicochemical properties and their relationship to health. *J. R. Soc. Promot. Health* 120, 242e247.

Bloksma A. H., 1990. Rheology of the breadmaking process. *Cereal Foods World*, 35, 228-236.

Bock J.E., Connelly R.K. and Damodaran S., 2013. Impact of bran addition on water properties and gluten secondary structure in wheat flour doughs studied by attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Cereal Chem.* 90, 377e386.

Boita ERF, Oro T, Bressiani J, Santetti GS, Bertolin TE and Gutkoski LC, 2016. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. *J. Cereal Sci*, 71, 177e182.

Bourne MC, 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7): 62–66

Bressiani J, Oro T, Santetti GS, Almeida JL, Bertolin TE, Gomez M and Gutkoski LC, 2017. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science* 75 269-277.

Bushuk W, Hamer J, and Hosney R C, 1998. Interactions in wheat doughs: The key to cereal quality (eds) AACC, Inc. St. Paul MN, USA, pp. 1-16.

CAA, Código Alimentario Argentino, Ley 18.284 18/07/69, Decreto 2126/71- Reglamentario de la Ley 18.284, 2009/10a. Alimentos Farináceos - Cereales, Harinas y Derivados. Capítulo IX. http://www.anmat.gov.ar/webanmat/codigoa/CAPITULO_IX_Harinas_actualiz_06-03.pdf.

Caers M, Coutteau P and Sorgeloos p, 2000. Incorporation of different fatty acids, supplied as emulsions or liposomes, in the polar and neutral lipids of *Crassostrea gigas* spat. *Aquaculture*, Volume 186, Issues 1–2, 1 June 2000, Pages 157-171.

Cai L, Choi I, Hyun JN, Jeong YK and Baik BK, 2014. Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation. *Cereal Chem.* 91, 65e71.

Campbell G.M., Bunn P.J., Webb C. and Hook, S.C.W., 2001. On predicting roller milling performance. Part II. The breakage functions. *Powder Technology* 115, 243–255.

Campbell K.G., Bergman C. J., Gualberto D. G., Anderson J. A., Giroux M. J., Hareland G., Fulcher, Mark R. G., Sorrells E., and Finney P. L. Quantitative Trait Loci Associated with Kernel Traits in a Soft × Hard Wheat Cross. *Crop Sci.* 39:1184-1195 (1999).

Cao L., Liu X., Qian T., Sun G., Guo Y. and Chang, F., 2011. Antitumor and immunomodulatory activity of arabinoxylans: a major constituent of wheat bran. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 160e164.

Carpita N, C, and Gibeaut D, M, 1993. Structural models of primary cell walls in flowering plants: Consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant Journal* 3:1-30.

Carter BP, Morris CF and Anderson JA, 1999. Optimizing the SDS sedimentation test for end-use quality selection in a soft white and club wheat breeding program. *Cereal Chemistry* 76, 907–911.

Cauvain SP and Young LS, 2000. *Bakery Food Manufacture y Quality: Water Control and Effects*. Oxford, Blackwell Science.

Cauvain SP, 1998. Improving the control of staling in frozen bakery products, *Food Science and Technology*, 9: 56-61.

Chang CY and Chambers E, 1992. Flavor characteristics of breads made from hard red winter wheat and hard white winter wheat. *Cereal Chemistry*, 69, 556–559.

Chaplin M, F, 2003. Fibre and water binding, *Proceedings of the Nutrition Society* 62 (1): 223-227.

Chen CH and Bushuk W, 1970. Nature of proteins in Triticale and its parental species I, Solubility characteristics and amino-acid composition of endosperm proteins, *Canadian Journal of Plant Science*, 50: 9-14.

Chevallier S, Colonna P, Della Valle G and Lourdin D, 2000. Contribution of mayor ingredients during baking of biscuit dough systems. *Journal of Cereal Science*, 31: 241-252.

Chevallier S, Della Valle G, Colonna P, Broyart B and Trystram G, 2002. Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of Cereal Science*, 35:1-10,

Chung OK., Ohm JB, Caley MS and Seabourn B. 2001. Prediction of baking characteristic of hard winter wheat flours using computer-analyzed mixograph parameters. *Cereal Chem.* 78:493-497.

Coda R, Karki I, Nordlund E, Heinio RL, Poutanen K and Katina K, 2014. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran. *Food Microbiol.* 37, 69e77.

Colombo A, Pérez GT, Ribotta PD, and León AE, 2008. A comparative study of physicochemical tests for quality prediction of Argentine wheat flours used as corrector flours and for cookie production. *Journal of Cereal Science*, 48: 775-780.

Cornish GB, Bekes F, Allen HM and Martin DJ, 2001. Flour proteins linked to quality traits in an Australian doubled haploid wheat population. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52:1339-1348.

Courtin CM and Delcour JA, 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, 35: 225-243.

Crittenden R, Karppinen S, Ojanen S, Tenkanen M, Fagerstorm R, Matto J, Saarela M, Mattila-Sandholm T and Poutanen K, 2002. In vitro fermentation of cereal dietary fibre carbohydrates by probiotic and intestinal bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(8): 781-789.

Cuniberti M, Mir I, Chialvo E, Berra O, Macagno, S. y Pronotti M. 2016. Rendimiento y calidad del trigo en la región central del país. *Information para Extension*. www.inta.gov.ar/mjuarez.

Curic D, 2001. Gluten as a standard of wheat flour quality. *Food Technology and Biotechnology*, 39:353-361.

Dammann K W, Hauge D, Rosen RA, Schroeder N and Marquart L, 2013. Consumption and consumer challenges of wholegrain foods. En J. A. Delcour, & K. Poutanen (Eds.), *Fibre- rich and wholegrain foods* (1st ed.) pp. 130-131.

Day L., Augustin M A, Batey I. L, and Wrigley, C. W, 2006. Wheat-gluten uses and industry needs. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 82e90.

de Kock S, Taylor J and Taylor JRN, 1999. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. *Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie* 32(6), 349e356.

De La Llave A., 2004. Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación. [Tesis en Licenciatura de Ingeniería de Alimentos]. Cholula, Puebla, México. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas Puebla.

Decock P, Cappelle S, 2005. Bread technology and sourdough technology. *Trends in Food Science and Technology*, 16 (1-3), 113-120.

Delcour JA and Hosney RC, 2010. *Principles of Cereal Science and Technology*, third ed. AACC International, St. Paul, MN, USA.

Delcour JA, Joye IJ, Pareyt B, Wilderjans E, Brijs K and Lagrain B, 2012. Wheatgluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annu. Rev. LWT Food Sci. Technol.* 3, 469e492.

Delwiche SR, 2000. Wheat endosperm compressive strength properties as affected by moisture. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 43, 365-373.

Dewettinck K, Van Bockstaele F, Kühne B, Van de Walle D, Courtens TM and Gellynck X, 2008. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science* 48(2): 243-257.

Dick J, W, and Youngs V, L, 1988. Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States, En: *Durum Wheat: Chemistry and Technology*. Ed, Fabriani G, and Lintas C. American Association of Cereal Chemistry pp, 237-248.

Doblado-Maldonado A F, Pike O A, Sweley J C and Rose D J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. *Journal of Cereal Science* 56 (2012) 119e126.

Doescher L C, Hosney RC, Milliken G A and Rubenthaler GL, 1987. Effect of sugars and flours on cookie spread evaluated by time-lapse photography. *Cereal Chemistry*, 64: 163-167.

Dornez E, Gebruers K, Joye I J, De Ketelaere B, Lenartz Massaux C, Bodson B, Delcour JA and Courtin C M, 2008. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. *Journal of Cereal Science*, 47: 180-189.

Eliasson A and Larsson K, 1993. Bread, En: *Cereals in Breadmaking*, Eliasson A., Larsson K, (eds.) Marcel Dekker, USA. pp. 325-363.

Ellis RP, Camm JP and Morrison WR, 1992. A rapid test for malting quality in barley. HGCA Report No. 63.

Esposito F, Arlotti G, Bonifati A M, Napolitano A, Vitale D and Fogliano V, 2005. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International* 38(10): 1167-1173.

Every D, Morrison SC, Simmons L D and Ross M.P., 2006b. Distribution of glutathione in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour. *Cereal Chemistry* 83, 57e61.

Every D, Simmons L D and Ross, M.P., 2006a. Distribution of redox enzymes in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour. *Cereal Chemistry* 83, 62e68.

FAIM. 2015. Federación Argentina de la industria molinera. Datos de consumo de harina de Estadística Nacional. Publicado en Internet en <http://www.faim.org.ar/Nacional.aspx> Activo Enero 2015.

FAO. 2015. The State of Food Insecurity in the World, pp. 1-56. www.fao.org.

FAOSTAT. 2015. División estadística de la Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Informe producción mundial de granos. Publicado en internet, disponible en: <http://faostat3.fao.org>.

Fardet A, Rock E and Rémésy C, 2008. Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science* 48(2): 258-276.

Faridi H, Gaines C, and Finney P, 1994. Soft wheat quality in the production of cookies and crackers. En: *Wheat: Production, Properties and Quality*. W, Bushuk and V, Rasper, (eds.), Chapman and Hall: Glasgow, Scotland, pp 154-168.

Fausch H, Kundig W and Neukom H, 1963. Ferulic acid as a component of a glycoprotein from wheat flour. *Nature*, pp. 199 – 287.

FDA. FDA provides guidance on "Whole Grain" for manufacturers [cited 2010 Jun 1]. Disponible en: <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2006/ucm108598.htm>. University Press, Oxford, UK, p. 156.

Finney KF and Barmore MA, 1948. Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheats. *Cereal Chemistry*, 25: 291-312.

Finnie SM, Bettge AD and Morris CF, 2006. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chemistry*, 83: 617-623.

Food Balance Sheet (2007). <<http://www.faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=346&SelTab=4>>.

Frontela C., Ros G. and Martinez C. 2011. Phytic acid content and "in vitro" iron, calcium and zinc bioavailability in bakery products: The effect of processing. *Journal of Cereal Science* 54(1): 173-179.

Fulcher RG and Duke TK, 2002. Whole-grain structure and organization: Implications for nutritionists and processors. En L, Marquart, L, Slavin, & R, G, Fulcher (Eds.), Whole-grain foods in health and disease St, Paul, Minnesota: AACC International, pp, 9-45.

Fu-min Ma, Zhang Wang, Shi-ying Xu and Rong-rong Lu, 2009. The interaction between water-insoluble pentosan and gluten of the whole wheat. *European Food Research and Technology*, 229 (2): 231-238.

Gaines C.S and Donelson J.R., 1985. Evaluating cookie spread potential of whole wheat flours from soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry* 62, 134e136.

Gaines CS, 1990. Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness. *Cereal Chemistry*, 67: 73-77.

Gaines CS, 1991. Instrumental measurements of the hardness of cookies and crackers. *Cereal Foods World*, 36: 989-996.

Gaines CS, 2000. Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles (AACC Approved Method 56-11,01). *Cereal Foods World*, 45: 303-306, 148.

Gaines CS, 2004. Prediction of Sugar-Snap Cookie Diameter Using Sucrose Solvent Retention Capacity, Milling Softness, and Flour Protein Content. *Cereal Chemistry*, 81: 549-552.

Gaines CS, Frégeau Reid J, Vander Kant and Morris CF, 2006. Comparison of Methods for Gluten Strength Assessment. *Cereal Chemistry*, 83: 284-286.

Gaines CS, Kassuba A and Finney PL, 1994. Influence of eight flours on the hardness of commercial cookies and crackers. *Cereal Foods World*, 39: 160, 162, 164, 166-167.

Galliard T and Gallagher DM, 1988. The effect of wheat bran particle size and storage period on bran flavor and baking quality of bran/flour blends. *J Cereal Sci* 8:147.

Galliard T and Gallagher DM, 1988. The effect of wheat bran particle size and storage period on bran flavor and baking quality of bran/flour blends. *J Cereal Sci* 8:147.

Galliard T, 1986a. Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of wholemeal flour: effects of bran and germ components. *Journal of Cereal Science* 4, 179e192.

Galliard T, 1986b. Oxygen consumption of aqueous suspensions of wheat wholemeal, bran and germ: involvement of lipase and lipoxygenase. *Journal of Cereal Science* 4, 33e50.

Gan Z, Ellis PR and Schofield JD, 1995. Mini review: Gas cell stabilization and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21: 215-230.

Gan Z, Ellis PR, Vaughan JG and Galliard T, 1989. Some effects of non-endosperm components of wheat and of added gluten on wholemeal bread structure. *Journal of Cereal Science*, 10, 81-91.

Gan Z, Galliard T, Ellis PR, Angold RE and Vaughan JG, 1992. Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. *J Cereal Sci* 15:151±163.

Garcia AL, Otto B, Reich SC, Weickert MO, Steiniger J and Machowetz, A, 2006. Arabinoxylan consumption decreases postprandial serum glucose, serum insulin and plasma total ghrelin response in subjects with impaired glucose tolerance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, 334e341.

Giroux M J and Morris CF, 1998. Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95: 6262-6266.

Glenn GM and Saunders RM, 1990. Physical and structural properties of wheat endosperm associated with grain texture. *Cereal Chemistry*, 67: 176-182.

Glitsso LV and Bach Knudsen KE, 1999. Milling of whole grain rye to obtain fractions with different

dietary fibre characteristics. *Journal of Cereal Science*, 29, 89–97.

Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke WS, Courtin CM, Gebruers K, and Delcour JA, 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 12-30.

Gomez M, Manchon L., Oliete B, Ruiz E and Caballero PA, 2010. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT-Food Science and Technology* 43, 33e38.

Gómez Pallarés M, León AE, Rosell CM, 2007. Trigo; en León A.E., Rosell C.M., editores, *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. 1ra Edición. Hugo Baéz editor. Córdoba, Argentina. Pág. 19-33.

Graveland A, 1980. Extraction of wheat proteins with sodium dodecyl sulphate. *Annales de Technologie Agricole*, 29: 113-123.

Greenblatt GA, Bettge AD, and Morris C F, 1995. Relationship between endosperm texture and the occurrence of friabilin and bound polar lipids on wheat starch. *Cereal Chem.* 72:172-176.

Greenwell P and Schofield JD, 1986. A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. *Cereal Chem* 63:379-380.

Greffeuille V, Abecassis J, Lapiere C and Lullien-Pellerin V, 2006. Bran size distribution at milling and mechanical and biochemical characterization of common wheat grain outer layers: a relationship assessment. *Cereal Chemistry* 83, 641e646.

Guttieri M, Bowen D, Gannon D, O'Brien K and Souza E, 2001. Solvent retention capacities of irrigated soft white spring wheat flours. *Crop Science*, 41: 1054-1061.

Guttieri MJ, Becker C and Souza E, 2004. Application of wheat meal solvent retention capacity tests within soft wheat breeding populations. *Cereal Chemistry* 81, 261–266.

Guttieri MJ, McLean R, Lanning SP, Talbert LE and Souza EJ, 2002. Assessing environmental influences on solvent retention capacities of two soft white spring wheat cultivars. *Cereal Chemistry* 79, 880–884.

Guttieri MJ, Souza EJ and Sneller C, 2008. Nonstarch Polysaccharides in Wheat Flour Wire-Cut Cookie Making. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 10927– 10932.

Guttieri MJ, Bowen D, Gannon D, O'Brien K and Souza E, 2002. Solvent Retention Capacities of Irrigated Soft White Spring Wheat Flours. *cropsci2001,4141054x*

Hashimoto S, Shogren M and Pomeranz Y, 1987. Cereal pentosans: Estimation and significance Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chemistry*, 64: 30-34.

Heinio RL, Lehtinen P, Oksman-Caldentey KM and Poutanen K, 2002. Differences between sensory profiles and development of rancidity during long term storage of native and processed oat. *Cereal Chemistry* 79, 367e375.

Hemdane S, Langenaeken NA, Jacobs PJ, Verspreet J, Delcour JA and Courtin CM, 2016. Study of the intrinsic properties of wheat bran and pearlings obtained by sequential debranning and their role in bran-enriched bread making. *Journal of Cereal Science* 71 78e85.

Hemery Y, Rouau X, Dragan C, Bilici M, Beleca R and Dascalescu L, 2009. Electrostatic properties of wheat bran and its constitutive layers: Influence of particle size, composition, and moisture content. *Journal of Food Engineering* 93 (2009) 114–124.

Hemery Y, Chaurand M, Holopainen U, Lampi AM, Lehtinen P and Puronen V, 2011. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients. part I: Influence of ultra-fine grinding. *Journal of Cereal Science*, 53, 1e8.

Hong BH, Rubenthaler GL and Allan RE, 1989. Wheat pentosans I cultivar variation and relationship to kernel hardness. *Cereal Chemistry* 66 (1989) 369±373.

- Hoseney RC, 1994a. Structure of Cereal. En: Principles of Cereal Science and Technology, Second Edition, Editado por Hoseney RC, American Association of Cereal Chemists, USA, 1-27.
- Hoseney RC, 1994b. Rheology of doughs and batters. En: Principles of Cereal Science and Technology. Second Edition, Editado por Hoseney RC, American Association of Cereal Chemists, USA, 213-228.
- Hoseney RC, 1994c. Gluten proteins. En: Principles of Cereal Science and Technology. Second Edition, Editado por Hoseney RC. American Association of Cereal Chemists, USA, 197-211.
- Hoseney RC, 1994d. Dry Milling of Cereal. En: Principles of Cereal Science and Technology. Second Edition, Editado por Hoseney C. American Association of Cereal Chemists, USA, 125-145.
- Huebner FR, Bietz JA, Nelsen T, Bains GS and Finney PL, 1999. Soft wheat quality as related to protein composition. *Cereal Chemistry*, 76: 650-655.
- Hung PV, Maeda T and Morita N, 2007. Physicochemical Characteristics of Starches of Two Sets of Near-isogenic Wheat Lines with Different Amylose. *Content Starch-Stärke* 59: 125-131.
- Hurkman WJ, McCue KF, Altenbach SB, Korn A, Tanaka CK, Kothari KM, Johnson LE, Betchel DB, Wilson J D, Anderson OD and DuPont FM, 2007. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science* 164(5): 873-881.
- Igrejas G, Gaborit T, Oury FX, Chiron H, Marion D and Branlard G, 2001. Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationships to technological parameters in French bread wheats. *Journal of Cereal Science*, 34: 37-47.
- Jacobs PJ, Bogaerts S, Hemdane S, Delcour JA and Courtin CM, 2016. Impact of wheat bran hydration properties as affected by toasting and degree of milling on optimal dough development in bread making. *J. Agric. Food Chem.* 64, 3636e3644.
- Jelaca S and Hlynka I, 1971. Water-binding capacity of wheat-flour crude pentosans and their relation to mixing characteristics of dough. *Cereal Chemistry*, 48: 211-222.
- Joshi P and Brimelow C, 2002. Colour measurement of food by colour reflectance. En *Colour in food*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press, LLC. Editado por Douglas B, MacDougall.
- Joye IJ, Lagrain B and Delcour, JA, 2009. Endogenous redox agents and enzymes that affect protein network formation during breadmaking e a review. *Journal of Cereal Science* 50, 1e10.
- Kaldy M, Rubenthaler G, Kereliuk G, Berhow M and Vandreck C, 1991. Relationship of selected flour constituents to baking quality in soft white wheat. *Cereal Chemistry*, 65:508-512.
- Kasarda DD, Bernardin J and Nimmo C, 1976. Wheat proteins. En: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 1. Pomeranz Y, (ed.), American Association of Cereal Chemists, USA, pp, 158-236.
- Kent NL and Evers AD, 1994. *Technology of Cereals*. Elsevier: Tarrytown, NY.
- Khan IA, Procnier JD, Humphreys DG, Tranquilli G, Schlatter AR, Marcucci-Poltri S, Froberg R and Dubcovsky J, 2000. Development of PCR-based markers for a high grain protein content gene from *Triticum turgidum* ssp *dicoccoides* transferred to *Microtestis* bread wheat. *Crop Sci.* 40:518-52.
- Khan K and Bushuk W, 1979. Studies of glutenin, XII. Comparison of SDS-PAGE of unreduced and reduced glutenin from various isolation and purification procedures. *Cereal Chemistry*, 56:63-68.
- Khatkar BS, Fido RJ, Tatham AS, Schofield JD, 2002. Functional properties of wheat gliadins. II. Effects on dynamic rheological properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, 35: 307-

- Kihlberg I, Johansson L, Kohler A and Risvik E, 2004. Sensory qualities of whole wheat pan bread e influence of farming system, milling, and baking technique. *Journal of Cereal Science* 39: 67-84.
- Kim W, Choi SG, Kerr WL, Johnson JW and Gaines CS, 2004. Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour. *Journal of Cereal Science* 40 (2004) 9-16.
- Kissell LT, Pomeranz Y and Yamazaki WT, 1971. Effect of flour lipids on cookie quality. *Cereal Chemistry*, 48:655-662.
- Kitterman JS and Rubenthaler GL, 1971. Assessing the quality of early generation wheat selections with the micro AWRC test. *Cereal Science Today*, 16:313-316.
- Knuckles BE, Hudson CA, Chiu MM and Sayre RN, 1997- Effect of b-glucan barley fractions in high-fibre bread and pasta. *Cereal Foods World*, 42(2), 94-100.
- Kock SD, Taylor J and Taylor JRN, 1999. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. *Lebensmittel-Wissenschaft und eTechnologie*, 32, 349e356.
- Koehler, Hartmann G, Herbert W and Rychlink M, 2007. Changes of Foliates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination. *J. Agric. Food Chem.* 55, 4678-4683.
- Kulp K, 1968. Pentosans of wheat endosperm. *Cereal Science Today*, 13:414-417.
- Lagrain B, Thewissen BG, Brijs K, Delcour JA, 2007. Impact of redox agents on the extractability of gluten proteins during bread making. *J. Agric. Food Chem.* 55, 5320e5325.
- Lai CS and Hoseney RC, 1989. Functional effects of shorts in breadmaking. *Cereal Chem* 66:220±222.
- Lai CS, Hoseney RC and Davis AB, 1989. Effects of wheat bran in bread baking. *Cereal Chem* 66:217±219.
- Larroque O, Gianibelli M, Gómez Sánchez M and MacRitchie F, 2000. Procedure for obtaining stable extracts of cereal flour and whole meal for size-exclusion HPLC analysis. *Cereal Chemistry*, 77:448-450.
- Laurikainen T, Härkönen H, Autio K and Poutanen K, 1998. Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 239e249.
- Lehrfeld J and Wu Y, 1991. Distribution of phytic acid in milled fraction of Scout 66 hard red winter wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39, 1820e1824.
- León AE, 1995. Estudio de las propiedades de las harinas de triticale: Influencia de las proteínas y el almidón sobre la calidad para elaborar galletitas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina, 145 pp.
- León AE, Rubiolo OJ and Añón MC, 1996. Use of triticale flours in cookies: Quality factors. *Cereal Chemistry*, 73:779-784.
- Li J, Kang J, Wang Li Z, Wang R, Chen ZX and Hou GG, 2012. Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI). *J. Agric. Food Chem.* 60, 6507e6514.
- Li S, Morris CF and Bettge AD, 2009. Genotype and Environment Variation for Arabinoxylans in Hard Winter and Spring Wheats of the U.S. Pacific Northwest. *Cereal Chemistry*, 86:88-95.
- Li S, Morris CF and Bettge AD, 2009. Genotype and environment variation for arabinoxylans in hard winter and spring wheats of the U.S. Pacific Northwest. *Cereal Chemistry* 86(1): 88-95.

Li YZ and Posner ES, 1987. The Influence of Kernel Size on Wheat Millability. Association of Operative Millers Technical Bulletin Nov:5089.

Liu C, Liu L, Hao C, Zheng X, Bian K, Zhang J and Wang X, 2015. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. *LWT - Food Science and Technology* 62 (1): 310-318.

Liu RH, 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* 46(3): 207-219.

Maghirang EB and Dowell FE, 2003. Hardness measurement of bulk wheat by single-kernel visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 80, 316-322.

Manley D, 2000. *Technology of Biscuits, Crakers and Cookies*. Third edition, Woodhead Publishing Limited. Cambridge, UK, 499 pp.

Manning TS and Gibson GR, 2004. Prebiotics. *Best Practice & Research in Clinical Gastroenterology* 18: 287-298.

Marquart L, Jacobs D, McIntosh G, Reicks M and Poutanen K. (Eds.), 2007. *Whole grains and health*. Ames, IA, USA: Blackwell Publishers.

Matsuo RR, Dexter JE, Boudreau A and Daun JK, 1986. The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry*, 63:484.

Miller RA and Hosenev RC, 1997. Factors in hard wheat flour responsible for cookie spread. *Cereal Chemistry*, 74: 330-336.

Miralbes C, 2003. Prediction chemical composition and alveograph parameters on wheat by near-infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6335-6339.

Moder GJ, Finney KF, Bruinsma BL, Ponte JG and Bolte LC, 1984. Bread-making potential of straight-grade and wholewheat ours of Triumph and Eagle-PlainsmanV hard red winter wheats. *Cereal Chem* 61:269±273.

Moiraghi M, de la Horra AE, Perez GT, y Gomez M, 2012. Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. (wileyonlinelibrary.com) DOI10.1002/jsfa.5821

Moiraghi M, Vanzetti L, Bainotti C, Helguera M, León AE and Pérez GT, 2011. Relationship between soft wheat flour physicochemical composition and cookie-making performance. *Cereal Chemistry* 88: 130-136.

Mongeau R and Brassard R, 1982. Insoluble dietary fibre from breakfast cereals and brans: bile salt binding and water-holding capacity in relation to particle size. *Cereal Chemistry* 59, 413e417.

Mongeau R, 2003. Dietary fibre. En R, Macrae, R, K, Robinson, & M, J, Sadler (Eds.), *Encyclopaedia of food science and nutrition*, New York: Academic Press, pp, 1362-1387.

Morita N, Maeda T, Miyazaki M, Yamamori M, Miura H and Ohtsuka, I, 2002a. Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry*, 79, 491-495.

Morris CF and Massa AN, 2003. Puroindoline genotype of the U.S. National Institute of Standards and Technology Reference Material 8441 "Wheat Hardness". *Cereal Chemistry*, 80: 674-678.

Morris CF and Rose SP, 1996. Wheat. En: *Cereal Grain Quality*, Henry RJ, and Kettlewell, PS (eds.) Chapman and Hall, London, pp, 3-54.

Morrison WR, Law CN, Wylie LJ, Coventry AM and Seekings J, 1989. The effect of group 5 chromosomes on the free polar lipids and breadmaking quality of wheat. *Journal of Cereal Science* 9 41±51.

Morrison WR, Law RV and Snape CE, 1993. Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches. *Journal of Cereal Science*, 18: 107-109.

Ng P, Bushuk W, 1987. Glutenin of marquis wheat as a reference for estimating molecular weights of glutenin subunits by sodium sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal Chemistry*, 64:324-327.

Noort MW, Daanvan Haaster J, Hemery Y, Henk A, Schols, Rob J and Hamer, 2010. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality. Evidence for fibre e protein interactions. *Journal of Cereal Science* 52 59-64.

O'Brien CM, Mueller A, Scannell AGM, Arendt EK, 2003. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *Journal of Food Engineering* 56 265-267.

Onwulata CI, Konstance RP and Tomasula PM, 2002. Viscous Properties of table Microparticulated Dairy Proteins and Sucrose. *Journal of Dairy Science*, Vol 85, 1677-1683.

Orth RA and Bushuk W, 1972. A comparative study of proteins of wheats of diverse baking quality. *Cereal Chemistry*, 49: 268-275.

Osborne BG and Anderssen RS, 2003. Single-kernel characterization principles and applications. *Cereal Chemistry* 80, 613-622.

Osborne BG, Anderssen RS and Huynh HN, 2005. In situ measurement of the rheological properties of wheat and barley grain using the SKCS 4100. In: Cauvain, S.P., Salmon, S.S., Young, L.S. (Eds.), *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers*. Proceedings of the 12th International ICC Cereal and Bread Congress, Harrogate, UK, 23-26 May 2004, pp. 207-211.

Osborne BG, Henry R and Southan MD, 2006. Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *Journal of Cereal Science*, 23-659.

Osborne TB, 1907. *Proteins of the wheat kernel*. Publication of the Carnegie Institution Washington, 84: 1-119.

Ozboy O and Koksel H, 1997. Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and baking quality. *Journal of Cereal Science*, 25, 77-82.

Panozzo JF, Hannah MC, O'Brien L and Bekes F, 1993. The relationship of free lipids and our protein to breadmaking quality. *Journal of Cereal Science* 17 47±62.

Pareyt B and Delcour JA, 2008. The role of wheat flour constituents, sugar and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 1e16.

Parker ML, Ng A and Waldron KW, 2005. The phenolic acid and polysaccharide composition of cell walls of bran layers of mature wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Avalon) grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (15), 2539-2547.

Pasha I, Anjum FA, Butt MS, 2009. Genotypic variation of spring wheats for solvent retention capacities in relation to end-use quality. *LWT - Food Science and Technology* 42 418-423.

Pearson T, Wilson J, Gwirtz J, Maghirang E, Dowell F and McCluskey P, 2007. Relationship between single wheat kernel particle-size distribution and Perten SKCS 4100 hardness index. *Cereal Chemistry*, 84: 567-575.

Penella JS, Collar C and Haros M, 2008. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *J. Cereal Sci.* 48, 715e721.

Perez-Jimenez J and Saura-Calixto F, 2005. Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 5036-5040.

Perry PA, Donald AM, 2003. The effects of low temperatures on starch granule structure. *Polymer* 41: 6361-6373.

Pirini M, Manuzzi MP, Pagliarani A, Trombetti F and Ventrella V, 2007. Changes in fatty acid composition of *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) fed on microalgal and wheat germ diets. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, Volume 147, Issue 4, August 2007, Pages 616-626.

Pomeranz Y, 1971. Composition and functionality of wheat-flour components. En: *Wheat, Chemistry and Technology*, Pomeranz Y, (ed.). AACC, St Paul, MN. Second Edition, pp, 585-674.

Pomeranz Y, 1988. En: Pomeranz, Y. (Ed.). *Wheat Chemistry and Technology*, Chemical composition of kernel structures. Vol. I. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA, pp. 97-158.

Posner ES and Hibbs AN, 2005. *Wheat flour milling*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.

Prabhasankar P and Rao PH, 2001. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. *European Journal of Food Research and Technology*, 213, 465e469.

Pylar EJ, 1988. *Baking Science and Technology*, Vol. I-II. 3^o ed, Sosland Pub Co, Kansas MO, USA, 1-1369.

Ragaee S and Abdel-Aal ESM, 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry* 95(1): 9-18.

Ram S and Singh SP, 2004. Solvent retention capacities for Indian wheats and their relationship with cookie making quality. *Cereal Chemistry*, 81:128-133.

Ram S, Dawar V, Singh RP and Shoran J, 2005. Application of solvent retention capacity tests for the prediction of mixing properties of wheat flour. *Journal of Cereal Science* 42 (2005) 261-266.

Ranhotra GS, Gelroth JA, Astroth K and Posner ES, 1990. Distribution of total and soluble fiber in various millstreams of wheat. *Journal of Food Science*, 55(5), 1349±1351.

Rasper VF and Walker CE, 2000. Quality evaluation of cereals and cereal products. Revised and Expanded. In K. Kulp and J. G. Ponte (Eds.). *Handbook of Cereal science and technology* (2nd ed.). (pp. 505e538). New York, USA: Marcel Dekker.

Ribotta P, León E, Aguirre A and Beltramo D, 2002. Medición instrumental del color en galletitas dulces de triticale. Influencia del contenido de cenizas, *Información tecnológica*, 13: 17-174.

Roccia P, Moiraghi M, Ribotta PD, Pérez GT, Rubiolo OJ and León AE, 2006. Use of Solvent Retention Capacity Profile to Predict the Quality of Triticale Flours. *Cereal Chem*, 83(3):243-249.

Rosell CM, Rojas JA and Benedito de Barber C, 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81.

Samela G, 2011. El consumo de galletitas está entre los más altos del mundo, En: *Clarín*, Buenos Aires, Argentina. Noviembre, 13, disponible en: http://www.ieco.clarin.com/empresas/consumo-galletitas-altosmundo_0_590341202.

Sánchez MG, 2005. Síndrome de Prune-Belly o abdomen en "ciruela pasa". *FMC - Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, Volume 12, Issue 7.

Schimiele M, Jaekel LZ, Patricio SMC, Steel CJ and Chang YK, 2012. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology* 47, 2141e2150.

Schofield JD, 1994. *WHEAT Production, Properties and Quality*. Ed. Bushuk W, Rasper VF. 1^o ed. Blackie Academic and Professional, Glasgow, UK. 73-99.

Seyer ME and Gelinas P, 2009. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 688e693.

Shewry PR, Halford NG and Tatham AS, 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, 15: 105–120.

Shewry PR, Piironen V, Lampi AM, Edelmann M, Kariluoto S, Nurmi T, Fernandez-Orozco R, Ravel C, Charmet G, Andersson AM, Aman P, Boros D, Gebruers K, Dornez E, Courtin CM, Delcour JA, Rakszegi M, Beso Z and Ward JL, 2010. The HEALTHGRAIN wheat diversity screen: Effects of genotype and environment on phytochemicals and dietary fiber components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(17): 9291-9298.

Shewry PR, Tatham AS, Forde J, Kreis M and Miflin BJ, 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4: 97–106.

Slade L and Levine H, 1994. Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. En: *The Science of Cookie and Cracker Production*. Faridini H (ed). Chapman and May: New York, pp, 23-141.

Slavin J, 2003. Why whole grains are protective: biological mechanisms. *The Proceedings of the Nutrition Society* 62(1): 129-34.

Sobota A, Rzedzicki Z, Zarzycki P and Kuzawiska E, 2015. Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science and Technology* 50(1): 111-119.

Souza E, Kruk M and Sunderman DW, 1994. Association of sugarsnap cookie quality with high molecular weight glutenin alleles in soft white spring wheats. *Cereal Chemistry*, 71: 601-605.

Tanilli VH, 1976. Characterization of wheat and flour cookie and cracker production. *Cereal Foods World*, 21: 624-628.

Tatham A, 1995. The structures of wheat protein. En: *Wheat Structure. Biochemistry and Functionality*. Editado por Schofield, *Journal Royal society of Chemistry, England*. 53-63.

Topping D, 2007. Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *Journal of Cereal Science* 46: 220-229.

Tribol E, Martre P and Tribol-Blondel AM, 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany* 54: 1731-1742.

Trowell H, Southgate DAT, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA and Jenkins DJA, 1976. Dietary fiber redefined. *Lancet* 1: 967-967.

USDA, 2000. U.S. Agriculture: food consumption in America. In: *Agriculture Fact Book*. US Department of Agriculture, Washington, DC, pp. 2e10.

Van den Broecka HC, Americaa AHP, Smuldersa MJ, Boscha D, Hamerc RJ, Gilissen LJ and van der Meer IJ, 2009. A modified extraction protocol enables detection and quantification of celiac disease-related gluten proteins from wheat. *Journal of Chromatography B*, 877 975–982.

Van Hung P, Maeda T, Miskelly D, Tsumori R and Morita N, 2008. Physicochemical characteristics and fine structure of high-amylose wheat starches isolated from Australian wheat cultivars. *Carbohydrate Polymers* 71: 656-663.

Veraverbeke WS and Delcour JA, 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *Food Science and Nutrition*, 42: 179–208.

Vignola MB, 2017. Tesis Doctoral Influencia del genotipo y el ambiente sobre la variabilidad de la calidad tecnológica y nutricional de cultivares de trigo, Cambios en la calidad nutricional

debidos al procesamiento. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

Vignola MB, Moiraghi M, Salvucci E, Baroni V y Perez GT. Whole meal and white flour from Argentine wheat genotypes: Mineral and arabinoxylan differences. *Journal of Cereal Science* 71 217-223.

Vocke G, Buzby JC and Wells HF, 2008. Consumer preferences change wheat flour use. *Amber Waves* 6, 2.

Vratanina DL y Zabic ME, 1978. Dietary fiber sources for baked products: bran in sugar-snap cookie. *J. Food Science* 43:1, 509.

Wade P, 1988. Biscuits, cookies and crackers: the principles of the craft, volume 1. Elsevier Applied Science. London, UK and New York, USA, 406 pp.

Wang FC and Sun XS, 2002. Frequency dependence of viscoelastic properties of bread crumb and relation to bread staling. *Cereal Chemistry*, 79(1): 108–114.

Wang J, Rosella CM and Benedito de Barbera C, 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry* 79 221–226.

Wang L and Flores RA, 2000. Effects of flour particle size on the textural properties of flour tortillas. *Journal of Cereal Science*, 31: 263-272.

Wang M, van Vliet T and Hamer RJ, 2005. Interaction of water unextractable solids and xylanase with gluten protein: effect of wheat cultivar. *Journal of Cereal Science*, 41: 251-258.

Wang MW, Hamer RJ, van Vliet T, Gruppen H, Marseille H and Weegels PL, 2003a. Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. *Journal of Cereal Science* 37,55e64.

Wang MW, Oudgenoeg G, van Vliet T and Hamer RJ, 2003b. Interaction of water Unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science* 38,95e104.

Wang MW, van Vliet T and Hamer RJ, 2004a. Evidence that pentosans and xylanase affect there-agglomeration of the gluten network. *Journal of Cereal Science*39, 341e349.

Wang MW, van Vliet T and Hamer RJ, 2004b. How gluten properties are affected by pentosans. *Journal of Cereal Science* 39,395e402.

Wang R, Zhou W, Yu HH and Chow WF, 2006. Effects of green tea extract on the quality of bread made from unfrozen and frozen dough processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 857–864.

Wang W, Oudgenoeg G, van Vliet T and Hamer RJ, 2003. Interaction of water unextractable solids with gluten protein: Effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science*, 38:95-104.

Webb C and Owens GW, 2003. Milling and flour quality. In: Cauvain, S.P. (Ed.), *Bread Making: Improving Quality*. Woodhead Publishing Limited, Abington, MA, USA, pp. 200e219.

Wieser H, 2003. The use of redox agents. In: Cauvain, S.P. (Ed.), *Bread Making— Improving Quality*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 424–446.

Wieser H, 2006. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*.

Wu H and Corke H, 1999. Genetic diversity in physical properties of starch from a world collection of *Amaranthus*. *Cereal Chemistry*, 76: 877–883.

Xiao ZS, Park SH, Chung OK, Caley MS and Seib PA, 2006. Solvent retention capacity values in relation to hard winter wheat and flour properties and straightdough breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, 83: 465-471.

- Yamamoto H, Worthington G, Hou G and Ng PKW, 1996. Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats grown in the united states. *Cereal Chemistry*, 73: 215-221.
- Yamazaki W and Lord D, 1971. Soft wheat products. En: *Wheat, Chemistry and Technology*. Pomeranz Y, (ed), AACC International: St, Paul, MN, pp, 743-776.
- Yamazaki WT, Donelson JR and Clements RC, 1979. Effect of bran lipids on cookie quality. *Cereal Chem*, 56:584.
- Zapata ME, Roviroso A and Carmuega E, 2016. Cambios en el patrón de consumo de alimentos y nutrientes en las últimas dos décadas en la Argentina.
- Zhang D and Moore WR, 1997. Effect of Wheat Bran Particle Size on Dough Rheological Properties. *J Sci Food Agric* 74, 490-496.
- Zhang D and Moore WR, 1999. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *J Sci Food Agric* 79:805-809.
- Zhang Y, He Z and Peña RJ, 2007. Effects of Solvent Retention Capacities, Pentosan Content, and Dough Rheological Properties on Sugar Snap Cookie Quality in Chinese Soft Wheat Genotypes Qijun Zhang. *Crop Science*, 47: 656-6.
- Ziegler E and Greer EN, 1971. Wheat flour milling. In Y. Pomeranz (Ed.). *Wheat chemistry and technology* (pp. 134-143). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Žilić S, Serpen A, Akilloğlu G, Janković M and Gökmen V, 2012. Distributions of phenolic compounds, yellow pigments and oxidative enzymes in wheat grains and their relation to antioxidant capacity of bran and debranned flour. *Journal of Cereal Science* 56(3): 652-658.
- Zoulias EI, Oreopoulou V and Tzia C, 2000. Effect of fat mimetics on physical, textural and sensory properties of cookies. *International Journal of Food Properties*, 3: 385- 397.

6. ANEXO

Tabla 14. Prueba de Hotelling realizada con todos los parámetros medidos para las harinas de grano entero de trigo blando y duro.

TRIGO	BLANDO	DURO
SDF	1,83	1,41
IDF	14,94	13,29
CENIZAS	1,74	1,69
%H	13,09	13,14
PROTEINAS	15,18	15,26
PT	9,72	10,34
PS	0,6	0,63
MG	2,82	3,22
IRAA	92,21	80,84
%SRC a	80,36	81,52
%SRC s	104,93	101,92
%SRC l	85,68	98,41
%SRC c	90	91,23
%GH	21,95	23,74
IG	82,51	96,82
%GS	8,12	9,24
IS-SDS	11,25	15
psa	1022,09	710,95
dv 10	28,68	38,16
dv 50	865,68	472,32
dv 90	1971,96	1496,71
span	2,85	3,32
	A	B

Distintas letras indican diferencias significativas con un $p < 0,05$.