



*Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados*



**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**

Vignola, María Belén

Tesis
Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2017

**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**

Vignola, María Belén

Comisión Asesora de Tesis

Director: Dra. Gabriela T. Pérez

Asesores: Dra. Verónica Baroni.....

Dr. Marcelo Helguera.....

Tribunal Examinador de Tesis

Dra. Verónica Baroni.....

Dra. Maria Eugenia Steffolani.....

Dra. Silvina Drago.....

Presentación formal académica

30 de Junio de 2017
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Córdoba

AGRADECIMIENTOS

Es imposible agradecer en pocas líneas a todos los que me acompañaron, ayudaron, aconsejaron en este arduo proceso.

Antes que nada quiero agradecer a Gaby, mi “mami” por estar siempre para mí, por cuidarme como su pollita, por escucharme, por aconsejarme, por defenderme y comprenderme como una mamá. Porque desde el primer día me hiciste sentir cómoda y cuando más te necesite estuviste ahí...siempre. Gracias por acompañarme en este proceso, gran parte de la profesional que soy hoy te lo debo a vos. Gracias por demostrarme con tu ejemplo lo que es la vocación por la ciencia.

Gracias a Pablo y Beto por abrirme las puertas de este hermoso grupo humano, por sus aportes, por sus conocimientos. Gracias por hacerme sentir en familia.

Gracias Veronica Baroni por aceptar ser mi co-directora de beca y por acompañarme y ayudarme en este proceso.

Que decir de vos hermanita Male..sos mi ejemplo a seguir en tantas cosas como siempre te digo!! Gracias por adoptarme, por permitirme entrar en tu vida, en las de las nenas, por aconsejarme, por aguantarme sobre todo!!! Sos una MADRAZA y ese espíritu tuyo de siempre arreglártelas y seguir adelante es lo que más rescato.

Gracias mi Popeta...gracias por ser mi amiga desde el comienzo, por ser mi cable a tierra, de vos aprendí la vocación, el sacrificio y que todo a su tiempo llega. Gracias por estar SIEMPRE, por mimarme cuando estaba embarazada, por abrirme las puertas de tu hogar y de tu corazón. Gracias por cada abrazo fuerte que me diste. Te mereces todo, pero absolutamente todo lo mejor en esta vida.

Gracias Lore y Euge por quererme así, loca como soy. Gracias Euge por estar siempre pendiente de mí cuando no estaba bien, por aconsejarme cuando lo necesitaba. Gracias Lolu, mi conductora oficial, por estas tardes interminables en el lab riéndonos de pavadas para animar el día. Gracias por su generosidad y espontaneidad.

Gracias Mari..fuiste una grandísima ayuda en mi última etapa de la tesis..me encantó poder compartir mesada con vos a la par, agradezco cada consejo que me diste y el tiempo que me dedicaste. Gracias por contestar en menos de dos segundos a cualquier mail!!

Gracias Sole, amiga mia, por quererme asi, por estar al lado mio en cada momento de mi vida, por ser mi sostén, por prestarme el oído, por permitirme entrar en tu corazón..eso es algo que no tiene precio y te lo agradezco tanto.

Gracias Anita, siempre con un detalle cuando lo necesitaba, siempre con una palabra de aliento. Gracias por transmitirme tu fe en Dios, fue hermoso poder compartir eso con vos.

Gracias Carito por tener esa sonrisa hermosa que ilumina todo y tu buena energía. Gracias Cande por tu sinceridad, por tu buena onda ante todo problema, por confiar en mí.

Gracias Fer, Silvi, Pablito, Emi, Agus, Pala, Ali y Rafa porque me bancaron, que no es poco, porque estuvieron cuando necesite una técnica, un paper, una ayuda o simplemente un oído para que me desahogue.

Quiero agradecerles de todo corazón a TODOS por colaborar en mi última etapa de la tesis. Por cada determinación que hicieron por mi, por cada paper que me bajaron, por cada mail que me contestaron. GRACIAS!!

Al CONICET y a la SECyT- UNC por el apoyo financiero que permitió la realización de esta tesis.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por brindarme la posibilidad de desarrollar este trabajo en sus instalaciones.

Gracias a mi familia, GRACIAS, GRACIAS Y MAS GRACIAS. Ustedes son mi pilar, mi sostén. Gracias mamá y papá por inculcarme los valores del esfuerzo, el estudio, el trabajo, la dedicación, la honestidad. Eso lo aprendí de ustedes, viéndolos trabajar día y noche por nosotras, sacrificándose siempre para que nada nos falte...y no hay mejor ejemplo que ese. Gracias por escucharme hablar de mi tesis aun sin entender una palabra. Gracias por alentarme a hacer lo que me gusta. Hoy soy lo que soy gracias a ustedes. Gracias Lu por compartir tu vida conmigo, por tu espontaneidad y hablar sin parar!

Gordito mio...gracias por estar al lado mio. Hemos transitados juntos 11 años, que decirte que no te haya dicho. Gracias por ser mi pilar, mi cable a tierra, por cuidarme, por escucharme, por acompañarme y sobre todo por amarme.

Bauti, mi cielo, mi sol, mi universo entero. Llegaste para cambiarme la vida y para demostrarme que existe un amor que no conocía. Cada día cuando abro mis ojos y te veo al lado mio me haces la mamá más feliz del mundo.

DEDICATORIA

*A mi hijo Bautista
por ser mi luz*

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar las características de los hidratos de carbono (almidón y pentosanos) y minerales de 24 variedades de trigo (harina blanca e integral) cultivadas en tres localidades y dos años de cosecha a los fines de determinar la influencia del genotipo, del ambiente y la interacción en su composición. Paralelamente se elaboraron pastas a partir de ambas harinas con el objeto de evaluar la calidad nutricional y tecnológica. La variabilidad en el contenido de pentosanos totales en harina integral se debió principalmente al ambiente mientras que tanto el genotipo como la interacción genotipo*ambiente fueron igualmente responsables de la variación descrita en pentosanos solubles. En cambio, en harina blanca el genotipo fue claramente el mayor responsable de la variabilidad encontrada en ambas fracciones de pentosanos. Se encontraron diferencias significativas entre los diferentes ambientes y genotipos para la mayoría de las propiedades térmicas, de viscosidad y de tamaño y distribución de gránulos de almidón. El ambiente fue el mayor contribuyente a la variabilidad encontrada para las concentraciones de la mayoría de los minerales en harina integral. Como era de esperar la molienda redujo significativamente las concentraciones de todos los elementos. Las pastas elaboradas a partir de harinas integrales presentaron un comportamiento aceptable, aunque fueron de menor calidad que las de harina blanca, demostrando que la presencia de salvado genera modificaciones en la estructura de la pasta interfiriendo en la matriz gluten-almidón. A pesar de que las pastas integrales presentaron mayor contenido de minerales, luego de someterlas a una digestión *in vitro* se observaron menores valores de dializabilidad al compararlas con pastas elaboradas con harina blanca. Conocer la influencia del genotipo y ambiente sobre los componentes no proteicos es importante en la selección de cultivares y ambientes para el desarrollo de trigos con propiedades específicas en relación a los carbohidratos y minerales. Por otra parte, la estimación mediante métodos *in vitro* del grado de absorción de los minerales contenidos en las pastas elaboradas con harinas integrales y refinadas permite dimensionar el aporte nutricional de este tipo de alimentos que difieren en composición y estructura.

Palabras clave. Trigo, componentes no proteicos, pastas, ambiente, genotipo.

ABSTRACT

The aim of this work was to assess the carbohydrates characteristics (starch and arabinoxylans) and mineral content of 24 wheat varieties (white and whole wheat flour) grown in three locations and two harvest years in order to determine the influence of genotype, environment and genotype*environment interaction in its composition. Besides, pastas were made from both flours in order to evaluate the nutritional and technological quality. Total arabinoxylans content variation in whole wheat flour was mainly due to the environment, while both genotype and the interaction were equally responsible for the variation described in soluble arabinoxylans content. However, in white flour samples genotype was clearly the major responsible for the variability found in both arabinoxylans fractions. Significant differences were found between environments and genotypes on both viscosity and thermal properties as well as on size and starch granules distribution. The environment was the major responsible for the variability found on most of minerals concentrations in whole meal. As expected milling significantly reduced the concentrations of all elements. Whole wheat pasta presented an acceptable behavior, but lower quality than white flour pasta, due to the presence of bran that generates modifications in the structure of the pasta interfering in the gluten-starch matrix. Although whole wheat pasta presented higher mineral content, after *in vitro* digestion they showed lower dialysability values than white flour pasta. Understand the influence of genotype and environment on non-protein components is important for cultivars and environments selection in order to breed wheats with specific properties. On the other hand, the *in vitro* estimation of the degree of absorption of minerals from whole wheat and white flours pasta allows the determination of the nutritional contribution of these types of foods that differ in composition and structure.

Key words. Wheat, non-protein components, pasta, environment, genotype.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SIMBOLOS.....	XV
CAPITULO 1.	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	2
GENERALIDADES SOBRE EL TRIGO	2
SUBREGIONES TRIGUERAS	4
CLASIFICACION DE VARIEDADES DE TRIGO.....	6
Ciclo vegetativo del trigo.....	6
GRANO DE TRIGO	7
PROTEINAS	9
Gluteninas.....	11
Gliadinas.....	11
ESTRUCTURA DEL GLUTEN	12
ALMIDÓN.....	13
Propiedades funcionales del almidón	17
FIBRA DIETÉTICA.....	21
PENTOSANOS	22
LIPIDOS	25
COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	26
Minerales	27
Polifenoles.....	29
HARINA INTEGRAL DE TRIGO	30
HARINA BLANCA DE TRIGO	30
BIOFORTIFICACIÓN.....	32
PASTAS ALIMENTICIAS: DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CONSUMO.....	34
Materias primas y proceso de elaboración de las pastas.....	35
Proceso de elaboración de las pastas	36
Cambios estructurales durante la elaboración y cocción de pastas	37
Fenómenos que tienen lugar durante la cocción.....	39
Propiedades nutricionales y funcionales de la pastas	41
BIOACCESIBILIDAD DE NUTRIENTES	42
HIPÓTESIS	44
OBJETIVOS	44
CAPÍTULO 2.	46
MATERIALES Y MÉTODOS	47
MATERIAL	47
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LAS LOCALIDADES	48
OBTENCIÓN DE HARINAS.....	50
Harina integral	50
Harina blanca.....	50
COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS HARINAS	50
Humedad.....	50
Pentosanos	51

Pentosanos totales.....	51
Pentosanos solubles.....	52
CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN	51
Amilosa	52
Distribución de tamaño de gránulos de almidón	53
Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	54
Perfil de viscosidad (RVA).....	55
CONTENIDO DE MINERALES	57
Localización y distribución de minerales	58
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE PASTAS	58
Distribución de tamaño de partícula de las harinas	59
Composición centesimal de las harinas	59
Humedad.....	59
Proteínas	60
Cenizas.....	60
Lípidos	60
Gluten	61
Elaboración de pastas extrusadas	61
Parámetro de calidad de las pastas.....	63
Tiempo óptimo de cocción	63
Índice de hinchamiento.....	63
Absorción de agua	64
Pérdida por cocción	64
Color	64
Textura de la pasta cocida.....	65
ATRIBUTOS NUTRICIONALES DE LA PASTA COCIDA	67
Contenido de almidón digerible, resistente y proteína	67
Actividad antioxidante de las pastas.....	67
Contenido de polifenoles totales.....	68
Capacidad atrapadora de radicales libres.....	68
Poder reductor.....	69
Contenido de minerales en pasta cocida	69
DIGESTIÓN GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> SIMULADA	70
Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> de almidón en pastas	71
Dializabilidad <i>in vitro</i> de minerales en pastas	71
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	72
CAPITULO 3.	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
PENTOSANOS.....	76
Pentosanos totales y solubles en harina integral	76
Pentosanos totales y solubles en harina blanca.....	81
Pérdida de pentosanos luego de la molienda	85
Conclusiones	87
ALMIDÓN.....	88
Composición y tamaño de gránulos.....	88
Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	98

Perfil de viscosidad.....	103
Conclusiones.....	110
MINERALES EN HARINA INTEGRAL Y BLANCA.....	111
Contenido de minerales en harina integral	112
Contenido de minerales en harina blanca.....	116
Efecto de la molienda en el contenido de minerales.....	124
Localización y distribución de minerales	128
Conclusiones.....	130
CALIDAD TECNOLÓGICA DE LAS PASTAS.....	130
CARACTERIZACIÓN DE HARINAS BLANCAS E INTEGRALES OBTENIDAS DE	
AMBOS GENOTIPOS	131
Análisis de distribución de tamaño de partícula de harinas	131
Composición centesimal de las harinas.....	133
Parámetros de calidad de pastas extrusadas elaboradas con harina blanca e integrales	
de los cultivares seleccionados	134
Evaluación de las propiedades de textura de las pastas	138
Análisis del color de las pastas	141
Atributos nutricionales de la pasta cocida	144
Contenido de almidón y proteínas de las pastas blancas e integrales.....	144
Actividad antioxidante en las pastas blancas e integrales cocidas.....	146
Contenido de minerales en pastas blancas e integrales cocidas.....	150
Conclusiones.....	153
DIGESTIÓN GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> DE MINERALES Y ALMIDÓN EN	
PASTAS BLANCAS E INTEGRALES.....	154
Almidón	155
Minerales	158
Conclusiones.....	164
 CAPITULO 4.	 165
CONCLUSIONES GENERALES.....	166
 BIBLIOGRAFÍA.....	 173

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Nombre y grupo de calidad al cual pertenecen cada uno de los 24 cultivares de trigo.....	47
Tabla 3.1. Contenido medio, máximo y mínimo de pentosanos totales (PT) y solubles (PS) en harina blanca e integral y contribución parcial de ambiente, genotipo e interacción en la varianza total (%).	77
Tabla 3.2. Contenido de pentosanos solubles (PS) y totales (PT) (%) en harina integral en los 6 ambientes y los 24 cultivares.....	79
Tabla 3.3. Contenido de PS y PT (%) en harina blanca y pérdida durante la molienda respecto a la harina integral de PT (%) en los 6 ambientes y los 24 cultivares.....	83
Tabla 3.4. Valores máximo, mínimo y promedio de diámetro y distribución de volúmenes de gránulos de almidón, contenido de amilosa y contribución relativa (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.....	89
Tabla 3.5. Diámetro, distribución de volúmenes de gránulos de almidón y contenido de amilosa promedios en los 6 ambientes en estudio	93
Tabla 3.6. Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de la calorimetría diferencial de barrido y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total (DSC).....	100
Tabla 3.7. Valores promedio de los parámetros de DSC en los 6 ambientes en estudio..	102
Tabla 3.8. Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de <i>pasting</i> medidos por RVA y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.....	105
Tabla 3.9. Valores promedio de los parámetros de <i>pasting</i> en los 6 ambientes en estudio medidos por RVA.....	106
Tabla 3.10. Coeficientes de correlación de viscosidad de pico (VP), viscosidad de caída (VC), estabilidad (E), viscosidad final (VF), setback (SB), temperatura de <i>pasting</i> (TP), diámetro de gránulos A (\emptyset A), diámetro de gránulos B (\emptyset B), porcentaje de volumen que ocupan los gránulos A (q A), porcentaje de volumen que ocupan los gránulos B (q B), contenido de amilosa (AM), temperatura de inicio (To), temperatura final (Tc), temperatura de pico (Tp), ancho de pico (AP), entalpia de gelatinización (Δ H).....	108
Tabla 3.11. Valores medios, mínimos y máximos de los diferentes minerales en harina integral (mg/Kg) y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.....	115
Tabla 3.12. Valores promedio de los diferentes minerales en harina integral (mg/Kg) en los 6 ambientes en estudio.....	115

Tabla 3.13. Valores medios, mínimos y máximos de los diferentes minerales en harina blanca (mg/Kg) y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.....	118
Tabla 3.14. Valores promedio de los diferentes minerales en harina blanca (mg/Kg) en los 6 ambientes en estudio.....	118
Tabla 3.15. Análisis de la varianza de los conglomerados en harina integral (A) y blanca (B).....	123
Tabla 3.16. Pérdida promedio de minerales (%) luego de la molienda en los 11 cultivares.....	127
Tabla 3.17. Contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos y gluten húmedo (GH) de harina blanca (HB) e integrales (HIA y HIB) obtenidas de los cultivares de trigo seleccionados.....	133
Tabla 3.18. Parámetros de calidad tecnológica de las pastas blancas (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) obtenidas de los cultivares de trigo seleccionados.....	137
Tabla 3.19. Análisis de textura de las pastas blancas (PB) e integrales (PIA y PIB) de los genotipos seleccionados.....	141
Tabla 3.20. Contenido de almidón total, almidón resistente, y proteínas en pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos.....	145
Tabla 3.21. Contenido de minerales (mg/Kg) en pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) cocidas de dos genotipos.....	152
Tabla 3.22. Porcentaje de ingesta diaria recomendada (IDR) para una hombre adulto de cada mineral cubierto por una porción de pasta blanca (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) de dos genotipos.....	153
Tabla 3.23. Porcentaje de equilibrio del almidón hidrolizado a tiempo ∞ (C_{∞}) y la constante cinética asociadas (K) y obtenidas a partir de la digestión <i>in vitro</i> de pastas blanca (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) de dos genotipos.....	157
Tabla 3.24. Dializabilidad (%) de minerales a partir de la digestión <i>in vitro</i> de pastas blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes.....	159
Tabla 3.25. Calculo de la cantidad de minerales (mg) dializables luego de la digestión <i>in vitro</i> de una porción de pastas (80 g) blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) elaboradas a partir de los dos genotipos seleccionados.....	164

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Producción mundial de cereales y oleaginosas 2015/2016 (Foreing Agricultural Service/USDA).....	2
Figura 1.2. Producción de trigo en Argentina. 2016. Bolsa de Comercio de Rosario.....	3
Figura 1.3. Gráfica de la Alimentación Diaria. Ministerio de Salud 2016.....	4
Figura 1.4. Subdivisión de zonas trigueras en Argentina. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. Instituto Nacional de Tecnología. El cultivo del trigo (Colección Principales cultivos de la Argentina agropecuaria) 1981.....	5
Figura 1.5. Área sembrada de trigo por provincia Argentina expresada en porcentaje campaña 2016-2017. Bolsa de Comercio de Rosario, 2016.....	5
Figura 1.6. Ciclo vegetativo del trigo.....	7
Figura 1.7. Grano de trigo.....	8
Figura 1.8. Esquema general de la estructura de la red de gluten (S-S: puente de disulfuro, gli: gliadinas).....	13
Figura 1.9. Representación esquemática de las células que contienen los amiloplastos donde se sintetizan los gránulos de almidón de trigo.....	13
Figura 1.10. Estructura química simplificada del polímero de amilosa y amilopectina.....	14
Figura 1.11. Esquema de la organización radial de anillos de los gránulos de almidón.....	16
Figura 1.12. Representación de la estructura en capas de los gránulos de almidón.....	16
Figura 1.13. Representación del proceso de gelatinización de los gránulos de almidón.....	19
Figura 1.14. Hinchamiento, ruptura y dispersión de los gránulos de almidón durante la gelatinización (adaptado de BeMiller y Whistler, 1996).....	18
Figura 1.15. 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.....	23

Figura 2.1. Registro de una corrida de DSC y sus principales indicadores: To (temperatura de inicio de la gelatinización, Tp (temperatura de pico), Tc (temperatura de finalización) y ΔH (entalpía de gelatinización).....	54
Figura 2.2. Curva de RVA tipo y sus principales indicadores (Newport Scientific, 1998).....	55
Figura 2.3. Extrusión de pasta integral (izquierda) y pasta blanca (derecha).....	62
Figura 2.4. Pastas extrusadas elaboradas a partir de Harina Blanca (PB) (Izquierda); con harina integral A (PIA) (Centro) y con harina integral B (PIB) (Derecha).....	62
Figura 2.5. Representación gráfica del espacio Cie-lab.....	65
Figura 2.6. Curva típica de un Análisis de Perfil de Textura (TPA). F1 (Pico máximo de la 1° compresión)= Firmeza. A2/A1 (Área 2/Área 1)= Cohesividad. L2/L1 (Distancia 2/Distancia 1) = Elasticidad. F1 x A2/A1 x L2/L1 (Dureza x cohesividad x elasticidad) = Masticabilidad.....	66
Figura 2.7. Membrana de diálisis con solución de bicarbonato de sodio.....	71
Figura 3.1. Estabilidad de genotipos en el contenido de pentosanos totales (PT) y pentosanos solubles (PS) de harina integral en los 6 ambientes.....	81
Figura 3.2. Estabilidad de genotipos en el contenido de PT y PS en harina blanca a través de los 6 ambientes.....	85
Figura 3.3. Porcentaje de pérdida de PT de los cultivares en los 6 ambientes.....	87
Figura 3.4. Distribución bimodal de tamaño de gránulos de típica almidón de trigo.....	90
Figura 3.5. Biplot del análisis de Componentes Principales de los trigos. Los puntos representan a los 24 genotipos y los rayos a los distintos ambientes.....	98
Figura 3.6. Termograma típico de una harina de trigo obtenido por calorimetría diferencial de barrido. El área bajo la curva corresponde a la entalpía de gelatinización del almidón (ΔH) y los puntos To, Tp y Tc a las temperaturas de inicio, pico y fin de la gelatinización.	99
Figura 3.7. Contenido de Fe y Zn (mg/Kg) de los 11 cultivares en harina blanca e integral.....	121
Figura 3.8. Dendrograma. A: <i>Harina Integral</i> . Conglomerado 1, n=1; Conglomerado 2, n=10. B: <i>Harina Blanca</i> . Conglomerado 1, n=2; Conglomerado 2, n=9.....	122
Figura 3.9. Gráfico de estrellas de la pérdida promedio de minerales (Ca, K, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn) en cada ambiente.....	125

Figura 3.10. Distribución de Mg, K, P y Ca en las distintas fracciones del grano de trigo.....	129
Figura 3.11. Distribución del tamaño de partículas de harina blanca (HB), y harinas integrales obtenidas mediante el molino ciclónico (HIA) y el molino de cuchillas (HIB) de dos genotipos: Baguette Premiun 11 (líneas grises) y Klein Guerrero (líneas negras).....	132
Figura 3.12. Parámetros L*, a* y b* en las pastas blancas (PB) e integrales (PIA y PIB) de los genotipos seleccionados.....	143
Figura 3.13. Contenido total de polifenoles de pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes.....	148
Figura 3.14. Actividad antiradicalaria (A) y poder reductor (B) de pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes.....	149
Figura 3.15. Digestión <i>in vitro</i> de almidón en pastas elaboradas harina blanca (PB) y harinas integrales (PIA y PIB) obtenidas de dos cultivares: A: Baguette Premiun 11 y B: Klein Guerrero.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SÍMBOLOS

a*: Equilibrio entre rojo y verde
AA: Absorción de agua
AACC: American Association of Cereal Chemistry (Asociación Americana de Química de Cereales)
ABTS: capacidad atrapadora de radicales libres
ACP: Análisis de Componentes Principales
AD: Almidón Dañado
ADN: Acido Desoxirribonucleico
AM: contenido de amilosa
AMMI: Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa
ANAVA: Análisis de la Varianza
ARN: Ácido Ribonucleico
b*: Equilibrio entre amarillo y el azul
B-2009: Balcarce 2009
B-2010: Balcarce 2010
BFS: Buffer fosfato salino
C_∞: Constante cinética
CGIAR: Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional
Con A: Concanavalina A
CONASE: Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas
ΔH: Entalpía de gelatinización
Δp: Ancho de pico
Δpico: ancho del pico
DE: Desviación Estándar.
DMSO: Dimetilsulfoxido
DNS: Acido 3,5-dinitrosalicílico
DSC: Calorimetría Diferencial de Barrido.
E: Estabilidad
EDS: Espectrómetro de energía dispersiva
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nation
FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA: Food and Drug Administration de Estados Unidos
FRAP: poder antioxidante de reducción férrica
GH: Gluten Húmedo
GI: tracto gastrointestinal
GOPOD: Reactivo de Glucosa Oxidasa/Peroxidasa
gr: gramos
HB: harina blanca
HIA: harina integral obtenida a partir del molino ciclónico
HIB: harina integral proveniente del molino de cuchillas
HMW-GS: Subunidades de Gluteninas de Alto Peso Molecular
ICP-MS: Espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente
IH: Índice de hinchamiento
INASE: Instituto Nacional de Semillas
Kg: Kilogramos
kV: kilovatio

L*: Luminosidad
LDL: Lipoproteína de baja densidad
LMW-GS: Subunidades de Gluteninas de Bajo Peso Molecular
LSD: Método de la Mínima Diferencia Significativa
µg: Microgramo
µL: Microlitro
µm: Micrómetro
mg: Miligramos
MJ-2009: Marcos Juárez 2009
MJ-2010: Marcos Juárez 2010
mL: Mililitro
ML: Verosimilitud máxima
MLGM: Modelo Lineal General y Mixto
mM: Milimolar
N: Normal
NEA: Noreste Argentino
nm: Nanómetro
NOA: Noroeste Argentino
Ø A: Diámetro de gránulos A
Ø B: Diámetro de gránulos B
p/p: Peso en peso
PB: Pastas hechas con harina blanca
PC: Pérdida por cocción
PIA: Pastas hechas con harina integral del molino Cyclotec
PIB: Pastas hechas con harina integral proveniente del molino de cuchillas
ppm: Partes por millón
PS: Pentosanos Solubles
PS: Pérdida de sólidos
PT: Pentosanos Totales
q A (%): Porcentaje de volumen que ocupan los gránulos A
q B (%): Porcentaje de volumen que ocupan los gránulos B
R-2009: Reconquista 2009
R-2010: Reconquista 2010
RET: Red de Ensayos comparativos de Trigo
rpm: Revoluciones por minuto
RVA: Analizador de Viscosidad
SB: Setback
SDS: Dodecil Sulfato de Sodio
SDS-PAGE: SDS-Electroforesis en Gel de Poliacrilamida
SEM: Microscopía electrónica de barrido
S-S: Puente de disulfuro
Tc: Temperatura de finalización de la gelatinización
To: Temperatura de inicio de la gelatinización
TOC: Tiempo Óptimo de Cocción
TP: temperatura de *pasting*
Tp: Temperatura de pico de la gelatinización
UN.A.F.P.A: Fabricantes de Pastas Alimentarias de la Unión Europea
USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos

UV: Ultravioleta
VA*G: Varianza ambiente*genotipo
VA: Varianza Ambiental
VC: Viscosidad de caída
VF: Viscosidad final
VG: Varianza Genotípica
VP: Viscosidad de pico
WHO: World Health Organization

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

GENERALIDADES SOBRE EL TRIGO

El trigo es uno de los cereales más importante en el mundo en términos de cultivo y alimentación humana. Es el segundo en producción mundial, después del maíz (Figura 1.1) y se encuentra entre los tres cereales que mayor rango geográfico y climático tiene para su producción (FAOSTAT, 2015). El trigo es una de las especie con mayor adaptación creciendo en diversos ambientes, desde el nivel del mar hasta 4570 metros sobre el nivel del mar. Esta amplia adaptación a diversas condiciones ambientales es posible gracias a la gran variabilidad genética existente, con producción de más de 2500 cultivares (Shewry *et al.*, 2003).

Producción mundial de granos



Figura 1.1. Producción mundial de cereales y oleaginosas 2015/2016 (Foreign Agricultural Service/USDA)

El trigo es un gramínea anual perteneciente a la familia Poaceae (Gramieae) de la tribu Triticeae (Zohary y Hopf, 2000). Los trigos más comúnmente cultivados son diploides

(*T. monococcum*), tetraploides (*T. dicoccum* y *T. durum*) y hexaploides (*T. aestivum*) siendo este último conocido como trigo pan. Actualmente, a nivel mundial, el trigo pan corresponde al 95% de la producción de trigo. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la producción mundial de trigo 2016/17 será de 744,72 millones de toneladas mientras que la producción del año 2015 fue de 735,48 millones de toneladas. Esto se traduce en un incremento de 9,24 millones de toneladas o un 1,26% en la producción de trigo alrededor del mundo.

La cosecha de trigo 2015/16 en Argentina fue de 10,9 millones de toneladas mientras que la estimada para el periodo 2016/17 es de 13,4 millones de toneladas, lo que significa un aumento de un 21,6% respecto al año anterior (Figura 1.2). De la producción total, 4,1 millones de toneladas son molidas y la harina producida se destina principalmente para la elaboración de pan, en segundo lugar se encuentra la producción de galletitas y bizcochos, y el resto se vende y se exporta fraccionada (Lezcano, 2014). El consumo de harina de trigo *per capita* en Argentina en el año 2014 fue de 88,4 kg/hab/año. El consumo anual de galletitas y bizcochos *per capita* fue de 9,9 kg mientras que el consumo de pastas fue de 7,5 kg *per capita*.

 TRIGO	2016/17	4,6	RINDE	30	PRODUCCIÓN	13,4
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	
 SOJA	2016/17	19,6	RINDE	--	PRODUCCIÓN	--
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	
 MAIZ	2016/17	5,8	RINDE	--	PRODUCCIÓN	--
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	
 TRIGO	2015/16	3,9	RINDE	29,3	PRODUCCIÓN	10,9
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	
 SOJA	2015/16	20,2	RINDE	29,1	PRODUCCIÓN	55,3
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	
 MAIZ	2015/16	4,9	RINDE	75,7	PRODUCCIÓN	30,1
	AREA SEMBRADA	MILLONES HA		QQ/HA	MILLONES TN	

Figura 1.2. Producción de trigo en Argentina. 2016. Bolsa de Comercio de Rosario

Si bien las proteínas del trigo poseen menor valor nutritivo que las de origen animal debido a que son deficientes en lisina, el consumo de cereales es recomendable desde el punto de vista nutricional, ya que proporcionan a la dieta hidratos de carbono complejos, fibra dietética, minerales y vitaminas del complejo B y son de bajo contenido en grasa; por ello le siguen en importancia al consumo de frutas y verduras (Figura 1.3).



Figura 1.3. Gráfica de la Alimentación Diaria. Ministerio de Salud 2016.

SUBREGIONES TRIGUERAS

El cultivo de trigo pan en Argentina se realiza en la zona comprendida entre los 30-40° de latitud sur y 57-68° de longitud oeste, que se divide en nueve sub-regiones trigueras, I, II Norte, II Sur, III, IV, V Norte, V Sur y regiones NOA (Noroeste Argentino) y NEA (Noreste Argentino) (Figura 1.4). Estas Subregiones tienen características agroecológicas diferenciales (Zarrilli, 2010).

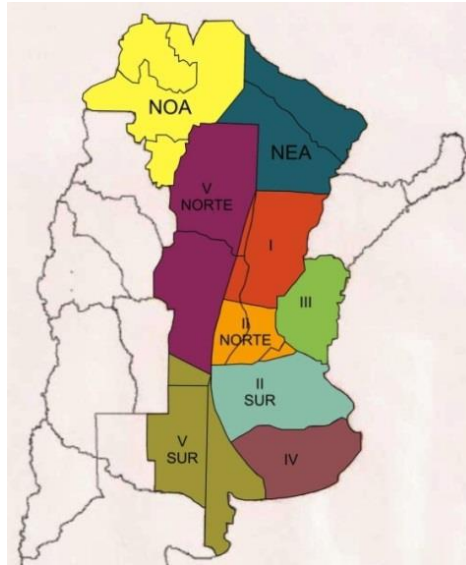


Figura 1.4. Subdivisión de zonas trigueras en Argentina (INTA, 1981).

La siembra de trigo en Argentina se realiza principalmente en la región pampeana, siendo las principales regiones productoras el sur de la provincia de Buenos Aires, que produjo en la actual campaña el 38,1% del total, la provincia de Santa Fe con el 13,01% de participación y Córdoba con el 27,1% (Figura 1.5) (Bolsa de Comercio de Rosario, 2016).

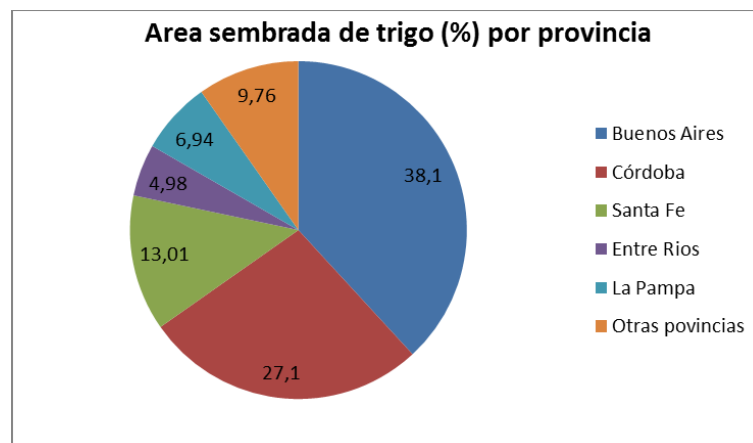


Figura 1.5. Área sembrada de trigo por provincia Argentina expresada en porcentaje, campaña 2016-2017. Bolsa de Comercio de Rosario, 2016.

CLASIFICACION DE VARIEDADES DE TRIGO

Argentina ha realizado avances en la clasificación de las variedades de trigo en tres Grupos de Calidad (Salomón y Miranda, 2001). En base a ello, el Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas (CONASE) del Instituto Nacional de Semillas (INASE), realiza anualmente la categorización de las nuevas variedades de trigo pan según su índice de calidad en tres grupos. Este índice de calidad, es calculado en base a la información de peso hectolítrico, proteína, rendimiento de harina, cenizas en harina, gluten húmedo, W (alveograma), tiempo de estabilidad (farinograma), y volumen de pan experimental, cada uno multiplicado por un factor de acuerdo a su importancia relativa (Melgar, 2006). En el grupo 1 se incluyen las variedades que son capaces de mejorar o corregir producciones de menor calidad y que se adaptan para panificación industrial; en el grupo 2 se ubican variedades de buena calidad, aptas para panificación tradicional, que no llegan a ser correctoras y que soportan más de 8 horas de fermentación; en el grupo 3, aquellos cultivares que solo soportan panificaciones directas, con tiempos de fermentación cortos, inferiores a 8 horas.

CICLO VEGETATIVO DEL TRIGO

En el ciclo vegetativo del trigo se distinguen tres períodos (Figura 1.6):

- Fase vegetativa, que comprende desde la siembra hasta el comienzo del encañado.
- Fase reproductiva, desde el encañado hasta la terminación del espigado.
- Llenado de granos, que comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección.

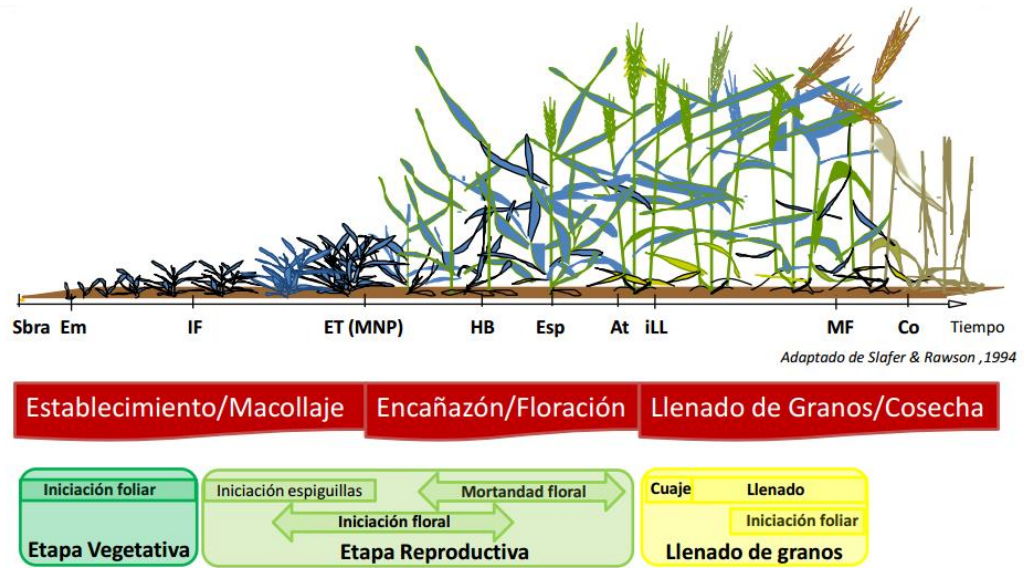


Figura 1.6. Ciclo vegetativo del trigo.

La calidad del grano de trigo está usualmente influenciada por factores ambientales, genéticos y la interacción ambiente*genotipo. Condiciones ambientales adversas durante la antesis y el período de llenado de granos han sido identificados como la mayor limitación para la calidad del trigo alrededor del mundo (Jiang *et al.*, 2009; Triboi *et al.*, 2003).

GRANO DE TRIGO

El **grano de trigo**, al igual que los demás cereales, es una cariósida y se encuentra constituido por tres partes principales: el salvado, el germen o embrión, y el endosperma (Figura 1.7). El pericarpio y la testa, juntamente con la capa de aleurona, conforman el **salvado** de trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como con un alto contenido de proteína. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endosperma. Esta juega un rol fundamental en el desarrollo del embrión durante la germinación (Ritchie *et al.*, 2000). La capa de aleurona contiene altas concentraciones de diversas sustancias nutritivamente importantes, y por ello resulta muy

interesante conseguir su aprovechamiento (Antoine *et al.*, 2002). El **germen** constituye un porcentaje muy pequeño del grano, y es el lugar donde se iniciará una nueva planta. Es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E y contiene proteínas, grasas y minerales (Hoseney, 1994a). Por último, el **endosperma**, cuyas células se encuentran repletas de gránulos de almidón incluidos en una matriz proteica, que está constituida por proteínas de reserva, que en el caso del trigo constituyen el gluten, y por proteínas metabólicamente activas (Pomeranz, 1971).

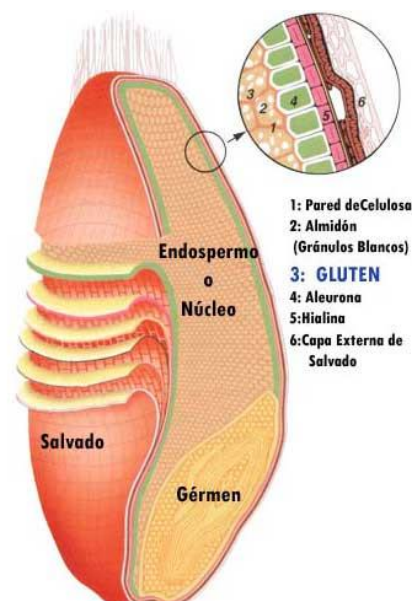


Figura 1.7. Grano de trigo

Las paredes celulares del grano de trigo están formadas por celulosa, hemicelulosas, pentosanos y β -glucanos. El espesor de las paredes celulares varía con la posición en el grano y según los distintos tipos de trigo. Por ejemplo los trigos duros contienen paredes celulares gruesas con gran cantidad de hemicelulosa, que otorga a las harinas capacidad de absorber agua, por lo que son elegidos para la elaboración de pan. Los trigos blandos tienen paredes celulares delgadas, con menor cantidad de hemicelulosa, por lo que su harina no absorbe grandes cantidades de agua (Hoseney, 1994a). El contenido y la pared celular de las células del endosperma constituyen la harina blanca.

La composición química del trigo puede variar según la variedad, la región de cultivo y el año de cosecha. En función de esto, la composición de los principales componentes en un grano de trigo resulta en: humedad 8,0-18,0%, proteínas 7,0-18,0%, lípidos 1,5-2,0%, almidón 60,0-68,0%, fibra cruda 2,0-2,5% y cenizas 1,5-2,0% (Matz, 1999).

PROTEÍNAS

El concepto de calidad de un trigo es muy complejo, y se encuentra determinado por diversos parámetros, relacionados en su mayor parte con el contenido de proteínas del grano. Osborne (1907) fue el primero en separar sistemáticamente las proteínas del trigo en cuatro fracciones, basándose en las diferencias de solubilidad: así llamó *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. 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 ésta 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).

Las proteínas de trigo se pueden dividir en dos grandes grupos, las proteínas capaces de formar el gluten y aquellas que no lo forman. Las primeras son proteínas de almacenamiento, mientras que entre las proteínas que no forman gluten, se encuentran la mayoría de las enzimas (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, triptofano 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 (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 a 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 (Hoseney, 1994a).

GLUTENINAS

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). Las HMW-GS están asociadas a la calidad panadera de los cultivares de trigo.

GLIADINAS

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 (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 (Tatham y Shewry, 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 (Souza *et al.*, 1994; Gaines, 1991).

ESTRUCTURA DEL GLUTEN

El gluten es una red tridimensional de proteínas entrecruzadas, con una estructura continua, la cual se mantiene mediante interacciones covalentes, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Las proteínas que integran esta red se encuentran localizadas en el endosperma del grano en forma de cuerpos proteícos. Para que la red de gluten pueda consolidarse es necesario que estos cuerpos proteícos se rompan, en este sentido, la hidratación de una harina promueve el hinchamiento e hidratación de estas proteínas debilitando así las uniones que las mantienen inicialmente adheridas (Icard-Vernière y Feillet, 1999). Las proteínas que conforman el gluten varían en su proporción, estructura y propiedades y su rol en el procesamiento del pan aún no es totalmente comprendido (Shewry *et al.*, 2001). Como se mencionó anteriormente, las subunidades de glutenina de alta masa molecular están presentes en forma de polímeros (macropolímero de gluteninas). La importancia de tales polímeros en la viscoelasticidad del gluten ha sido evaluada durante muchos años, aunque su tamaño, complejidad y baja solubilidad limitan su estudio. La importancia de los puentes disulfuro en estabilizar estos polímeros ha sido extensamente demostrada. Hay evidencia de la formación de estos enlaces intermoleculares entre HMW-GS, y de estas con LMW-GS (Kasarda, 1999; Shewry y Thatham, 1997). Los enlaces disulfuro son entonces considerados esenciales para la viscoelasticidad del gluten. La composición de aminoácidos de las proteínas del gluten muestra que aproximadamente la mitad de los constituyentes son glutamina y prolina, por lo que se establece una 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, 1994b). Las gliadinas, contribuyen a la viscosidad del gluten al interactuar con los polímeros de gluteninas mediante interacciones no covalentes (Figura 1.8). Todas las interacciones que se establecen en este complejo sistema son muy importantes ya que contribuyen a la viscoelasticidad de la masa (Ewart, 1989; Jeffrey y Saenger, 1994; Belton, 1999).



Figura 1.8: Esquema general de la estructura de la red de gluten (S-S: puente de disulfuro, gli: gliadinas).

ALMIDÓN

Las semillas de los cereales almacenan energía en forma de almidón. La cantidad de almidón presente en el grano de trigo es variable, pero por lo general oscila entre el 60 y el 75% del peso del grano. De esta manera, gran parte de los alimentos que consume el hombre están constituidos por almidón, que es una excelente fuente de energía. Además de su importancia energética, el almidón es utilizado en la industria alimentaria por el efecto que éste ejerce sobre las propiedades físicas de los alimentos.

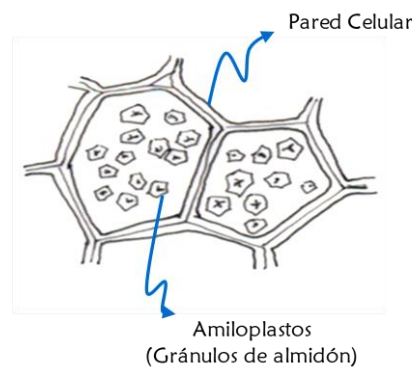


Figura 1.9. Representación esquemática de las células que contienen los amiloplastos donde se sintetizan los gránulos de almidón de trigo.

En los cereales, el almidón se acumula en pequeñas organelas limitadas por una doble membrana llamadas amiloplastos (Figura 1.9). Un amiloplasto puede contener uno o varios gránulos de almidón, dependiendo de la especie.

El almidón está compuesto por dos tipos de polímeros de α -D-glucosa, diferenciados por su estructura química en amilosa y amilopectina con una relación amilosa/amilopectina entre 25-28% y 72-75% respectivamente. La amilosa, que es un polímero esencialmente lineal compuesto por unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1-4), con escasos puntos de ramificación formados por enlaces α -(1-6) (Shibanuma *et al.*, 1994); y la amilopectina que está formada por una cadena central similar a la de la amilosa pero posee ramificaciones con enlaces α -(1-6) cada 9 a 20 unidades de D-glucosa (Whilster y Daniel, 1984). La amilopectina es una de las moléculas más grandes de la naturaleza con una masa molecular que varía desde $50-500 \times 10^6$, y a diferencia de la amilosa posee una cadena central formada por 3×10^5 a 3×10^6 unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1-4), y ramificaciones formadas por glucosas unidas por enlaces α -(1-6) que aparecen cada 20-25 unidades (Manners, 1989; Gilliard y Bowler, 1987) (Figura 1.10). Las cadenas de amilopectina pueden clasificarse como cadenas externas no ramificadas (A) o cadenas internas ramificadas (B). La estructura de la amilopectina se representa comúnmente por un modelo de *cluster*, en el que las cadenas A de 12-16 grados de polimerización, que pueden formar doble hélices, están organizadas en *clusters* (Thompson, 2000). Los *clusters* comprenden el 80-90% de las cadenas y están unidos a las cadenas B (que conforman el restante 10-20%) (Hizukuri, 1986).

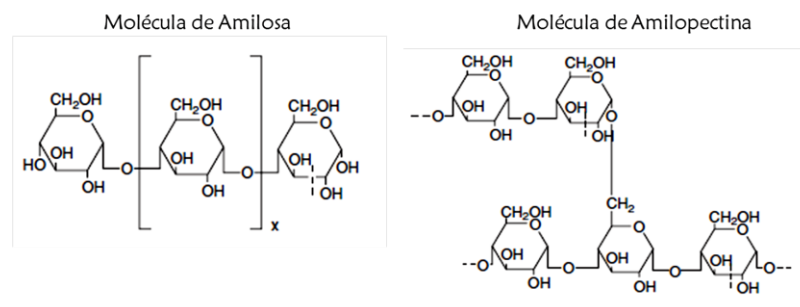


Figura 1.10. Estructura química simplificada del polímero de amilosa y amilopectina.

Es ampliamente conocido que en los granos de trigo el almidón se deposita en dos tipos de gránulos: los gránulos tipo A y tipo B que presentan una distribución bimodal (Peng *et al.*, 1999; Evers y Lindley, 1977) y se pueden clasificar según su biosíntesis, tamaño y forma. La biosíntesis ocurre en dos momentos diferentes del desarrollo del grano de trigo. La síntesis de los gránulos tipo A comienza 4 días después de la antesis y su crecimiento y desarrollo continua por 20 días (Bechtel *et al.*, 1990). Por otro lado, los gránulos tipo B se comienzan a sintetizar 10 días luego de la antesis con un crecimiento significativo 20 días después. Con respecto a la morfología los gránulos tipo A poseen un diámetro mayor a 10 μm con forma lenticular mientras que los gránulos tipo B poseen un tamaño menor ($<10 \mu\text{m}$) con forma esférica (Peng *et al.*, 1999; Soulaka y Morrison, 1985; Evers y Lindley, 1977). Mientras que los gránulos tipo A representan la mayor proporción del peso del endosperma (50-90%), los gránulos tipo B predominan en número (más del 99%) (Shinde *et al.*, 2003; Bechtel *et al.*, 1990; Soulaka y Morrison 1985).

Los gránulos A y B poseen diferente composición química, como la proporción de amilosa-amilopectina y lípidos así como distintas propiedades funcionales: características de *pasting*, propiedades de horneado (Maningat y Seib, 1997; Seib, 1994) y propiedades reológicas (Tang *et al.*, 2000; Casey *et al.*, 1997; Kulp 1973). El comportamiento diferencial entre ambos tipos de gránulos permite que puedan ser utilizados en la industria para diferentes tipos de productos. Por ejemplo, los almidones con mayor cantidad de gránulos B pueden usarse como sustituto de grasa (Lim *et al.*, 1992) mientras que los almidones que presentan un alto porcentaje de gránulos A se aplican en la manufactura de films plásticos biodegradables (Nachtergaele y Van Nuffel, 1989).

La organización del almidón en los gránulos es radial, lo cual queda evidenciado por la aparición de una cruz de malta cuando son sometidos a luz polarizada (Figura 1.11).

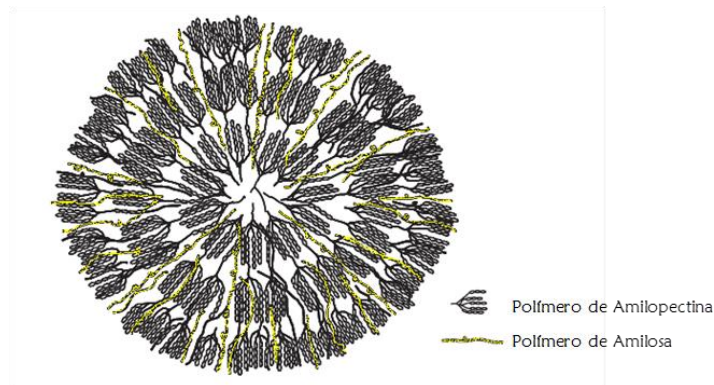


Figura 1.11. Esquema de la organización radial de anillos de los gránulos de almidón.

El gránulo de almidón está formado por anillos de crecimiento amorfos alternados con anillos de crecimiento semicristalinos con un espesor radial de 120-400 nm (Buléon *et al.*, 1998). La amilosa y las regiones de ramificación de la amilopectina forman las regiones amorfas, mientras que, las capas semicristalinas están constituidas por cadenas externas lineales de amilopectina, las cuales conforman doble hélices cristalinas (Perry y Donald, 2000; Jenkins *et al.*, 1993) (Figura 1.12).

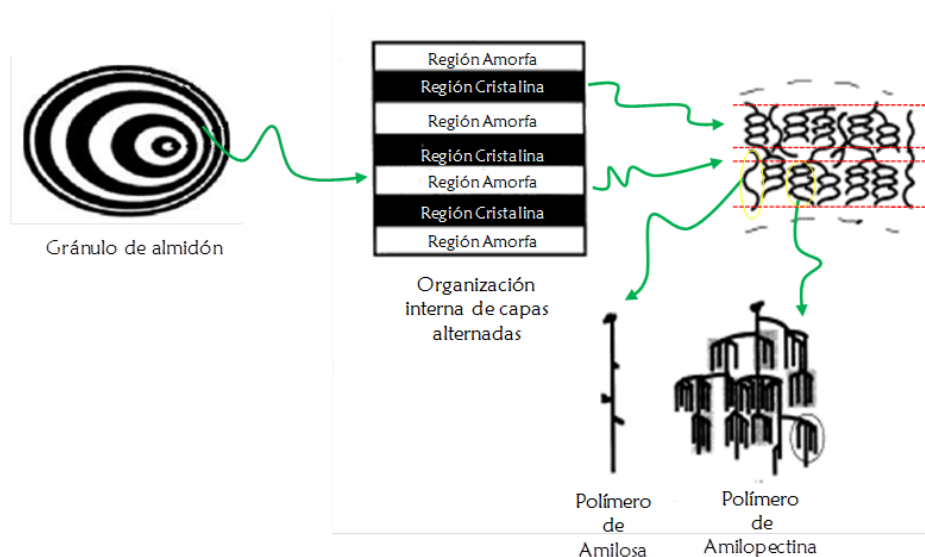


Figura 1.12. Representación de la estructura en capas de los gránulos de almidón.

La integridad de los gránulos de almidón en el endosperma del trigo puede ser afectada por las operaciones mecánicas como la molienda. Durante este proceso, una fracción de los gránulos de almidón es dañada, produciendo así lo que se denomina como almidón dañado. El nivel de almidón dañado depende de factores genéticos y ha demostrado tener muy poca variación entre trigos del mismo cultivar. El nivel de daño que sufren los gránulos de almidón está relacionado directamente con la dureza del grano de trigo y con las condiciones y tipo de molienda; cuanto mayor sea la resistencia que ofrezcan los granos a la molturación, mayor será el contenido de almidón dañado presente en la harina (Hoseney, 1994b). El contenido de almidón dañado que regularmente presentan las harinas de trigo ronda alrededor del 5-13%, dependiendo de las características del trigo y de las condiciones de molienda.

Los gránulos dañados absorben entre 200 y 430% de su peso en agua a temperatura ambiente, mientras que los gránulos sanos absorben entre un 39 y 87%, lo que deriva en un incremento en la capacidad de absorción de agua de las harinas (Berton *et al.*, 2002) dificultando la manipulación de las masas.

PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Cuando los gránulos de almidón son calentados en presencia de agua sufren una transición de fase orden-desorden llamada *gelatinización*, en un rango de temperaturas característico para cada tipo de almidón (Hoover, 2001), que lleva a la destrucción irreversible del orden molecular en los gránulos de almidón (Atwell *et al.*, 1988). La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico durante el cual las regiones amorfas de los gránulos comienzan a absorber agua y se hinchan, lo que provoca la disrupción de la organización radial y la ruptura de la estructura cristalina (Tester y Debon, 2000; Jenkins y Donald, 1998). La gelatinización es un proceso que depende de la cantidad de agua disponible, siendo necesario un nivel mínimo para que se produzca este fenómeno.

En condiciones limitantes de agua (menores a ~60% p/p de agua para mezclas almidón/agua) el proceso de gelatinización requiere de mayor temperatura que en condiciones de exceso de agua, ya que la energía se utiliza para fundir a las regiones cristalinas que no alcanzaron a ser desorganizadas por efecto de la hidratación de las regiones amorfas (Biliaderis *et al.*, 1980; Donovan, 1979).

Paralelamente a la absorción de agua y al hinchamiento de los gránulos que ocurre durante el calentamiento en presencia de agua, las moléculas de amilosa comienzan a migrar hacia la solución (Figura 1.13).

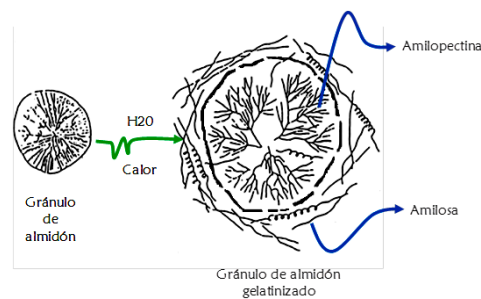


Figura 1.13. Representación del proceso de gelatinización de los gránulos de almidón.

Como consecuencia de estos procesos, la viscosidad incrementa hasta alcanzar un valor máximo, en donde el número de gránulos hinchados e intactos es el mayor que puede alcanzarse bajo las condiciones de trabajo (Hoseney y Zeleznak, 1986). Si el proceso de calentamiento continúa, se produce una reducción de la viscosidad, debido a que los gránulos tienden a romperse parcial o totalmente y las moléculas de almidón se dispersan en la fase acuosa (Figura 1.14).

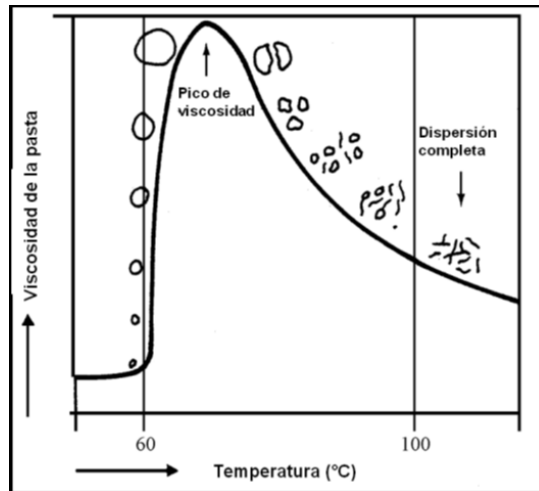


Figura 1.14. Hinchamiento, ruptura y dispersión de los gránulos de almidón durante la gelatinización (adaptado de BeMiller y Whistler, 1996).

Cuando una suspensión de almidón gelatinizada es enfriada las moléculas se reasocian dando lugar a un estado más ordenado o cristalino, proceso llamado retrogradación (Atwell *et al.*, 1988), en donde se forman estructuras compactas. Durante el proceso de gelificación, inicialmente se forman dobles hélices entre las moléculas de amilosa (solubilizadas durante la gelatinización) y se desarrolla una red continua que rodea los gránulos de almidón hinchados y deformes (Eliasson y Larsson, 1993). Estas estructuras son térmicamente muy estables y solamente pueden ser rehidratadas a 80-150 °C, dependiendo del grado y la naturaleza de la retrogradación (Haralampu, 2000). Durante la retrogradación, la amilosa lixiviada a la solución como un polímero enrollado, se reorganiza como dobles hélices estabilizadas por medio de uniones puente hidrógeno. En las hebras individuales, las hélices contienen seis unidades de glucosa por vuelta, que al retrogradar, se empaquetan en una única celda hexagonal. La retrogradación de la amilopectina ocurre a una velocidad mucho menor que la de la amilosa por lo que se la postula como uno de los fenómenos responsables del endurecimiento del pan durante su almacenamiento a largo plazo y de la pérdida de la aceptabilidad en los productos de panificación esponjados.

La retrogradación del almidón es influenciada por diferentes condiciones y componentes, como el pH y el contenido acuoso, así como también, por la presencia de lípidos, proteínas, azúcares y ácidos (Eliasson y Gudmundsson, 1996).

El proceso de gelatinización del almidón puede ser estudiado con diversas técnicas. Debido a que es un proceso endotérmico puede ser fácilmente analizado mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) (Liu *et al.*, 2006; Shogren, 1992). Mediante DSC se mide el flujo de energía calórica cuando una muestra pequeña es sometida a un cambio constante de temperatura, y es la técnica más utilizada para el estudio de la gelatinización.

El análisis de los termogramas que se obtienen con esta técnica permite determinar la temperatura a la que ocurre el proceso y su entalpía (ΔH). DSC es muy útil cuando se desea inferir las diferencias estructurales de almidones. Altas temperaturas de transición se han relacionado con un alto grado de cristalinidad, indicando estabilidad estructural y resistencia de los gránulos a la gelatinización (Barichelo *et al.*, 1990). Asimismo, el ΔH de gelatinización es generalmente interpretado como la cantidad de estructura de doble hélice en una suspensión de almidón que es desorganizada durante el calentamiento en presencia de agua (Xie *et al.*, 2008). Los cambios en el perfil de viscosidad que sufre una mezcla de almidón y agua en función de la temperatura son comúnmente analizados mediante la utilización de un Amilógrafo Brabender o un *Rapid Visco Analyser (RVA)*. Este equipo permite medir bajo agitación continua los cambios en la viscosidad producidos en ciclos de calentamiento y enfriamiento programados de mezclas de almidón y agua (Biliaderis, 2009).

Diversos estudios revelaron que las características fisicoquímicas del almidón y la distribución del tamaño de gránulos en los granos de trigo están controladas por factores genéticos y ambientales (Peña *et al.*, 2002) considerándose en muchos casos este último como el responsable más importante (Panozzo y Eagles, 2000).

Las condiciones ambientales poseen un significativo impacto en el hinchamiento y las propiedades viscosas de los gránulos de almidón (Lin y Czuchajowska, 1997; Morris *et al.*, 1997; Dengate y Meredith, 1984). Temperaturas extremas y períodos de sequía durante el llenado de grano han sido identificadas como fuentes de variación importantes en las características del almidón debido a que interfieren en la fisiología de las células y los procesos bioquímicos involucrados en la síntesis de los gránulos de almidón (Thitisaksakul *et al.*, 2012; Balla *et al.*, 2010; Dupont y Altenbach, 2003). Además provocan la reducción en la acumulación de almidón en los granos (Hurkman *et al.*, 2003; Shi *et al.*, 1994) y alteran la relación de gránulos A/B incrementando, por otro lado, el contenido de amilosa (Blumenthal *et al.*, 1995; Shi *et al.*, 1994). Otros factores como fecha y lugar de siembra pueden afectar dichas características del almidón en mayor medida que las diferencias genotípicas que se puedan presentar (Siebenmorgen *et al.*, 2013; Aboubacar *et al.*, 2006; Campbell *et al.*, 1995).

FIBRA DIETÉTICA

La fibra dietética se ha definido como la “parte consumible de la planta o carbohidrato análogo que son resistentes 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 rango de compuestos no digeribles como almidón resistente, celulosa, hemicelulosa y pectina pero también incluye componentes no polisacáridos como 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 a la 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/o de insulina (Chaplin, 2003).

PENTOSANOS

Los polisacáridos no almidonosos, en el grano de trigo, incluyen distintas moléculas construidas a partir de hexosas y pentosas (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 maduras es la de proveer soporte estructural a las paredes celulares (Carpita y Gibeaut, 1993).

La concentración de pentosanos varía dependiendo del cultivar y el tejido del grano de trigo constituyendo el 20-27% de la aleurona, el 23-32% del salvado y el 2-4% del endosperma (Pomeranz, 1988). La estructura general de los pentosanos es un esqueleto central de xilosas unidas por enlaces β -(1-4) que llevan un residuo simple de L-arabinosa en el C-3 o en los C-2 y C-3 (Wang *et al.*, 2006; Perlin, 1951) por lo que la relación arabinosa/xilosa es variable. Pueden tener ácido ferúlico unido al carbono cinco (C(O)-5) de la L-arabinosa mediante una unión tipo éster (Fausch *et al.*, 1963) (Figura 1.15). La frecuencia de la sustitución de residuos de arabinosa en el esqueleto de xilosa contribuye a la solubilidad (Gruppen *et al.*, 1993; Delcour y Courtin, 2008) y resulta en la clasificación de dos tipos de fracciones: fracción soluble e insoluble en agua las cuales comprenden el 25% y 75% respectivamente de los pentosanos presentes en la harina de trigo (Meuser y Suckow, 1986). Ambas fracciones están localizadas en diferentes áreas de la pared celular. La fracción soluble esta débilmente unida al exterior de la pared celular mientras que la fracción insoluble esta covalentemente unida a la pared celular (Mares y Stone, 1973;

Courtin y Delcour, 2002). Además de presentar diferencias en su localización poseen diferentes funciones y estructura química (Kim y D'Appolonia, 1977b; Izydorczyk *et al.*, 1990). El contenido y la composición de las fracciones solubles e insolubles de pentosanos son considerablemente afectados por factores genéticos y ambientales (Hong *et al.*, 1989; Ciccoritti *et al.*, 2011).

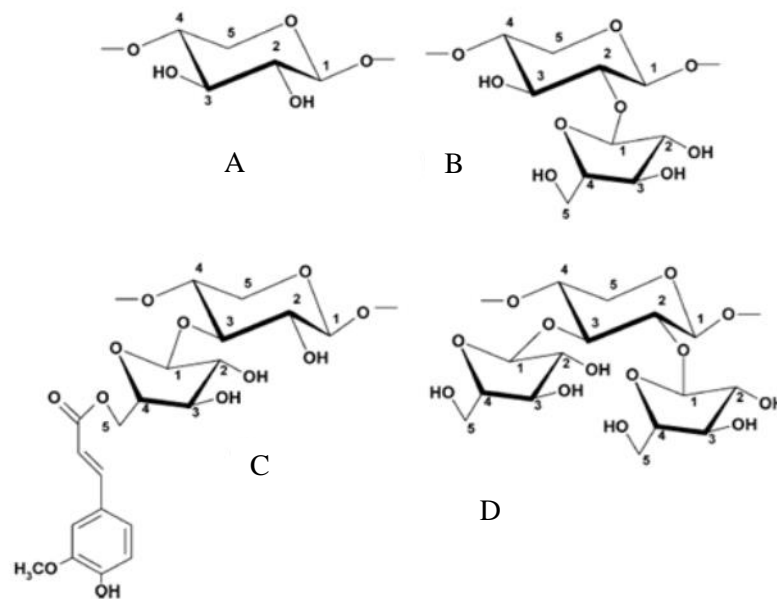


Figura 1.15. Elementos estructurales de los arabinoxilanos. (A) Residuo de D-Xilosa nosustituida. (B) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-2 con un residuo de D-arabinosa. (C) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-3 con un residuo de D-arabinosa que tiene unido al C(O)-5 una molécula de ácido ferúlico. (D) Residuo de D-Xilosa sustituida en el C(O)-2 y C(O)-3 con residuos de D-arabinosa.

La habilidad de los pentosanos para retener agua y formar soluciones viscosas o geles por uniones covalentes probablemente afecta la distribución de la humedad entre los constituyentes de una masa panaria, alterando la formación del gluten y las propiedades reológicas del sistema (Kim y D'Appolonia, 1977a). Los pentosanos insolubles en agua causan un impacto negativo debido a que actúan limitando la agregación del gluten, como

consecuencia de impedimentos estéricos (van Oort *et al.*, 1995), absorben una gran cantidad de agua, limitando su disponibilidad para el desarrollo del gluten, y causan la coalescencia de las celdas de gas, lo que resulta en un deterioro de la calidad del pan (Delcour y Courtin, 2008).

Por el contrario, los pentosanos solubles en agua, causan un impacto positivo debido a que actúan disminuyendo la velocidad de difusión del dióxido de carbono en la masa, estabilizando las celdas de gas. Además, incrementan la viscosidad de la fase acuosa de la masa aumentando su estabilidad e incluso mejoran las características del pan: como el volumen de pan y la firmeza y estructura de la miga (Gan *et al.*, 1995; Hosney, 1994a).

Por otro lado, los arabinosilanos constituyen una fracción de fibra dietética que tienen múltiples efectos sobre el sistema digestivo humano. Los arabinosilanos estimulan la producción de bacterias probióticas que habitan en el intestino grueso (Crittenden *et al.*, 2002) y la fermentación de dicho compuesto en el intestino grueso, genera ácidos grasos de cadena corta que disminuyen la cantidad de lipoproteínas de baja densidad que transportan colesterol (LDL) sintetizadas en el hígado y mejorar así la absorción de sustancias minerales tales como iones calcio o magnesio (López *et al.*, 1999).

Dada su variabilidad, su rol funcional e importancia nutricional, es muy importante conocer el contenido de ambas fracciones de pentosanos en los genotipos de trigo argentinos ya que la gran mayoría de los estudios se limitan solo a componentes proteicos, mientras que componentes minoritarios como los pentosanos no son tenidos en cuenta al momento de evaluar la calidad de las variedades de trigo a pesar de su influencia en el desarrollo del gluten y su aporte a la calidad nutricional

LÍPIDOS

El grano de trigo contiene una cantidad relativamente pequeña de lípidos, entre 1,5 y 2%. Los lípidos de la harina de trigo constituyen un grupo heterogéneo de compuestos con diferentes estructuras químicas y composición. Se pueden encontrar libres o unidos a otro constituyente de la harina, como almidón y proteínas. Los lípidos que se encuentran libres son polares, principalmente glico y fosfolípidos, mientras que los lípidos no polares, mayormente triglicéridos, son los que se encuentran asociados a las proteínas (Eliasson y Larsson, 1993; Chung, 1986). Los fosfolípidos se almacenan principalmente en el germen y la capa de aleurona en organelas llamadas esferosomas, mientras que los glicolípidos se encuentran, en mayor medida, en el endosperma. Los lípidos asociados al almidón comprenden en gran parte lisofosfolípidos 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 (Morrison *et al.*, 1993). La fracción de lípidos que no está asociada al almidón está constituida por cantidades similares de lípidos polares y no polares. Estos lípidos se encuentran libres o unidos principalmente a proteínas.

En el patrón de ácidos grasos de los lípidos de la harina de trigo se encuentran mayoritariamente el ácido linoleico y en menor cantidad el ácido palmítico, oléico y linolénico (Eliasson y Larsson, 1993).

Durante el desarrollo de la masa, 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 (Matsuo *et al.*, 1986).

COMPUESTOS BIOACTIVOS

En el trigo, los componentes bioactivos más significativos con reconocidos efectos beneficiosos para la salud son los minerales, polifenoles, ácido fítico, vitamina B y E, entre otros (Fardet, 2010; Rosa-Sibakov *et al.*, 2014.)

En la actualidad, 49 componentes nutricionales son considerados esenciales e indispensables para la vida humana (Welch y Graham, 2004). Entre ellos se encuentran el agua, carbohidratos, 10 aminoácidos esenciales, ácido linoleico y linolénico, 7 macroelementos minerales, 16 microelementos minerales o elementos trazas y 13 vitaminas.

En el contexto de nutrición humana los elementos trazas y vitaminas conforman un grupo denominado micronutrientes los cuales son necesarios para el cuerpo humano en pequeñas cantidades (generalmente menos de 100 mg/día), contrariamente a los elementos considerados macronutrientes como Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Cloro (Cl), etc que el organismo requiere en grandes cantidades (Brinch-Pedersen *et al.*, 2007). Elementos trazas incluyen, al menos, metales de transición como Vanadio (V), Cromo (Cr), Manganeso (Mg), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo) y no metales como Selenio (Se), Flúor (F) e Iodo (I). Los elementos trazas son elementos cruciales para diversas estructuras biológicas pero al mismo tiempo pueden ser tóxicos si se encuentran en concentraciones superiores a las necesarias para cumplir su función biológica (Fraga, 2005).

MINERALES

El zinc (Zn) es un elemento que cumple funciones específicas y muy importantes a nivel fisiológico acelerando el crecimiento, coordinando la respuestas inmunes y participando en la síntesis de diversas enzimas (ADN polimerasa, fosfatasa alcalina, etc). Además, participa en el crecimiento y replicación celular así como en la formación de huesos (Chen, 2006; Liu *et al.*, 2014). El hierro (Fe) es un elemento que cumple funciones vitales en el organismo. Actúa como transportador de oxígeno a los tejidos desde los pulmones; favorece la oxigenación de los tejidos musculares, favorece el desarrollo del cerebro y juega un rol fundamental en proveer fuerza al sistema inmune. El magnesio (Mg) es un co-factor de diversas enzimas involucradas en el metabolismo, en la síntesis de proteínas, de ADN y ARN y en el mantenimiento del sistema nervioso (Stipanuk y Caudill, 2012). El calcio (Ca) juega un rol primordial en el desarrollo del sistema óseo además de prevenir y tratar numerosas enfermedades relacionadas con dicho sistema como osteoporosis (Stipanuk y Caudill, 2012). El potasio (K) es un elemento importante ya que regula funciones celulares y eléctricas (Haas, 2000). Por otro lado, el cobre (Cu) es necesario para el desarrollo de tejidos conectivo y óseo; participa además en el metabolismo del Fe y actúa como reductor de enzimas (superóxidodismutasa, citocromo oxidasa, etc) (Kanumakala *et al.*, 2002, Kashian y Fathivand, 2015). El manganeso (Mn) está asociado al desarrollo de huesos y al metabolismo de aminoácidos, lípidos y carbohidratos (Aschner, 2000).

Los minerales se localizan, principalmente, en las capas externas del grano de trigo, aunque una pequeña cantidad dichos minerales está presente en el endosperma (Eagling *et al.*, 2014a; Moore *et al.*, 2012; Oury *et al.*, 2006). La capa de aleurona contiene, aproximadamente el 60% de los minerales (Akhter *et al.*, 2012; Itkonen *et al.*, 2012). Estudios revelaron que el K, Ca, Mn, Fe y Zn presentan una distribución similar donde las

concentraciones más altas se encuentran en la capa de aleurona y el embrión mientras que el endosperma es la fracción del grano que presenta las concentraciones más bajas. Distinto ocurre con otros minerales como Cu y Cl los cuales se distribuyen de manera similar en los diferentes tejidos del grano (Mazzolini *et al.*, 1985; Brinch-Pedersen *et al.*, 2007).

La malnutrición debido a la falta de micronutrientes es una preocupación que crece día a día alrededor del mundo afectando a billones de personas y básicamente resulta de una excesiva consumición de cereales básicos con bajas cantidades y disponibilidad de micronutrientes (Bouis, 2003; Cakmack, 2008). En la actualidad, el problema de la deficiencia de Zn y Fe en el ser humano ha recibido una atención particular. La deficiencia de Zn junto con vitamina A, han sido identificadas como una prioridad global la cual debe enfrentar el mundo, y representa una de las principales causas de muerte infantil conjuntamente con la neumonía y la diarrea infantil (Black, 2003). La deficiencia de Zn lleva al retraso en el crecimiento de huesos y la maduración ósea, daños en el sistema inmune y en la piel, mayor prevalencia a enfermedades contagiosas y desarrollo del cáncer (Hotz y Brown, 2004; Gibson *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2014) y a una mayor incidencia en la mortalidad infantil atribuída a enfermedades respiratorias (Barnett *et al.*, 2010) y diarrea (Luabeya *et al.*, 2007). Por otro lado, la deficiencia de Fe es uno de los desórdenes nutricionales más comunes alrededor del mundo. Según la organización mundial de la salud el 25% de la población mundial sufre de anemia (WHO, 2009) provocada por la falta de Fe. La deficiencia de Fe puede afectar la resistencia a infecciones, el desarrollo cognitivo y el embarazo (Mayer *et al.*, 2008; Moore *et al.*, 2012). En Argentina, la prevalencia de déficit de Fe en los niños argentinos entre 6 y 23 meses fue de 35,3% representado una magnitud de 259.663 niños según una encuesta Nacional de Nutrición y Salud (Ministerio de Salud, 2008). Si se analiza el total de los niños argentinos con anemia, el 54% de los niños entre 6 y 23 meses presentan valores de ferritina por debajo de lo normal. Si se analiza el total de la población, el 15,5% de la población de mujeres argentinas de 10 a 49 años presentó valores de ferritina sérica inferiores a 12 µg/L, concentración que puede considerarse como deficiencia severa. Además, otras deficiencias

de minerales como Ca y Mg son una preocupación creciente de salud en la población humana ya que conducen al debilitamiento de huesos y dientes y a la aparición de osteoporosis (Cashman, 2002; Meschino, 2002).

Una estrategia para mejorar el nivel de minerales en los cereales básicos, como el caso del trigo, es explorar la variación genética natural que presentan dichos cereales. Los cultivos modernos, sin embargo, poseen bajos niveles y estrecha variación en la concentración de dichos nutrientes minerales, especialmente Zn y Fe (Gomez-becerra *et al.*, 2010). Aunque el Fe y Zn están presentes en gran cantidad en el trigo, su biodisponibilidad es generalmente muy baja (Zimmermann y Hurrell, 2007). La cantidad de ácido fítico, la principal forma de almacenamiento de fosforo en cereales, es considerada el factor principal que determina la baja biodisponibilidad de Fe debido a que el ácido fítico se une fuertemente a iones incluidos el Fe, Zn y Ca (Ockenden *et al.*, 2004) formando un complejo insoluble que no puede ser digerido o absorbido por el ser humano debido a la falta de enzimas intestinales (Abebe *et al.*, 2007; Persson *et al.*, 2009).

POLIFENOLES

Los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, etc) conforman un grupo mayoritario de fitoquímicos presentes en las plantas. El interés en los compuestos fenólicos ha crecido en el último tiempo debido a diversos reportes que señalan su actividad antioxidante en trigo (Jende-Strid, 1985; Andreasen *et al.*, 2000). Dichos compuestos están presentes en las capas externas del salvado y el ácido ferúlico (el ácido fenólico presente en mayor cantidad) es el responsable de unirse a los arabinoxilanos formando fibra dietética insoluble (Nishizawa *et al.*, 1998; Renger y Steinhart, 2000). Como parte de la dieta humana, los compuestos fenólicos pueden contribuir con efectos beneficios derivados del consumo de productos con salvado de trigo. El beneficio potencial de los antioxidantes está asociado a una reducción del riesgo de estrés oxidativo, enfermedades crónicas y

desordenes relacionados a la edad como enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II y obesidad (Willcox *et al.*, 2004; Okarter *et al.*, 2010). La harina integral de trigo posee niveles significativos de antioxidantes (Adom *et al.*, 2003; Hemery *et al.*, 2007) los cuales no se encuentran uniformemente distribuidos en el grano de trigo. Literatura reciente ha demostrado que las distintas fracciones del grano poseen diferentes capacidades antioxidantes siendo la fracción del salvado y la capa de aleurona las que presentan las concentraciones más elevadas (Esposito *et al.*, 2005; Liyana-Pathirana y Shahidi, 2007; Mateo Anson *et al.*, 2008).

HARINA INTEGRAL DE TRIGO

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 (Topping, 2007).

Se denominan productos a base de grano entero a los que poseen endosperma, germen y salvado en las mismas proporciones que existen en el grano intacto previo a la molienda (AACC, 2000; FDA, 2010). En la actualidad, las pautas alimenticias 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.

La mayoría de los productos a base de trigo consumidos en Argentina son a base de harina blanca consistiendo principalmente en endosperma mientras que el salvado, 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 mucho menores que las presentes en el salvado y dichas cantidades muestran una gran variación entre diferentes genotipos de trigo (Dewettinck *et al.*, 2008). Componentes con potenciales beneficios para la salud como compuestos fenólicos, carotenoides y tocoferoles se concentran también en la capa de aleurona y en menor medida en el pericarpio y el germen (Fulcher y Duke, 2002; Ragaee y Abdel-Aal, 2006). La mayoría de los componentes antioxidantes en el salvado están unidos a la fibra y pueden sobrevivir a la digestión gastrointestinal llegando intactos al colon donde proveen un ambiente antioxidante (Fardet *et al.*, 2008). Como diversos estudios epidemiológicos han demostrado, esta puede ser la razón por la cual el consumo de productos a base de grano entero puede ayudar a prevenir el cáncer de colon (Žilić *et al.*, 2012; Perez-Jimenez y Saura-Calixto, 2005).

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).

HARINA BLANCA DE TRIGO

La harina blanca de trigo es el producto obtenido por la molienda gradual y sistemática de los granos de trigo, previa separación de las impurezas hasta un grado de extracción determinado. La molturación y separación generalmente implica la eliminación completa del salvado y el germen, esto último con el fin de evitar la rancidez de la harina debido a su elevada concentración de lípidos. A partir de esto, la harina obtenida como producto de la molienda se encuentra principalmente compuesta por las células rotas del endosperma, las cuales poseen gránulos de almidón incluidos en una matriz proteica constituida principalmente por las proteínas de reserva del trigo (Hoseney, 1994a).

La composición química de la harina blanca de trigo varía respecto del grano entero debido al proceso de molienda, siendo una de las modificaciones más relevantes la pérdida considerable de elementos nutritivos, especialmente de sales minerales y vitaminas. Es por ello que a partir del año 2002 rige en Argentina la ley 25.630, la cual obliga a que la harina blanca de trigo destinada al consumo humano deba ser adicionada con determinadas cantidades de hierro, ácido fólico, tiamina, riboflavina y niacina.

BIOFORTIFICACIÓN

La suplementación y fortificación de alimentos con micronutrientes ha derivado en severas dificultades a pesar de que experiencias previas han demostrado que esta estrategia es efectiva no solo desde un punto de vista tecnológico sino también económico (Akhtar *et al.*, 2011; Lotfi *et al.*, 1996). El requerimiento inicial es identificar las necesidades diarias de micronutrientes, lo cual es complicado por el hecho de que la ingesta de micronutrientes

es dependiente de la matriz alimenticia, así como también de la presencia de diversos componentes en dicha matriz que promueven o inhiben dicha asimilación. Además, los micronutrientes son frecuentemente perdidos durante el procesamiento y cocción de los alimentos.

Es por ello que el mejoramiento genético para producir cultivos biofortificados ha surgido como una solución sustentable para complementar la suplementación y fortificación, especialmente en zonas rurales donde el déficit de micronutrientes es grande y el acceso a grandes mercados comerciales es limitado (Guzman *et al.*, 2014; Bouis *et al.*, 2011). En julio de 2003 el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) estableció el HarvestPlus, un programa de biofortificación con el objetivo de mejorar la salud humana y reducir el riesgo de enfermedades metabólicas proporcionando un entendimiento más detallado de los beneficios del consumo de granos enteros y fomentando a las industrias a la utilización de granos enteros o componentes bioactivos que derivan de dichos granos para la elaboración de productos saludables. Para lograr este objetivo son necesarios numerosos estudios no solo a nivel del cultivo, sino también a nivel de nutrición humana teniendo en cuenta además, las expectativas y percepciones por parte de los consumidores (Shewry *et al.*, 2010; Cakmak *et al.*, 2010). Los dos mayores micronutrientes en los que hace foco el proyecto son el Fe y Zn en el grano de trigo (Joshi *et al.*, 2010).

La biofortificación se enfrenta a numerosos retos, pero a su vez ofrece numerosas soluciones. El reto inicial es usar el mejoramiento convencional o molecular para incrementar el contenido de micronutrientes, preferentemente en su forma biodisponible. Estrategias suplementarias consisten en el mejoramiento genético para favorecer los componentes que promuevan la disponibilidad de minerales y reducir el nivel de aquellos componentes que inhiban dicha disponibilidad. Finalmente, es esencial que el rendimiento agronómico y la calidad de los cultivos biofortificados sea igual o mejor que los cultivares que hoy en día se utilizan (Brinch-Pedersen *et al.*, 2007).

PASTAS ALIMENTICIAS: DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CONSUMO

La pasta alimenticia es un producto que se consume en todas partes del mundo. Su origen no está bien definido, aunque existe una difundida versión histórica que señala que Marco Polo las introdujo en Europa desde China. Sin embargo, se la considera como producto típicamente italiano, asociación en gran medida justificada por el hecho que Italia es el principal productor, consumidor y exportador de pasta alimenticia del mundo. La pasta es un producto alimenticio preferido por los consumidores debido a la facilidad en el transporte, manejo, cocción, palatabilidad y calidad nutricional (Tudorica *et al.*, 2002). Además, un plato de pastas es considerado una comida completa y nutritiva (Virtucio, 2003).

Según el Código Alimentario Argentino, la pasta alimenticia hace referencia a los productos no fermentados obtenidos por el empaste y amasado mecánico de sémolas, semolín, harina de trigo con alto contenido de gluten, harinas de panificación o por sus mezclas. Es importante destacar que existen diferentes clasificaciones de las pastas alimenticias, según se tengan en cuenta diversos criterios. De acuerdo al contenido de agua que tenga el producto final, las pastas se distinguen entre frescas y secas. Según la tecnología que se utilice para darles forma se presentan como pastas laminadas y pastas extrusadas. En ambos casos, a su vez, pueden ser largas (spaghetti, fettuccini, cintas, etc.), cortas (ñoquis, fideos soperos, moños) o rellenas.

Respecto al consumo de pastas en el mundo, Italia es el país que mayor cantidad de pasta consume por excelencia con un consumo *per capita* en el año 2015 de 24,9 Kg. Lo siguen Túnez (16 Kg), Venezuela (12 Kg) y Grecia (11,2 Kg). De acuerdo a las cifras de consumo de 2015 estimadas por la Unión de Asociación de Fabricantes de Pastas

Alimentarias de la Unión Europea (UN.A.F.P.A) Argentina con 9,1 Kg *per cápita* ocupa el puesto N° 6 en el mundo (UN.A.F.P.A 2015).

MATERIAS PRIMAS Y PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTAS

La producción de pastas en el mundo se concentra casi exclusivamente en pastas elaboradas a partir de trigo candeal (*Triticum durum*); esto se debe a que esta variedad de trigo es la más apropiada para la elaboración de pastas debido al alto contenido de proteínas y pigmentos amarillos, así como también por la dureza del grano que permite la obtención de sémolas (Aravind *et al.*, 2012; Feillet y Dexter, 1996).

En la Argentina, la producción de trigo candeal (*Triticum durum*) ronda las 140 mil toneladas y se cultivan alrededor de 75 mil hectáreas. El rendimiento medio es de 21 quintales por hectárea. La producción se concentra en Buenos Aires, San Luis y La Pampa, destinándose la totalidad a la industria productora de fideos (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación, 2014). La provincia de Córdoba no registra antecedentes respecto a este cultivo y es reemplazado parcial o totalmente por harina de trigo de panificación o trigo pan (*Triticum aestivum*). De esta manera se obtienen productos de buena calidad excepto por la pérdida del color amarillo y de la resistencia a la sobrecocción, características de las pastas elaboradas a partir de sémola de trigo candeal (Martínez *et al.*, 2013; Hennen y Brismar, 2003; Hosney, 1994a).

Como detallamos anteriormente, la tendencia de consumir productos a base de grano entero está en auge alrededor del mundo y actualmente mucha atención se ha puesto sobre la producción de pastas de harina blanca con incorporación de salvado y/o germen o de pastas a base de harina integral con el objetivo de mejorar nutricionalmente un producto ampliamente consumido (Bagdi *et al.*, 2014; Sissons y Fellows, 2014).

PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTAS EXTRUSADAS

Para elaborar la pasta, la harina de trigo se mezcla con el agua con el objetivo de asegurar homogeneidad y difusión del agua al centro de las partículas de harinas para formar una masa. Durante el amasado, la hidratación llega a valores cercanos al 30%. Un insuficiente contenido de agua no permite la correcta hidratación de las partículas de harina mientras que altos niveles de agua dificultan la posterior extrusión debido a la formación de grandes amasijos que no pueden entrar en el próximo paso de extrusión (Kim *et al.*, 2008; Icard-Vernière y Feillet, 1999). Debido al bajo contenido de agua, la masa no se desarrolla completamente hasta llegar al proceso de extrusión. La hidratación de la harina promueve la movilidad molecular de sus componentes antes del desarrollo de la masa propiciando modificaciones bioquímicas de las proteínas y sus interacciones (Icard-Vernière y Feillet, 1999; Dexter y Matsuo, 1976). Como resultado, nuevas propiedades y cruzamientos que definen la funcionalidad del gluten comienzan a tomar lugar en este punto (Jazaeri *et al.*, 2015).

Si la harina presenta gránulos de almidón dañados, éstos tienen una mayor capacidad de absorción y competirán con el gluten por la limitada cantidad de agua en la masa. Las harinas con alto contenido de almidón dañado requieren mayor absorción de agua y tiempos de amasado más largos (Fu, 2008).

Posteriormente la masa ingresa a la unidad de extrusión donde un tornillo sin fin fuerza su paso a través de una abertura que le otorga la forma final al producto. Debido al calor generado por la presión y fricción, el proceso de extrusión debe estar extremadamente controlado (Le Roux *et al.*, 1995). Durante la extrusión, las proteínas interaccionan fuertemente y se forma el gluten, el cual determina la calidad del producto

final (Petitot *et al.*, 2009; Debbouz y Doetkott, 1996; Dexter y Matsuo, 1979; Dexter y Matsuo, 1976). Luego de la extrusión, la pasta sale con 30% de humedad y debe secarse a un valor de 12,5%. El proceso de secado es crucial para la producción de productos de alta calidad. Humedad, flujo de aire y temperatura son debidamente controlados a medida que la pasta pasa por varios pasos de secado. La primera fase, denominada pre-secado es necesaria para evitar que las piezas se deformen o se peguen entre sí. La segunda fase, corresponde al secado propiamente dicho, es aquella en la que el producto llega a una humedad inferior al 12,5%. El tiempo de permanencia dentro de la estufa de secado depende de la variedad de pasta, si el fideo es hueco o no, de su tamaño, entre otros factores, y en esta etapa es fundamental tener en cuenta las variables de temperatura y humedad para evitar la formación de fracturas en la pasta (Professional Pasta L1N11P058).

CAMBIOS ESTRUCTURALES DURANTE LA ELABORACIÓN Y COCCIÓN DE PASTAS

Más allá de la variedad que usemos como materia prima, gran parte de la calidad de la pasta estará definida por la estructura del almidón y las proteínas y la interacción entre ellos durante el proceso de formado y cocción de la pasta.

El desarrollo de una red de proteínas uniforme con un buen balance de elasticidad y extensibilidad durante la elaboración de las pastas, es crítico para asegurar una buena calidad de la pasta durante la posterior cocción y, para lograr buenos atributos de textura en el producto final (Petitot *et al.*, 2009; Fu, 2008). En la harina, las proteínas del gluten forman una estructura compacta y entrecruzada que se estabiliza mediante puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Al incorporar agua durante el amasado, las proteínas se abren, hidratan e hinchan debilitándose las uniones que las mantenían unidas

(Icard-Vernière y Feillet, 1999). Ante los esfuerzos, especialmente extensionales durante el amasado, el estiramiento de los polímeros produce primero la deformación de esta estructura, a la vez que disminuyen las interacciones no covalentes. Los puentes disulfuro se rompen y se restablecen derivando en una red alineada en dirección a la extensión.

Luego del amasado, a pesar que las partículas de harina se encuentran suficientemente hidratadas, el desarrollo de la red de gluten no es completo y solo es localizado y discontinuo. Dexter y Matsuo (1979) estudiaron los cambios en las fracciones proteicas de Osborne durante el procesamiento de las pastas alimenticias extrusadas. Estos autores describieron el mecanismo de formación de la matriz proteína - almidón que determina la calidad de las pastas alimenticias. Establecieron que durante el amasado, el agua difunde dentro de las partículas de harina, comienzan a hidratarse los distintos componentes y se inicia una despolimerización de las proteínas. Posteriormente, en la etapa final del extrusado se comienza a producir una nueva repolimerización de las gluteninas, dando lugar al retículo protéico.

Una vez constituida la matriz de proteínas, los grupos sulfhidrilo libres disminuyen considerablemente y se vuelve a polimerizar la red de gluten, en mayor proporción que en la harina a partir de la cual se inicia el proceso de elaboración. De esta forma, concluyeron que hay una despolimerización hasta que se forma el retículo alrededor de los gránulos de almidón y luego una repolimerización de las proteínas del gluten.

De esta manera, el fenómeno que tiene lugar involucra un mecanismo de ruptura de uniones entre polímeros, que pueden ser disulfuro, puentes hidrógeno, interacciones hidrofóbicas o deslizamiento de los puntos de enredamiento, y reconstitución de esas uniones en configuraciones más extendidas. Matsuo *et al.* (1979) estudiaron el efecto del

procesamiento de la pasta sobre la conformación estructural de los componentes a través de microscopía electrónica de barrido (SEM). Concluyeron que en las primeras etapas del extrusado las partículas de proteína se presentan con bordes dentados y los gránulos de almidón se orientan en la dirección del esfuerzo aplicado y al final de la etapa, se encuentran completamente rodeados por una estructura protéica.

La superficie externa de la pasta extrusada se presenta con aspecto liso, donde los gránulos se encuentran cubiertos por proteínas, y se observa un film continuo con muy pocas aberturas. Este film proteico se consolida durante la etapa de secado debido a tres transformaciones principales: desnaturalización, polimerización y agregación de proteínas (Feillet *et al.*, 1989).

FENÓMENOS QUE TIENEN LUGAR DURANTE LA COCCIÓN

Las propiedades de cocción de las pastas secas son el resultado tanto de las características de la materia prima como de las condiciones de elaboración. La calidad de las pastas cocidas se expresa en términos de absorción de agua, de material lixiviado durante la cocción, y de las propiedades de textura en cuanto a la firmeza y la pegajosidad. La textura de la pasta cocida es generalmente reconocida como su aspecto de calidad más importante (Brunnel *et al.*, 2010).

El retículo proteico desarrollado durante el amasado y posterior extrusado de la pasta, se consolida durante la cocción. La superficie de la pasta seca presenta gránulos de almidón de tamaño variable cubiertos con una lisa capa de film proteico con algunas perforaciones o roturas, que serán las que faciliten la rápida penetración del agua de cocción (Cunin *et al.*, 1995; Dexter *et al.*, 1978). De esta manera, durante la cocción el film de proteína se hidrata y la superficie de la pasta se vuelve lisa, a medida que el tiempo

transcurre aumenta la hidratación y se expande en volumen, generando tensiones que llevan a la formación de roturas adicionales.

La absorción de agua por la matriz de la pasta genera un frente móvil de difusión de agua, al tiempo que se va produciendo la gelatinización del almidón. Este cambio de estructura en la matriz de la pasta favorece una mayor penetración de agua resultando en el ablandamiento de la pasta. Como la pasta es un sistema de humedad limitada, durante la cocción sucede una fuerte competencia por el agua entre el almidón y las proteínas. Las proteínas requieren agua para coagular de modo tal que produzcan una red elástica, al tiempo que el almidón, a través de la absorción de agua, se hincha, gelatiniza y tiende a solubilizarse. Debido a que la desnaturalización de las proteínas y el hinchamiento del almidón comienzan aproximadamente al mismo rango de temperaturas, hay una competencia física entre esos dos fenómenos durante la cocción de las pastas. Si prevalece la coagulación de proteínas, la matriz proteica se consolida y el almidón permanece atrapado en una red (Petitot *et al.*, 2009; Delcour *et al.*, 2000), el agua penetra lentamente hacia el almidón y se produce una gelatinización gradual del mismo resultando en una buena calidad de pasta, la cual será firme evitando la pegajosidad sobre la superficie (de Noni y Pagani, 2010). Por el otro lado, cuando la red de proteínas no es lo suficientemente fuerte y elástica, el hinchamiento y solubilización del almidón predominan. En este caso la matriz de gluten tiende a romperse con la subsecuente liberación de la amilosa al agua de cocción (Resmini y Pagani, 1983), mientras que la amilopectina permanece en la superficie incrementando la pegajosidad de la pasta y resultando en un producto con textura blanda (de Noni y Pagani, 2010; Feillet *et al.*, 1989). Estos cambios estructurales protagonizados por los dos componentes mayoritarios de la harina de trigo son los que determinarán no sólo el comportamiento en la cocción de la pasta, sino también las propiedades nutricionales del producto final (Petitot *et al.*, 2009; Colonna *et al.*, 1990).

Los factores claves para la cocción de las pastas son la relación entre el agua y la pasta, el tiempo de cocción y la calidad del agua de cocción. El volumen deseable del agua de cocción es 10 a 20 veces el peso de la pasta cruda húmeda. Cuando el volumen del agua

de cocción no es suficiente, ésta demora más en volver a alcanzar la ebullición, las hebras quedan demasiado juntas, sin el movimiento relativo adecuado, lo que resulta en una superficie rugosa y una falta de uniformidad en la cocción de las pastas. Por el contrario, demasiado volumen del agua de cocción o un calentamiento demasiado fuerte puede dañar la superficie de las pastas debido a una intensa fricción entre sus hebras en el agua de cocción. Idealmente, el agua debe estar en un estado de ebullición leve durante todo el tiempo de cocción; tiempo que va a depender del tamaño y el tipo de pasta (Fu, 2008).

Mientras que la dureza del agua no tiene un efecto significativo sobre la pérdida por cocción, la alcalinidad del agua sí lo tiene. Las pastas cocinadas en aguas de pH 5-6 tienen la menor pérdida por cocción. Las pérdidas aumentan significativamente una vez que el agua de cocción alcanza pH 7-8. De modo que es muy importante tener en cuenta el pH del agua de cocción (Fu, 2008).

PROPIEDADES FUNCIONALES Y NUTRICIONALES DE LAS PASTAS

En los últimos años las pastas se han vuelto más atractivas por sus propiedades nutricionales ya que se trata de un producto de bajo índice glucémico y con escaso aporte de grasa y de sodio (Björck *et al.*, 1994; Foster-Powell *et al.*, 2002). La Organización Mundial de la Salud y la *Food and Drug Administration* de Estados Unidos (FDA), han considerado a la pasta como un alimento apropiado para el agregado de nutrientes, siendo uno de los primeros alimentos para el cual la FDA permitió el enriquecimiento con vitaminas y Fe. Mejorar la calidad nutricional de las pastas involucra principalmente aumentar la cantidad de proteínas y de fibra dietética, y fortificar con vitaminas y minerales. Además, las pastas son reconocidas como un buen vehículo para incorporarles ingredientes beneficiosos para la salud a la dieta (Marconi *et al.*, 2002), transformándose así en alimentos funcionales.

BIOACCESIBILIDAD DE NUTRIENTES

El creciente consumo de pastas a nivel mundial está provocando un mayor interés por conocer el aporte nutricional de dicho producto. Para conocer en qué medida un alimento aporta un determinado nutriente, no sólo basta con determinar su contenido en dicho alimento, sino que es necesario conocer qué cantidad del mismo queda accesible para ser potencialmente utilizado por el organismo.

La bioaccesibilidad ha sido definida como la fracción de un nutriente que es liberado de la matriz del alimento en el tracto gastrointestinal y por lo tanto se vuelve disponible por su absorción intestinal. La bioaccesibilidad incluye toda la secuencia de eventos que tiene lugar durante el proceso digestivo del alimento hasta que está en condiciones de ser asimilado sin considerar su bioactividad (Fernández-García *et al.*, 2009). La determinación de bioaccesibilidad se realiza a través del uso de diversas técnicas de digestión *in vitro* que pueden ser adaptadas para todos los tipos de alegaciones de salud respecto al contenido de nutrientes específicos.

La hidrólisis de cada componente alimenticio tiene lugar en un sitio específico del tracto gastrointestinal (GI) humano, lo cual significa que cada metabolito es liberado en una locación particular en respuesta a un disparador como pH, fuerza iónica o la actividad enzimática (Hall, 2011). Por lo tanto, el propósito de la digestión *in vitro* es simular los eventos que tienen lugar en el tracto GI, lo cual es prácticamente imposible considerando la complejidad del sistema digestivo humano. Diversos factores como actividad enzimática, composición iónica, tiempos de digestión, entre otros, dificultan la simulación de la digestión. Los métodos de digestión *in vitro* usualmente se simplifican en 3 pasos: masticación, digestión gástrica, digestión intestinal y diálisis. La fase de la masticación proporciona el primer paso en el proceso ya que la degradación de los alimentos resulta de dos acciones simultáneas: trituración mecánica e hidrólisis enzimática. Durante la

masticación el alimento, en mayor o menor medida, es triturado y desglosado en pequeñas partículas. La trituración mecánica implica la lubricación de los alimentos con la saliva permitiendo la acción de la amilasa salivar con el fin de alcanzar el almidón. Las enzimas digestivas actúan solo sobre la superficie de las partículas de alimento, por lo tanto, la digestión es dependiente del área superficial expuesta a las secreciones digestivas (Hall, 2011). En el proceso digestivo, la degradación enzimática del almidón en la boca se considera insignificante (solo un 5%) (D'Emden *et al.*, 1987) debido al corto tiempo que permanece el alimento en la boca. El grado de disrupción física tiene relación directa con el grado de digestión de carbohidratos y absorción (Fardet *et al.*, 1998; Turgeon y Rioux, 2011). Esta es la razón por la cual triturar la comida no siempre es la mejor opción para simular la masticación porque, si las partículas de comida resultantes son muy pequeñas, la superficie expuesta al ataque enzimático aumenta y la digestibilidad puede también incrementarse (Bornhorst y Singh, 2012) afectando así los sucesivos pasos de la digestión *in vitro*. La acción de la amilasa en la digestión oral puede continuar hasta un cierto momento de la fase gástrica porque la amilasa está parcialmente protegida de la desnaturalización del pH ácido en el estómago (Hoebler *et al.*, 1998). El estómago posee 3 funciones: almacenamiento de grandes cantidades de comida hasta que puedan ser procesadas por el tracto GI; mezclar los alimentos con las secreciones gástricas hasta que se forme el *quimo* y vaciar lentamente el *quimo* en el intestino delgado a una velocidad adecuada para la posterior digestión y absorción por parte del intestino delgado (Kong y Singh, 2008). El *quimo* es la mezcla de partículas de alimento con las secreciones gástricas que se forma en el estómago. La fase final de la digestión y la mayor absorción de nutrientes ocurren en el intestino delgado, donde el alimento se disuelve junto con los jugos provenientes del páncreas, hígado e intestino. La secreción pancreática contiene diferentes tipos de enzimas que hidrolizan proteínas, carbohidratos y lípidos permitiendo a las pequeñas partículas cruzar la barrera epitelial (Minekus *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2013; Sengul *et al.*, 2014). Las sales biliares son esenciales durante la digestión de grasas y absorción (McClements *et al.*, 2008). La correcta digestión intestinal con la subsecuente absorción requiere de una digestión apropiada en el estómago (Schulze, 2006).

La bioaccesibilidad y dializabilidad de un nutriente se ven afectadas por distintos factores que se clasifican en dos grandes grupos: los de tipo intrínseco o fisiológicos y los extrínsecos o dietéticos (Southon *et al.*, 1998). Entre los primeros cabe destacar la edad, estado fisiológico y nutricional de la persona. Los extrínsecos incluyen: aporte total de elemento por los alimentos, la forma química, propiedades físicas (solubilidad) y propiedades químicas del nutriente. Por otra parte, tanto el contenido de fibra como de ácido fítico presente en los alimentos, disminuyen la bioaccesibilidad de los nutrientes, especialmente los minerales (Coudray *et al.*, 2001; Itkonen *et al.*, 2012). Esa disminución en la disponibilidad de minerales en la dieta humana contribuye a la malnutrición deteriorando el estado de salud de las personas.

HIPÓTESIS

- El perfil de minerales y las propiedades del almidón y pentosanos inciden tanto en la calidad nutricional como tecnológica de las distintas variedades de trigo.
- El genotipo, el ambiente y la interacción entre ambos influyen sobre el contenido de minerales y sobre las propiedades del almidón y pentosanos.
- La bioaccesibilidad y dializabilidad de minerales en harinas y productos panificados es afectada por el contenido de salvado y el procesamiento utilizado para la elaboración de los mismos.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características de los hidratos de carbono y minerales de variedades de trigo pan cultivadas en distintas localidades, a los fines de determinar la influencia del genotipo, del ambiente y su interacción en su composición. Paralelamente se determinará

la distribución de los micronutrientes en harinas blancas e integrales y se evaluará la calidad nutricional en cada etapa de la elaboración de pastas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la estructura y variación en el contenido de pentosanos totales y solubles en las diversas variedades de trigo pan cultivadas en las diferentes subregiones trigueras del país.
2. Analizar la relación de tamaño de gránulo, el contenido de amilosa y las propiedades de gelatinización en las variedades de trigo.
3. Determinar el perfil de minerales por ICP-MS en granos y derivados (harinas blancas e integrales) provenientes de distintas variedades de trigo pan cultivadas en diferentes subregiones trigueras del país.
4. Elaborar pastas con harina blanca e integral y evaluar su calidad nutricional.
5. Evaluar la bioaccesibilidad y dializabilidad de minerales a través de un método *in vitro* en pastas elaboradas con harina blanca e integral.

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL

El estudio se llevó a cabo con 24 cultivares de trigo pan provenientes de 3 localidades de diferentes subregiones trigueras del país: Reconquista (Subregión I), Marcos Juárez (Subregión II) y Balcarce (Subregión IV). Los trigos fueron cultivados durante dos años consecutivos, 2009 y 2010 dando así un total de 144 muestras. En la Tabla 2.1 se muestra los nombres y el grupo de calidad al cual pertenecen los 24 cultivares utilizados. Los ensayos fueron realizados en condiciones de secano adicionándose nitrógeno según las prácticas locales.

Tabla 2.1. Nombre y grupo de calidad al cual pertenecen cada uno de los 24 cultivares de trigo

Cultivar	Grupo de calidad
Aca 303	3
Aca 315	1
Aca 320	2
Buck 75 Aniversario	1
Buck Puelche	3
Buck Meteoro	1
Cronox	2
Atlax	2
Biointa 1005	3
Biointa 1006	3
Biointa 3004	3
Baguette Premium 11	2
Baguette 9	2
LE 2330	1
LE 2331	2
Klein Capricornio	2
Klein Chaja	3
Klein Guerrero	3
Klein Tauro	2
Klein Zorro	1

Tabla 2.1. Nombre y grupo de calidad al cual pertenecen cada uno de los 24 cultivares de trigo **CONTINUACIÓN**

Cultivar	Grupo de calidad
Klein Tauro	2
Klein Zorro	1
Klein Tigre	3
Klein León	3
Klein Nutria	3
Klein Yarara	1

CONDICIONES CLIMATICAS DE LAS LOCALIDADES

La localidad de Marcos Juárez se encuentra en la provincia de Córdoba (32° 42 S; 62° 6 O) a una altitud de 110 m y pertenece a la subregión triguera II. La temperatura media anual es de 17,2°C y la precipitación anual es de 862 mm. En el año 2009 se registraron buenas precipitaciones en el momento de la siembra del trigo (meses de mayo y junio) pero una escasa ocurrencia de la misma durante los meses de julio y agosto (36,4 mm). Posteriormente, ocurrieron lluvias por encima del promedio en los meses de septiembre, octubre y noviembre (118 mm). Las altas temperaturas durante el llenado de grano (28°C), es decir hacia fines de octubre e inicio de noviembre, afectaron el rendimiento del grano. El año 2010 se caracterizó por presentar una escasa ocurrencia de precipitaciones (4,7mm) durante los meses de junio, julio y agosto. Posteriormente ocurrieron lluvias por encima del promedio en el mes de septiembre pero por debajo del promedio en los meses de octubre y noviembre (47 mm), momento donde transcurre el llenado de granos. Las temperaturas durante el llenado de granos fueron moderadas (23,5°C) excepto en la primer semana de noviembre que tuvo registro de temperaturas máximas diaria por encima de los 30°C (Bainotti *et al.*, 2010).

La localidad de Balcarce se encuentra en la provincia de Buenos Aires (29° 14 S; 59° 56 O) a una altitud de 49 m y pertenece a la subregión triguera IV. La temperatura media anual es de 14,4°C y la precipitación anual es de 793 mm. En el año 2009 las precipitaciones fueron escasas, contando el cultivo con solo 310 mm de lluvias en todo el ciclo, cuando el trigo tiene un requerimiento hídrico de al menos 400-450 mm, que es lo que normalmente precipita en la zona. Debido a la presencia de tosca en el perfil del suelo limitando el almacenaje de agua, Balcarce fue un sitio donde el cultivo sufrió fuertemente dicho estrés hídrico. Durante el período de llenado de granos la precipitación media fue de 46,8 mm mientras que la temperatura media fue de 15,5°C. En el año 2010 la temperatura media durante el periodo de llenado de granos fue de 14°C mientras que las precipitaciones fueron más abundantes que el año anterior (103 mm) (RET, INASE).

La localidad de Reconquista, se encuentra en la provincia de Santa Fe (32° 42 S; 62° 6 O) a una altitud de 110 m y pertenece a la subregión triguera I. La temperatura media anual se encuentra en 20°C y la precipitación anual es de 1239 mm. Se registraron temperaturas muy por encima de la media durante el período de llenado de granos (29°C) como así también altas precipitaciones (282 mm). En el año 2010, por el contrario, tanto las temperaturas durante el llenado de granos (20,2°C) como las precipitaciones (13 mm) fueron considerablemente menores que el año anterior (RET, INASE).

Para facilitar el análisis de resultados y su posterior discusión se formaron ambientes resultantes de la combinación de las 3 localidades y los dos años de cosecha. De esta manera tenemos los ambientes B-2009, MJ-2009, R-2009 corresponden a Balcarce, Marcos Juárez y Reconquista del año 2009 respectivamente y B-2010, MJ-2010, R-2010 corresponden a Balcarce, Marcos Juárez y Reconquista del año 2010 respectivamente.

OBTENCIÓN DE LAS HARINAS

HARINA INTEGRAL

Los granos de trigo de las 144 muestras fueron molidos en un molino de cuchillas de acero inoxidable (Decalab, Buenos Aires, Argentina) con capacidad de reservorio de 500 g para obtener harina integral.

HARINA BLANCA

Los granos de las 144 muestras se acondicionaron a un porcentaje de humedad del 15 % y se molieron en un molino de laboratorio de cuatro rodillos (Agromatic AG AQC 109, Laupen, Suiza) provisto con un tamiz de 250 μm , que permitió separar la harina blanca del salvado.

COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS HARINAS

HUMEDAD

El contenido de humedad de las harinas blancas e integrales se determinó por diferencia de pesada en 2 g de harina exactamente medidos antes y después de calentar en estufa isotérmica de calentamiento eléctrico a 135 °C con circulación de aire forzado, durante 2 horas. Los resultados se expresaron como porcentaje de agua perdida (Método 44-19, AACC Internacional 2000).

PENTOSANOS

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) en las 144 muestras de harina integral y harina blanca respectivamente.

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 100 °C 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 1 mL de agua destilada, 0,3mL de solución de orcinol al 1% en HCl concentrado, 3 mL de FeCl₃ en HCl concentrado (0,1% p/v). Los tubos se colocaron en baño de agua a 100 °C 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 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 previamente descrito. 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.

CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

AMILOSA

El contenido de amilosa se determinó de acuerdo al procedimiento descrito por Gibson *et al.* (1997), usando el kit enzimático de ensayo para amilosa/amilopectina (Megazyme International, Irlanda). Se pesaron entre 20-25 mg de harina, el almidón de la muestra se dispersó completamente en dimetilsulfóxido (DMSO) y posteriormente se calentó durante 15 min a 100 °C para gelatinizar completamente el almidón; se tomaron dos alícuotas para el posterior análisis de las fracciones de amilosa y almidón total.

La fracción de amilosa fue analizada mediante precipitación específica de la amilopectina con concanavalina A (Con A). La amilosa presente en el sobrenadante fue recuperada por centrifugación y tratada enzimáticamente con α -amilasa y amiloglucosidasa para obtener D-glucosa por la acción combinada de ambas enzimas, la cual fue determinada con el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD).

La fracción de almidón total fue sometida a una hidrólisis similar a la anterior y la D-glucosa obtenida se determinó colorimétricamente utilizando el reactivo GOPOD (Espectrofotómetro Spectrum SP 2000, China). La concentración de amilosa en la harina fue estimada como la relación entre la absorbancia generada por el reactivo GOPOD a 510 nm de la alícuota precipitada con Con A y la correspondiente a la de almidón total:

$$\% \text{ Amilosa: } \frac{\text{Abs sobrenadante Con A}}{\text{Abs alícuota almidón total}} \times \frac{6,15}{9,2} \times \frac{100}{1}$$

Mientras que 6,15 y 9,2 son factores de dilución para los extractos de Con A y almidón total respectivamente. Los resultados fueron expresados en porcentaje de amilosa en almidón.

DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE GRANULOS DE ALMIDÓN

Para determinar la distribución de tamaño de los gránulos de almidón, se realizó una extracción del almidón de las harinas mediante una digestión ácida utilizando pepsina A (P7012, Sigma) en HCl 0,04 N durante 60 min a 37 °C. Luego del tratamiento con la proteasa se incubó la muestra con hemicelulasa 90 (actividad 90,000 U/g, AmanoEnzyme, USA) en *buffer* acetato 0,1 M (pH=4,5) durante 3 h a 45 °C. Posteriormente se agregó una mezcla de detergentes (5% SDS, 5% Triton X-100, 5% Tween 40, y 5% Triton X-15) (Bechtel y Wilson, 2000), se centrifugó a 2500 rpm por 5 min. Se descartó el sobrenadante y se realizaron lavados con agua. El almidón extraído se secó en estufa a 37 °C durante toda la noche y se molió en mortero.

La distribución del tamaño de los gránulos de almidón aislado se midió en un analizador de tamaño de partículas por difracción de rayos láser (LA-950E, Horiba, Japón). Se usó un índice de refracción estándar para agua de 1,32 y de 1,52 para almidón. Para

separar las dos poblaciones de gránulos (tipo A y tipo B) se definió un corte a 10,1 μ m de diámetro. Los volúmenes se calcularon suponiendo que todos los gránulos eran esféricos.

CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

Las transiciones de estado sufridas por el almidón durante el calentamiento en agua se registraron mediante un Calorímetro Diferencial de Barrido DSC823e CalorimeterMettler Toledo (Schwerzenbach, Suiza), con software STARe Default DB V9.00 (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Suiza). El equipo fue calibrado con indio y zinc, y una cápsula de aluminio vacía y sellada (pero perforada), fue utilizada como referencia. Se colocaron 10 mg de muestra en las cápsulas del calorímetro y se adicionó dos veces su peso en agua. Las harinas hidratadas se dejaron reposar por 24 h a 25 °C. Para el ensayo la muestra fue calentada de 30 °C a 120 °C con una rampa de 10 °C por min.

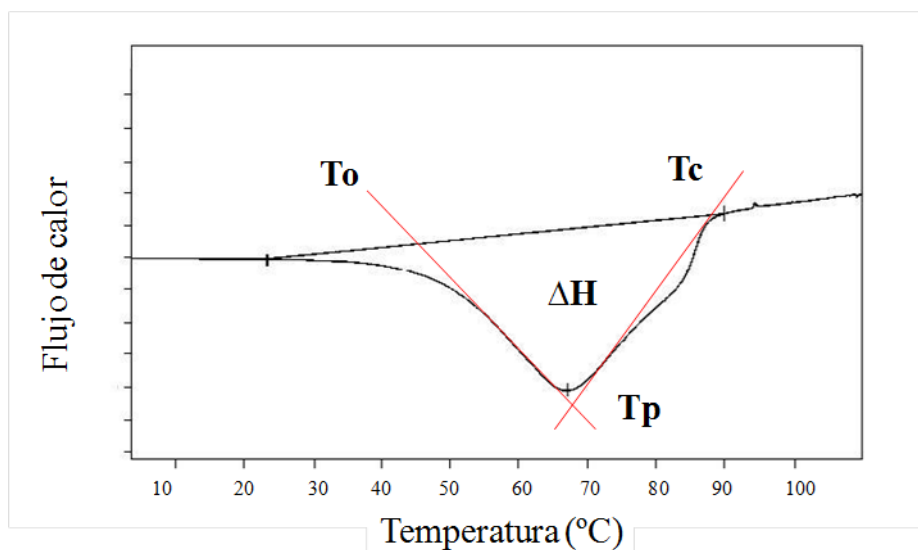


Figura 2.1: Registro de una corrida de DSC y sus principales indicadores: To (temperatura de inicio de la gelatinización, Tp (temperatura de pico), Tc (temperatura de finalización) y ΔH (entalpía de gelatinización).

Se tomaron las temperaturas de inicio (T_0), de pico (T_p) y de finalización (T_c), ancho de pico (se mide como la diferencia de temperaturas a la mitad de la altura del pico) (Δp) y las entalpías de gelatinización (ΔH J/g de harina seca) (Figura 2.1). Todas las determinaciones realizadas mediante calorimetría diferencial de barrido fueron llevadas a cabo, por duplicado.

PERFIL DE VISCOSIDAD (RVA)

Las propiedades de viscosidad se determinaron a través de un Viscoanalizador Rápido (RVA) (RVA series 4500, Perten instruments, Suecia). Para la determinación una dispersión de harina en agua es calentada, enfriada y sometida a agitación constante (fuerza de corte) bajo condiciones controladas. Durante este ensayo se evalúan los cambios de viscosidad del sistema en función del tiempo y la temperatura (Figura 2.2), lo que permite estudiar el proceso de gelatinización y gelificación del almidón.

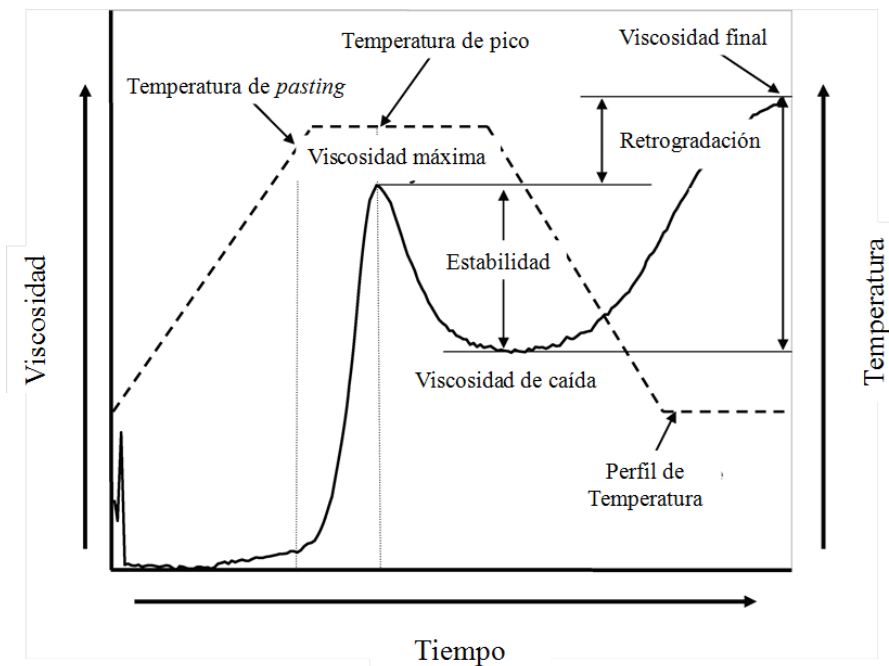


Figura 2.2: Curva de RVA tipo y sus principales indicadores.

Para el análisis se mezclaron 3,0 g de harina (al 14% de humedad) con 25 mL de agua destilada en un canasto de aluminio. Se realizó un ciclo de calentamiento de 50-95 °C en 283 s, con un mantenimiento a 95 °C durante 150 s, y un posterior enfriamiento a 50 °C. Al inicio de cada ciclo las dispersiones se mezclaron a 960 rpm por 10 s y luego se mantuvo una velocidad de mezclado de 160 rpm durante todo el ensayo. Durante el proceso, se registraron los valores de viscosidad y temperatura. El análisis de estos datos fue llevado a cabo utilizando el *software* Thermocline para Windows suministrado por el fabricante del equipo. A partir de los viscogramas (Figura 2.2) se obtuvieron los siguientes parámetros: temperatura de pico, viscosidad máxima, temperatura de *pasting*, viscosidad final, viscosidad de caída, estabilidad y setback. Todas las mediciones fueron realizadas por duplicado.

Temperatura de *pasting*: es la temperatura al inicio del aumento de la viscosidad. Proporciona una idea de la temperatura mínima necesaria para el calentamiento de una muestra determinada.

Viscosidad máxima: Máxima viscosidad que el sistema puede adquirir, se origina cuando un número suficiente de gránulos de almidón se hincha como consecuencia de la absorción de agua y la temperatura y se relaciona con la capacidad de dichos gránulos de absorber agua.

Viscosidad de caída (o *trough*): es el menor valor de viscosidad antes de que comience la retrogradación y se debe a la ruptura de algunos gránulos y a que las moléculas principalmente de amilosa, liberadas al medio durante la gelatinización se orientan en sentido del flujo. Se encuentra en la etapa final del calentamiento a temperatura constante, antes de disminuir la temperatura

Estabilidad (o *Breakdown*): es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad de caída. Se encuentra en la etapa en la cual se mantiene la pasta a temperatura constante (normalmente a 95°C). Es una medida de la facilidad con la que los gránulos hinchados pueden ser desintegrados por acción de las fuerzas de corte.

Viscosidad final: Durante el enfriamiento de la pasta la viscosidad comienza a aumentar nuevamente hasta lo que se denomina viscosidad final. Este incremento en la

viscosidad se encuentra relacionado con la reasociación de las moléculas de amilosa y la capacidad del material para formar una pasta o gel viscoso después del calentamiento y enfriamiento.

Retrogradación (o *setback*): es la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída. Cuando la pasta vuelve a enfriarse el almidón se reorganiza, y como consecuencia de este fenómeno, la viscosidad vuelve a incrementarse. Este fenómeno ha sido correlacionado con la textura de varios productos.

CONTENIDO DE MINERALES

La determinación del contenido de minerales se llevó a cabo en los 6 ambientes de estudio en solo 11 cultivares de los 24 cultivares iniciales, que fueron los siguientes: ACA 303, ACA 315, ACA 320, Baguette Premiun 11, Biointa 3004, Buck 75 Aniversario, Cronox, Klein Capricornio, Klein Guerrero, Klein Yarara y LE 2330.

Para determinar el contenido de minerales tanto en harinas integrales como en harinas blancas se pesaron 0,25 g de harina seca en frascos de teflón de 25 ml. Se adicionaron 4 ml de HNO₃ concentrado y 0,2 ml de H₂O₂ y se colocaron en una plancha de calentamiento a 180 °C por 24 horas para asegurarnos una buena digestión de la harina. Pasado este tiempo se dejaron enfriar los frascos de teflón y se transfirió su contenido a matraces de 10 ml completado dicho volumen con agua mili-Q. Posteriormente se filtró el contenido de los matraces usando filtros de celulosa de 0,45 µm y 47 mm estériles (Sartorius). Se procedió a diluir la muestra 1:10 con HNO₃ al 10% para su análisis en un Espectrómetro de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (Q-ICP-Masa) (Agilent Technology7500 cx Series, Santa Clara, CA, USA) equipado con un autosampler serie ASX-500 (AgilentTechnology, Santa Clara, USA). Los elementos determinados fueron los siguientes: As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Zn.

Se utilizó una harina de trigo control (CRM 1567a), la cual fue procesada y medida en las mismas condiciones que las muestras. Los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre el 85% y 105% de los valores certificados asegurando así que nuestra técnica funcionaba correctamente.

LOCALIZACION Y DISTRIBUCION DE MINERALES

Para evaluar la distribución de elementos, los granos de trigo se cortaron transversalmente, se secaron toda la noche en estufa a 25°C y se sujetaron en un portaobjeto mediante una cinta adhesiva de carbono. Microfotografías topográficas de las muestras fueron obtenidas con un microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (FE-SEM) Sigma (Carl Zeiss, Jena, Germany), con un cañón de electrones Schottky. Los minerales fueron detectados por un espectrómetro de energía dispersiva (EDS) y para la creación de mapas químicos contrastantes se tomaron imágenes de electrones retrodispersados. El voltaje utilizado fue de 20 kV y la magnificación de 40.000x. El análisis fue llevado a cabo en el Laboratorio de Microscopia Electrónica y Análisis de Rayos X (LAMARX, Córdoba, Argentina).

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE LAS PASTAS

Se elaboraron pastas a partir de dos genotipos de trigo: Klein Guerrero y Baguette Premium 11. Esta selección se basó en el contenido de minerales, el cual fue máximo en Fe y Zn para el primero mientras que el segundo genotipo presentó contenidos significativamente más bajos de ambos minerales. Cada uno de los dos genotipos fue sometido a tres tipos de molienda para obtener harina blanca y dos tipos de harina integral de diferente granulometría.

Se partió de un pool de granos de cada cultivar provenientes de los 6 ambientes. A partir de los granos se obtuvo harina blanca y dos tipos de harina integral. Para la obtención de harina blanca los granos fueron molidos en un molino de laboratorio de cuatro rodillos (Agromatic AG AQC 109, Laupen, Suiza) provisto con un tamiz de 250 μm . Por otro lado, para obtener harina integral los granos se molieron bajo dos procesos distintos: mediante un molino ciclónico (Cyclotec1093, Foss, Barcelona) para obtener harina integral A y molino de cuchillas de acero inoxidable (Decalab, Buenos Aires, Argentina) para obtener harina integral B.

DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LAS HARINAS

Para determinar el tamaño de partícula de las 3 harinas (harina blanca, harina integral A y harina integral B) se utilizó un tamizador ZonyTest (modelo EJR 2000, España). Se pesaron 10 gr de harina y se tamizaron en 4 tamices apilados por 10 minutos. Los tamices tenían las siguientes dimensiones de mallas: 125 μm , 250 μm , 310 μm y 500 μm . Se pesó la harina retenida en cada tamiz y se expresó como porcentaje de harina retenida según el método de la AACC 55-30 (AACC, 2000). Cada muestra se analizó por duplicado.

COMPOSICIÓN CENTESIMAL DE LAS HARINAS

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 isotérmica de calentamiento

eléctrico a 135 °C con circulación de aire forzado, durante 2 horas. Los resultados se expresaron como porcentaje de agua perdida (Método 44-19, AACC Internacional 2000).

PROTEÍNAS

El contenido de proteínas se determinó según el método de micro Kjeldahl modificado para ácido bórico. La mineralización se llevó a cabo a partir de 200 mg de muestra con H₂SO₄ a 400 °C en un bloque de digestión MB-6, Raypa (R. Espinar SL, España). El amonio resultante se destiló sobre ácido bórico en un destilador UDK 129 (Velp Scientifica SRL, Italia) y se tituló con HCl. El contenido de proteínas se calculó multiplicando el contenido de nitrógeno por un factor de 5,7.

CENIZAS

El contenido de cenizas se determinó según el método 08-01 (AACC Internacional 2000) a partir de 2 g de harina pesado antes y después de incinerar en mufla a 600 °C.

LÍPIDOS

La determinación del contenido de lípidos de la harina se realizó mediante una extracción en Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo. El porcentaje de lípidos se determinó por diferencia entre el peso de la harina antes de la extracción y la harina deslipidizada (Método 30-10 AACC Internacional 2000).

GLUTEN

El contenido de gluten se determinó manualmente siguiendo el método 38-10 (AACC 2000). Se elaboró una masa con 5 g de harina y 3 ml de agua. La masa se sometió a un lavado manual durante 12 min en donde se separaron los componentes solubles en agua, como almidón, pentosanos y proteínas solubles. Luego el gluten se dejó reposar por 1 hora en agua a temperatura ambiente y se lo pesó obteniendo así el gluten húmedo. Finalmente se secó en estufa a 100 °C por 24 horas y se lo pesó obteniendo así el gluten seco. Los porcentajes de gluten húmedo y seco se calcularon en base a la harina al 14% de humedad

ELABORACIÓN DE PASTAS EXTRUSADAS

Las elaboración de pastas se llevó a cabo según el método propuesto por Bustos *et al.* (2011) con algunas modificaciones. Se utilizó una máquina doméstica de elaboración de pasta (ATMA, Argentina) en donde se mezclaron durante 3 minutos 50 gr de harina con 500 mg de sal (NaCl) y agua destilada en cantidad necesaria para obtener una masa homogénea que pudiera ser extrusada. Posteriormente la apertura del extrusor fue abierta para permitir que la masa ingrese al tornillo sin fin y sea forzada a pasar por una trafiladora permitiendo la obtención de pasta con forma de espagueti (diámetro de $2,1 \pm 0,2$ mm) (Figura 2.3). La pasta extrusada fue presecada a 30 °C durante 30 min en una estufa con corriente de aire forzado (MemmertModell 600 D060602, Alemania), sin control de humedad relativa. Luego el producto fue secado en una estufa (FAC modelo CDH4060, Argentina) a 45 °C y 75% de humedad relativa por 17 horas adicionales, con el objeto de obtener pasta con un contenido de humedad inferior a 12%. Se descartaron las horquillas y se almacenaron en bolsas plásticas en una zona seca y oscura.



Figura 2.3. Extrusión de pasta integral (izquierda) y pasta blanca (derecha).

De esta manera se obtuvieron 3 tipos de pastas diferentes dependiendo de la harina que se utilizó como materia prima: pastas hechas con harina blanca (PB), pastas hechas con harina integral del molino Cyclotec (PIA) y pastas hechas con harina integral proveniente del molino de cuchillas (PIB). A su vez cada pasta fue elaborada a partir de dos cultivares distintos: Klein Guerrero y Baguette Premiun 11.



Figura 2.4. Pastas extrusadas elaboradas a partir de Harina Blanca (PB) (Izquierda); con harina integral A (PIA) (Centro) y con harina integral B (PIB) (Derecha).

PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA PASTA

TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN

Las muestras de pasta seca (4 g) fueron cortadas en piezas de 5 cm y cocinadas en 200 mL de agua destilada en ebullición. El Tiempo Óptimo de Cocción (TOC) de la pasta se define como el tiempo necesario para obtener la gelatinización completa del almidón. El TOC se determinó como el tiempo necesario para lograr la desaparición de línea blanca en el centro de la pasta observada por compresión de la misma entre dos portaobjetos a intervalos de 1 min a partir del momento en el que fueron colocados en el agua a ebullición (AACC International, 2000). De esta forma, mediante sucesivas determinaciones y observaciones del avance de la cocción en las pastas hechas con las tres harinas diferentes, se establecieron los valores de TOC para cada muestra. Para las distintas determinaciones, transcurrido el tiempo óptimo de cocción, se retiraron del agua e inmediatamente se enjuagó con agua fría durante un minuto y luego se escurrieron durante 30 segundos. El agua de cocción fue conservada para la determinación de pérdida por cocción.

ÍNDICE DE HINCHAMIENTO

El índice de hinchamiento de la pasta se determinó como la diferencia de peso entre la pasta cocida hasta el TOC (P1) y la misma pasta sometida a un proceso de secado hasta peso constante a 105 °C (P2). El resultado fue expresado según la siguiente ecuación (Tudorica *et al.*, 2002):

$$\text{InH} = (P1 - P2)/P2$$

ABSORCIÓN DE AGUA

La absorción de agua de la pasta durante la cocción se determinó como la diferencia de peso entre la pasta cocida (P3) y la pasta cruda (P4), expresada como porcentaje (Tudorica *et al.*, 2002):

$$AA = (P3 - P4)/P4 \times 100$$

PÉRDIDA POR COCCIÓN

La pérdida por cocción (PC) de cada una de las muestras fue determinada por evaporación del agua de cocción hasta peso constante en estufa a 105 °C. El residuo obtenido fue pesado y expresado como porcentaje de la muestra de pasta original (Tudorica *et al.*, 2002).

COLOR

La evaluación del color se llevó a cabo sobre tres fragmentos de pasta de 5 cm ordenados de manera paralela, y adyacentes sobre un fondo negro. Para la determinación del color de las pastas provenientes de 3 harinas diferentes se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia Minolta 508d (EE.UU.), de 8 mm de apertura, ángulo de observador 10°, iluminante D65, componente especular incluido. 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 corte del eje L^* con el plano que forman a^* y b^* es el punto acromático. 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 2.5).

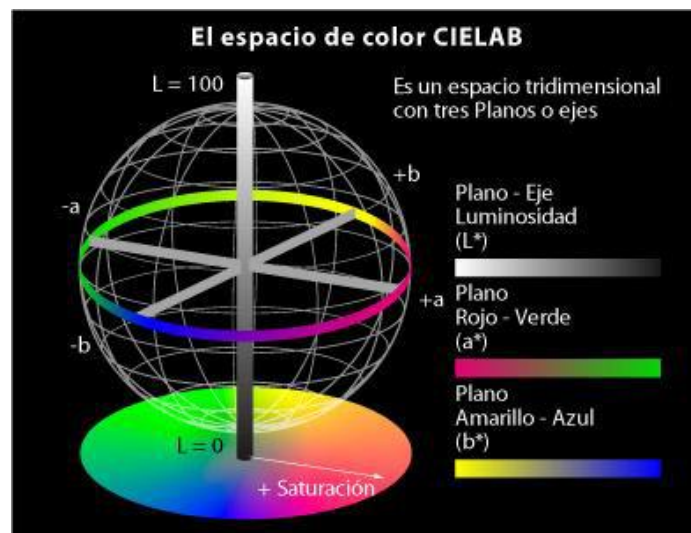


Figura 2.5. Representación gráfica del espacio Cie-lab.

TEXTURA DE LA PASTA COCIDA

Para llevar a cabo el análisis de los principales parámetros de textura de la pasta cocida se utilizó un texturómetro (Universal Testing machine, INSTRON 3342, USA), equipado con una celda de carga de 500 N y el programa *Texture Expert* para Windows, versión 1.22. Se determinaron los siguientes parámetros: firmeza, masticabilidad,

cohesividad y elasticidad, según Tang *et al.* (1999), para lo cual se empleó una sonda cilíndrica de 2,5 cm de diámetro.

Las muestras de pasta fueron cocidas hasta su TOC y posteriormente se colocaron varios segmentos de 5 cm de pasta cocida en la plataforma del equipo. Las muestras fueron analizadas por duplicado. En cada ensayo, la sonda comprimió el segmento de pasta a una velocidad de 50 mm/min, hasta el 40% de deformación de la pasta, luego se aleja y se inicia un segundo ciclo luego de 15s. Al final de cada ensayo se obtiene un perfil de textura característico, tal como el presentado en la Figura 2.6.

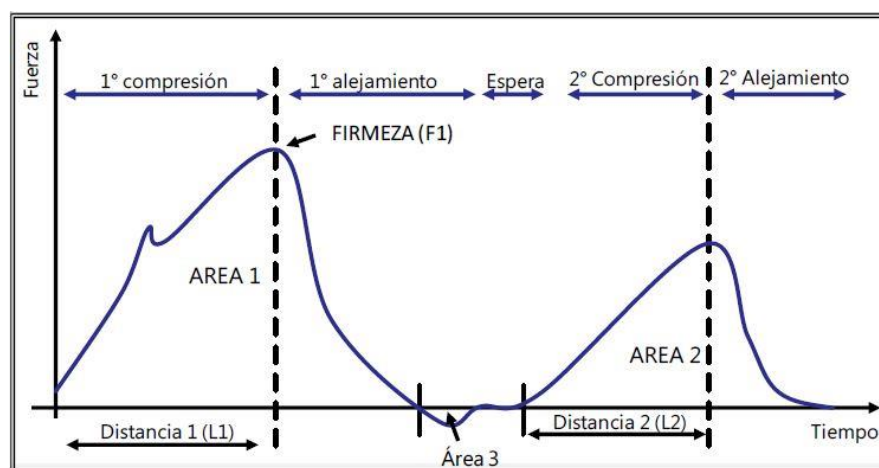


Figura 2.6. Curva típica de un Análisis de Perfil de Textura (TPA). Firmeza: F1 (Pico máximo de la 1° compresión), Cohesividad: $A2/A1$, Elasticidad: $L2/L1$, Masticabilidad: $F1 \times A2/A1 \times L2/L1$ (Dureza x cohesividad x elasticidad).

ATRIBUTOS NUTRICIONALES DE LA PASTA COCIDA

CONTENIDO DE ALMIDÓN DIGERIBLE, RESISTENTE Y PROTEÍNA

El contenido de almidón resistente, digerible y total de cada pasta analizada se determinó de acuerdo al método de la AACC 32–40 (2000). El contenido de proteínas de las pastas cocidas fue determinado mediante el micro método Kjeldahl con ácido bórico (Método Aprobado 46-13, AACC, 2000). El contenido de proteína se calculó como $N \times 5,7$ y se analizó por duplicado.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS PASTAS

El contenido de polifenoles totales, el poder reductor y la capacidad antiradicalaria se determinó sobre muestras de pasta cocida liofilizada. Diferentes mezclas de solventes incluidos el etanol, metanol y acetona fueron testeadas con el objetivo de identificar a la mezcla que favorezca la mejor extracción de los componentes antioxidantes de la muestra cocida. Los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de solventes metanol/acetona/agua (30:30:40 v/v). A 200 mg de muestra se le adicionaron 1 ml de la mezcla de solventes y se agitaron en un vortex por 5 minutos. Luego la mezcla se centrifugó por 10 minutos a 10000g y el sobrenadante se recolectó y se repitió el proceso de extracción. Finalmente, ambos sobrenadantes se juntaron y se los mantuvo en oscuridad a -20 °C hasta su análisis. Las determinaciones se realizaron por duplicado en dos extracciones realizadas por separado, totalizando 4 réplicas.

CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES

El contenido de polifenoles se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu utilizando ácido gálico como estándar de calibración según el método de Prior *et al.* (2005). Una solución de Folin-Ciocalteu diluida 10 veces se preparó justo antes de utilizarla. A 0,2 ml del extracto se le adicionó 0,8 ml de la solución de Folin-Ciocalteu, se mezcló. Luego de esperar 3 minutos para que la mezcla se equilibre, se adicionó 2 ml de una solución de carbonato de sodio (150 g/L) y 2 ml de agua. Se llevaron los tubos a la oscuridad a temperatura ambiente por 60 minutos para que la reacción tenga lugar. Posteriormente se leyó en un espectrómetro (UV-visible JascoV730, Jasco Corporation Japón) a 730 nm. El ácido gálico de las siguientes concentraciones se utilizó como estándar: 1; 0,75; 0,5; 0,25; 0,125 y 0,0625 mg/ml. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalentes por gramo de pasta cocida en base seca.

CAPACIDAD ATRAPADORA DE RADICALES LIBRES

La capacidad atrapadora de radicales libres de las pastas analizadas se midió mediante el método ABTS de acuerdo a Re *et al.* (1999). La solución de ABTS+ se diluyó 1:2 con agua destilada hasta obtener una absorbancia de aproximadamente 0,700 a 734 nm, la cual se registró como A_0 . Para la determinación se agregó a las muestras (100 μ l), 3 ml de solución ABTS+ diluida e inmediatamente se registró el descenso de absorbancia a 734 nm durante 4 minutos usando un espectrofotómetro (UV-visible JascoV730, Jasco Corporation, Japón). Para calcular la capacidad atrapadora de radicales libres se realizó un ajuste bi-exponencial sobre cada curva obtenida utilizando el software ORIGIN 8.0 (Origin-Lab Corporation, Northampton, MA, Estados Unidos) para obtener el valor de absorbancia a tiempo infinito (A_∞) y luego se determinó la magnitud del descenso de absorbancia ($A_0 - A_\infty$) obtenido. El estándar utilizado en esta determinación fue Trolox

(Sigma 238813) con las siguientes concentraciones: 0,50; 0, 25; 0,17 y 0,06 mg/ml. La diferencia de absorbancia obtenida se introdujo en la ecuación obtenida en la curva de calibración de trolox y se expresaron los resultados como μmol de trolox por gramo de pasta cocida en base seca.

PODER REDUCTOR

El poder reductor de los extractos obtenidos a partir de las pastas se determinó mediante FRAP de acuerdo a Pulido *et al.* (2000) utilizando Trolox como estándar. Se mezclaron 900 μL del reactivo FRAP (almacenado a 37°C) con 90 μL de agua destilada y 100 μL del extracto de las pastas o agua para el blanco. Las muestras se incubaron a temperatura ambiente por 30 minutos para que tenga lugar la reacción de color. Posteriormente se determinó la absorbancia a 595 nm mediante un espectrofotómetro (UV-visible JascoV730, Jasco Corporation, Japón). Los resultados se expresaron como μmol trolox equivalente por gramo de pasta cocida en base seca utilizando la siguiente curva de calibración: 0,5; 0,25; 0,125 y 0,063 mg/ml.

CONTENIDO DE MINERALES EN PASTAS COCIDA

Se determinó el contenido de minerales en las 6 muestras de pastas elaboradas con harina blanca y harina integral. Se pesaron 0,5 g de pasta cocida liofilizada en frascos de teflón de 25 ml. Se adicionaron 8 ml de HNO_3 concentrado y 0,4 ml de H_2O_2 y se colocaron en una plancha de calentamiento a 180 °C por 24 horas para asegurarnos una buena digestión. Pasado este tiempo se dejaron enfriar los frascos de teflón y se transfirió su contenido a matraces de 25 ml completado dicho volumen con agua mili-Q. Posteriormente se filtró el contenido de los matraces usando filtros de celulosa de 0,45 μm y 47 mm estériles (Sartorius). Los elementos determinados fueron los siguientes: Ca, Cu,

Fe, K, Mg, Mn, Na y Zn. Se utilizó un espectrómetro de absorción atómica en horno de grafito (AAS-3, Zeiss spectrometer).

DIGESTIÓN GASTRO-INTESTINAL *IN VITRO*/ SIMULADA

Las enzimas digestivas utilizadas fueron: amilasa de páncreas porcino (A3176, 27 unit/mg), pepsina de mucosa gástrica porcina (P7000, 683 unit/mg), pancreatina de páncreas porcino (P7545, 8 USP) y sales biliares (B8756) adquiridas en Sigma-Aldrich (Argentina).

El método de digestión gastrointestinal *in vitro* se llevó a cabo siguiendo el protocolo de Fabek *et al.* (2014) con algunas modificaciones, con el objetivo de estudiar la bioaccesibilidad de nutrientes en productos a base de cereales. La simulación se llevó a cabo en un baño termostatzado con una temperatura fija de 37°C y una agitación constante de 100 rpm. En un tubo tipo Falcon de 50 ml se colocaron segmentos de pasta seca (1 g) de 5 cm previamente cocidos hasta su TOC. Para simular la **masticación**, las muestras de pasta se disgregaron con el émbolo de un homogenizador manual para tejidos (Cole Parmer, Glass Vessel; 50 mL, EW-44468-18, USA) dentro del mismo tubo Falcon durante 2 minutos. Para simular la **digestión oral**, las muestras fueron incubadas por 5 minutos con 6 ml de buffer fosfato salino (BFS) 5mM pH 6,9 (NaCl 0,04mM, CaCl₂ 4mM) el cual contenía α -amilasa (40 U/ml). Posteriormente se simuló la **digestión gástrica** para lo cual se adicionaron 12 ml de BFS pH 6,9 conteniendo pepsina de páncreas porcino (100U/ml) y el pH se ajustó a 3. Las muestras se llevaron al baño termostatzado durante 2 h. Posteriormente se trasvasó el contenido de los tubos a unos frascos herméticos donde se procedió a imitar la **digestión intestinal** con la adición de 12 ml de BFS pH 6,9 y una mezcla de pancreatina-sales biliares (150 mg de pancreatina y 2 g de sales biliares). Dentro

del frasco se colocan segmentos de membrana de diálisis (MWcutoff=10 -12 kDa) conteniendo una solución de bicarbonato de sodio por 2,5 h (Figura 2.7). La concentración de la solución de bicarbonato de sodio era equimolar al hidróxido de sodio utilizado para determinar la acidez titulable en una alícuota del digesto gástrico ajustando el pH a 7,5 con hidróxido de sodio 5M.



Figura 2.7. Membrana de diálisis con solución de bicarbonato de sodio.

BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE ALMIDÓN EN PASTAS

Se tomaron alícuotas, del exterior de la membrana de diálisis, de 1 ml al tiempo 0, luego de la digestión oral, y a los 90 y 120 minutos de simulación gástrica y a los 10, 90 y 150 minutos de la simulación intestinal a fines de monitorear la hidrólisis del almidón. En cada alícuota se determinó el contenido de azúcares reductores usando el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), se utilizó una curva de maltosa como estándar y un factor de conversión a almidón de 0,9. Las curvas de hidrólisis de almidón vs. tiempo fueron ajustadas a un modelo no lineal para describir la cinética de la hidrólisis del almidón (Bustos *et al.*, 2011) utilizando el software ORIGIN PRO versión 8. La ecuación de primer orden utilizado fue:

$$C = C_{\infty} * (1 - e^{(-K*t)})$$

Donde C es el porcentaje de almidón hidrolizado al tiempo t; C_{∞} es el porcentaje de almidón hidrolizado a tiempo infinito, K es la constante cinética y t el tiempo (min).

DIALIZABILIDAD *IN VITRO* DE MINERALES EN PASTAS

Para realizar el análisis de dializabilidad se llevó a cabo la digestión *in vitro* tomando una alícuota del interior de la membrana de diálisis para determinar el contenido de Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, K y Cu mediante un espectrómetro de absorción atómica en horno de grafito (AAS-3, Zeiss spectrometer). La dializabilidad (%) se calculó de la siguiente manera: $100 \cdot Y/Z$ donde Y es el contenido del mineral dentro de la membrana de diálisis (mg mineral/1000 g pasta) y Z es el contenido del mineral en la pasta (mg mineral/1000 g pasta).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el presente trabajo se realizaron las determinaciones por duplicado y los resultados se informaron como el valor promedio \pm la desviación estándar (DE), valores máximos, mínimos y las respectivas varianzas (genotipo, ambiente e interacción). Estos análisis fueron realizados mediante el programa INFOSTAT (Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC, Argentina).

Los datos obtenidos a través de los diferentes estudios realizados se trataron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANAVA) y los resultados fueron comparados por el Método DGC, a un nivel de significación del 0,05. Las relaciones entre

los parámetros medidos fueron evaluadas por el Método de Pearson y los valores de coeficiente de correlación informados se consideraron significativos con un $p < 0,05$.

Para el análisis de la contribución del genotipo, el ambiente y la interacción entre ambos a la varianza total se aplicó un Modelo Lineal General y Mixto (MLGM). Los modelos mixtos son una generalización del modelo lineal de regresión clásico, contemplando la posible existencia de observaciones correlacionadas o con variabilidad heterogénea, vinculada a la presencia de factores aleatorios. La nomenclatura modelos mixtos se refiere precisamente al hecho de que el análisis debe lidiar con efectos fijos y aleatorios simultáneamente. El modelo mixto proporciona un entorno óptimo para responder a las cuestiones de un estudio con diseño experimental complejo: modelizando simultáneamente el valor esperado de la respuesta y su variabilidad. En este análisis se tomo al genotipo y el ambiente como efectos aleatorios y se consideró que dentro del error se encontraba la interacción entre ambos factores. Los componentes de la varianza se estimaron con la verosimilitud máxima (ML) con el fin de comparar las magnitudes relativas de las fuentes de variación y se calculó mediante porcentaje la contribución relativa de cada componente.

Entre las diversas técnicas disponibles para realizar estudios de la interacción genotipo*ambiente se ha elegido el método AMMI (Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) propuesto por Zobel *et al.* (1988) y Gauch y Zobel (1988 y 1996). El método AMMI no sólo permite estimar estabilidad de los genotipos, sino, también clasificar los ambientes (Crossa *et al.*, 2004). El procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y los análisis de CP la interacción genotipo*ambiente la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación (Gauch, 2006).

Con el fin de explorar la variabilidad entre los distintos trigos en cuanto al contenido de amilosa se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP es una técnica de reducción de dimensión que permite hacer un análisis exploratorio de los datos, permitiendo descubrir y resaltar la información contenida en una matriz multidimensional de datos. El ACP analiza la interdependencia de variables métricas y encuentra una representación gráfica óptima (biplot) de la variabilidad de los datos. Este análisis examina todos los datos en un espacio de menor dimensión que el espacio original de las variables, y trata de encontrar, con mínima pérdida de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de la variación entre objetos y variables.

El agrupamiento de objetos multivariados es frecuentemente utilizado como método exploratorio de datos con la finalidad de obtener mayor conocimiento sobre la estructura de las observaciones y/o variables en estudio. Las técnicas de clasificación basadas en agrupamientos implican la distribución de las unidades de estudio en clases o categorías de manera tal que cada clase (conglomerado) reúne unidades cuya similitud es máxima bajo algún criterio. Es decir los objetos en un mismo grupo comparten el mayor número permisible de características y los objetos en diferentes grupos tienden a ser distintos. Para evaluar las características del almidón y el contenido de minerales en los diferentes cultivares se realizaron análisis de conglomerados, que luego fueron utilizados para el ANAVA con el fin de identificar diferencias significativas entre los conglomerados obtenidos.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PENTOSANOS

La calidad del trigo no está solo determinada por sus componentes mayoritarios. Componentes minoritarios como lípidos, enzimas y polisacáridos no almidonosos como arabinosilanos o pentosanos juegan un papel muy importante (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).

A fin de estudiar la variación en el contenido y la distribución en el grano de los pentosanos, se determinaron tanto pentosanos totales (PT) como solubles (PS) en el grano entero (harina integral) y endosperma (harina blanca) de los 24 cultivares en los 6 ambientes, a fin de considerar el efecto del genotipo y de las condiciones ambientales. En la Tabla 3.1 se muestran los valores mínimos, máximos, y las medias determinadas para cada fracción de pentosanos tanto en harina integral como blanca así como también la contribución relativa del ambiente, genotipo y la interacción ambiente*genotipo (%) a la varianza total (100%).

PENTOSANOS TOTALES Y SOLUBLES EN HARINA INTEGRAL

Se encontró un amplio rango de valores para el contenido de PT y PS en harina integral (Tabla 3.1) obteniéndose valores promedio de PT de 9,68% y para PS de 0,49%. Diferentes autores encontraron valores de PS similares a los del presente trabajo, aunque cabe destacar que los valores máximos encontrados para PT fueron mayores a los registrados en la bibliografía. Martinant *et al.* (1999) reportaron un rango de 0,26 a 0,91%

de PS al evaluar 22 cultivares de trigo. 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. Li *et al.* (2009) encontraron valores de 0,51-0,78% para PS y de 3,08-4,30% para PT en 25 cultivares de trigo (hard wheat). Wang *et al.* (2006) informaron valores entre 0,62-0,90% para PS y entre 4,45-7,32% para PT para 6 cultivares Canadienses de trigo pan.

Tabla 3.1. Contenido medio, máximo y mínimo de pentosanos totales (PT) y solubles (PS) en harina blanca e integral y contribución parcial de ambiente, genotipo e interacción en la varianza total (%)^a

	Harina Integral		Harina Blanca	
	PS	PT	PS	PT
Media±DE	0,49±0,11	9,69±2,58	0,52±0,15	5,09±0,69
Mínimo	0,24	4,39	0,2	2,89
Máximo	0,93	16,12	1,15	6,94
VA	11,11	58,57	23,53	25,64
VG	44,44	30,46	52,94	66,92
VA*G	44,44	10,97	23,53	7,44

^aVA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo. DE: Desvío Estandar.

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de PT y PS en harina integral entre los 24 cultivares y los 6 ambientes en estudio. Una gran variedad de factores intrínsecos y extrínsecos influyen en la composición bioquímica del grano de trigo determinando así su uso final. Estos factores puede agruparse en base a su origen genético (genotipos, cultivares) o a su ambiente (precipitaciones, temperaturas, radiación solar, composición del suelo, etc). Ambos factores, genéticos y ambientales influyen la composición del trigo en diferente grado (Finnie *et al.*, 2006). Conocer las fuentes de variación del contenido de pentosanos tanto totales como solubles es una herramienta fundamental para los programas de mejoramiento con el objetivo de producir granos de trigo de calidad diferenciada en relación a los aspectos tecnológicos y nutricionales.

En cuanto a las varianzas, la variabilidad en el contenido de PT en harina integral se debió principalmente al ambiente. En cambio para los valores de PS tanto el genotipo como la interacción genotipo*ambiente fueron igualmente responsables de la variación descrita, indicando que el comportamiento de los diferentes genotipos no fue igual en todos los ambientes y que el contenido de PS no sería el indicado para utilizar en los programas de mejoramiento y selección de cultivares.

Ciccoritti *et al.*(2011) encontraron que tanto el ambiente como el genotipo afectaron significativamente el contenido de ambas fracciones de pentosanos así como también fue significativa la interacción entre ambos factores. En concordancia con nuestro resultados, Ciccoritti *et al.* (2011), Li *et al.* (2009), Dornez *et al.* (2008) y Lempereur *et al.*(1997) encontraron que las variaciones en el contenido de PT se debieron a diferentes condiciones ambientales siendo el ambiente el factor dominante en la contribución de la variabilidad de dicha fracción de pentosanos. Finnie *et al.* (2006), Faurot *et al.* (1995) y Hong *et al.* (1989) determinaron que el cultivar jugó un rol importante en la variabilidad encontrada en el contenido de PS mientras que el ambiente fue una fuente de variación significativa para el contenido de PT.

En general los trigos cosechados en los ambientes correspondientes al año 2009 presentaron valores inferiores de PT y PS que los cosechados en los ambientes del año 2010 (Tabla 3.2). Los trigos pertenecientes al ambiente de R-2009 presentaron los menores valores de PT y PS mientras que en B-2010 los valores de ambas fracciones de pentosanos fueron los mayores. En B-2010 se registró una precipitación anual (902 mm) superior a la media (793 mm) mientras que en el resto de los ambientes se registraron precipitaciones anuales similares a la media histórica. La influencia del contenido de agua disponible en la acumulación de pentosanos fue discutida por Dornez *et al.* (2008) y Ciccoritti *et al.* (2011) quienes evidenciaron un aumento en el contenido de PS en el grano de trigo en años lluviosos cuando evaluaron trigos de diferentes localidades y años de cosecha. Li *et al.* (2009) observaron un significativo impacto en la cantidad de lluvias registradas sobre el

nivel de PS en harina integral de trigos invernales, el cual fue considerablemente mayor en ambientes lluviosos en comparación con localidades secas.

En cuanto a la variabilidad en el contenido de PT entre los genotipos, el cultivar Bointa 1005 presentó el mayor contenido mientras que los cultivares Klein Nutria, Klein Leon y Bointa 3004 presentaron valores muy bajos de PT. Los mayores valores de PS se encontraron en los cultivares Bointa 1005, Klein Yarara, Klein Chajá y ACA 320 mientras que los cultivares con menor contenido de PS estuvieron por debajo de 0,47 y se destacan los cultivares Klein Nutria, Baguette 9 y ACA 315 (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Contenido de pentosanos solubles (PS) y totales (PT) (%) en harina integral en los 6 ambientes y los 24 cultivares ^{a,b}

	Harina Integral	
	PS	PT
R-2009	0,46 a	7,46 a
B-2009	0,47 b	8,47 b
MJ-2009	0,49 c	7,50 a
R-2010	0,50 c	11,25 c
B-2010	0,53 d	11,61 d
MJ-2010	0,50 c	11,87 d
ACA 303	0,45 a	8,95 a
ACA 315	0,42 a	8,95 a
ACA 320	0,58 c	9,36 b
Atlax	0,46 a	10,27 b
Baguette 9	0,43 a	10,01 b
Buck Meteoro	0,51 b	9,55 b
Baguette Premiun 11	0,44 a	10,07 b
Bointa 1005	0,61 c	10,97 c
Bointa 1006	0,45 a	10,27 b
Bointa 3004	0,47 a	8,78 a
Buck 75 Aniv	0,44 a	9,45 b
Buck Puelche	0,51 b	10,14 b
Cronox	0,53 b	9,85 b
Klein Capricornio	0,51 b	9,73 b
Klein Chaja	0,58 c	9,81 b
Klein Guerrero	0,49 b	10,17 b
Klein Leon	0,46 a	8,89 a

Tabla 3.2. Contenido de pentosanos solubles (PS) y totales (PT) (%) en harina integral en los 6 ambientes y los 24 cultivares **CONTINUACION**

Klein Nutria	0,42 a	8,39 a
Klein Tauro	0,49 b	9,65 b
Klein Tigre	0,51 b	9,83 b
Klein Yarara	0,56 c	9,65 b
Klein Zorro	0,52 b	9,81 b
LE 2330	0,48 b	10,33 b
LE 2331	0,48 b	9,83 b

^a Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

^b PS: Pentosanos Solubles; PT: Pentosanos Totales.

Con el objetivo de visualizar la estabilidad de los genotipos en cuanto al contenido de pentosanos a través de los diferentes ambientes, se llevó a cabo el método AMMI y se graficaron algunos cultivares con un comportamiento representativo del total de cultivares (Figura 3.1).

Tanto para el contenido de PT como PS se observa que no todos los cultivares presentaron el mismo patrón. Cultivares como ACA 320, Baguette 9 y Atlax registraron una estabilidad en el contenido de PT a través de los 6 ambientes mientras que Klein Yarara o Klein Nutria presentaron valores de PT muy inestables. Lo mismo ocurre para el contenido de PS donde Atlax, Klein León, Klein Tauro o Klein Yarara presentaron valores estables a través de los 6 ambientes mientras que ACA 320, Klein Capricornio o Klein Nutria registraron valores muy inestables. Atlax y Klein Tauro son dos genotipos con contenido de PS y PT estables a través de los ambientes los cuales se deberían tomar en consideración en el momento de seleccionar genotipos para mejoramiento, al no verse tan afectado el contenido de pentosanos por las condiciones ambientales.

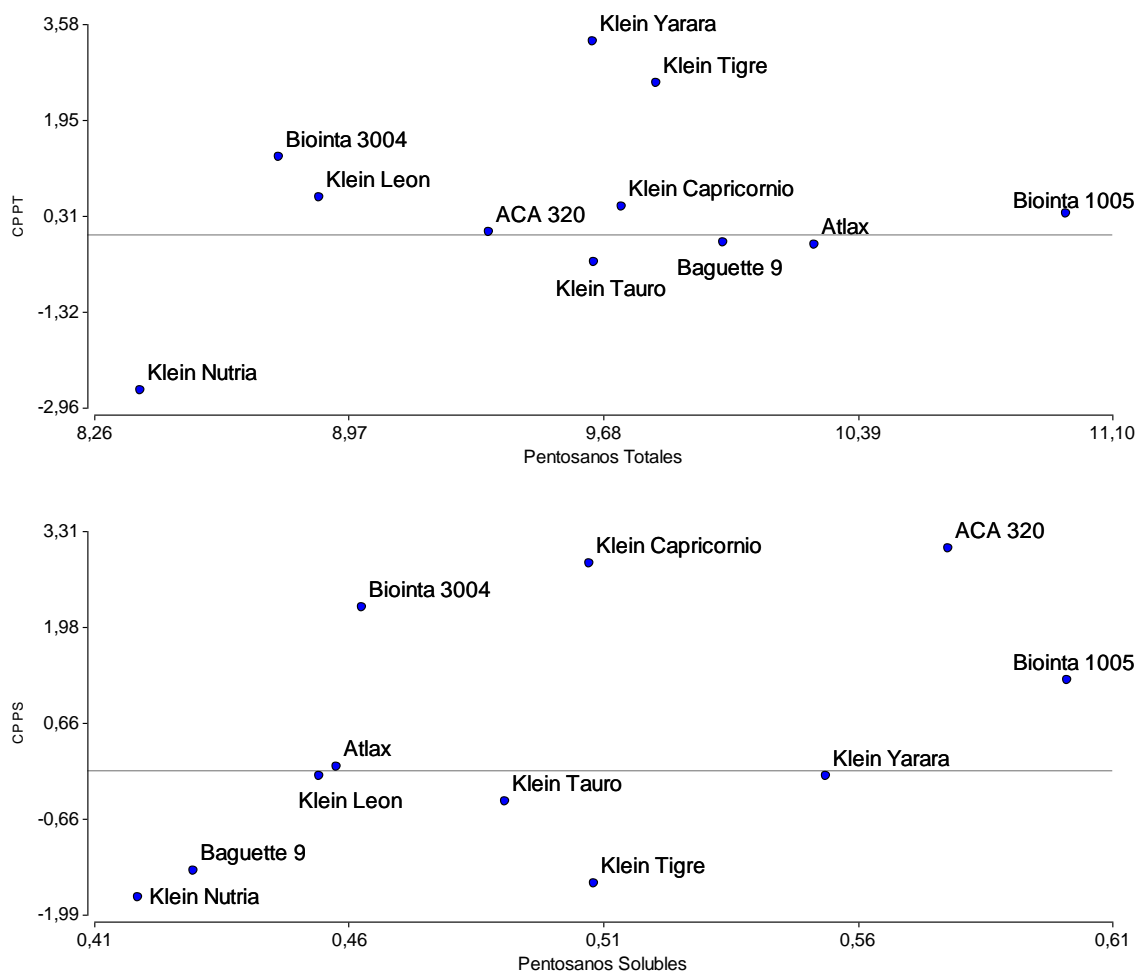


Figura 3.1. Estabilidad de genotipos en el contenido de pentosanos totales (PT) y pentosanos solubles (PS) de harina integral en los 6 ambientes.

PENTOSANOS TOTALES Y SOLUBLES EN HARINA BLANCA

El contenido de PT y PS en la harina blanca también presentó un amplio rango (Tabla 3.1) registrando valores medios de PT de 5,09% y 0,52% de PS los cuales se corresponden con lo informado por diferentes autores. Ramseyer *et al.* (2011) determinaron el contenido de PT y PS para 31 cultivares de trigo e informaron rangos de 4,33-6,86% para PT y 0,84-1,67% para PS. Finnie *et al.* (2006) informaron valores de PT

entre 3,1-6,4% y entre 0,24-0,91% de PS para 27 cultivares de trigo blando. Colombo *et al.* (2008) encontraron valores de 4,33-6,86% para PT y 0,51-0,98% para PS en 18 cultivares de trigos pan argentinos. Moiraghi *et al.* (2013) encontraron valores similares a los del presente trabajo para PT (4,05-6,06%) mientras que cuando evaluaron 51 cultivares de la localidad de Marcos Juárez en el año 2011 los valores encontrados para PT y PS fueron 1,4-7,79% y 0,3-0,93% respectivamente.

El genotipo fue claramente el mayor responsable de la variabilidad encontrada en ambas fracciones de pentosanos aunque se encontraron diferencias significativas entre los 6 ambientes en estudio. Cabe destacar que tanto el ambiente como la interacción genotipo*ambiente tuvieron el mismo porcentaje de responsabilidad en la variabilidad registrada para el contenido de PS. Resultados que concuerdan con los encontrados por Finnie *et al.* (2006) al evaluar 7 cultivares (soft) en 10 ambientes, donde el cultivar exhibió la mayor contribución a la variabilidad encontrada tanto en el contenido de PT como PS. Zhang *et al.* (2005) examinaron 17 variedades de trigo blando y reportaron que tanto el ambiente como el genotipo fueron importantes fuentes de variación pero el genotipo fue la más importante para el contenido de PS. Jiang *et al.* (2007) evaluaron 6 genotipos en 5 ambientes y encontraron que el genotipo influyó más en el contenido de pentosanos pero que tanto el ambiente como la interacción genotipo*ambiente fueron significativas. Gebruers *et al.* (2010) evaluaron 24 cultivares de trigos invernales durante 3 años de cosecha encontrando que el contenido de PS en la harina blanca estuvo influenciado principalmente por el genotipo. Saulnier *et al.* (2007) señalaron que las condiciones ambientales afectan el contenido y estructura de los pentosanos del endosperma pero que la variación estaba determinada principalmente por el genotipo.

Los trigos cosechados en R-2009, B-2010 y MJ-2010 presentaron los menores valores de PS y PT mientras que los trigos pertenecientes a R-2010 registraron los valores

más elevados para ambas fracciones de pentosanos (Tabla 3.3). Sin embargo, en éste último ambiente no se registró mayor cantidad de precipitación indicando que no solo la disponibilidad de agua afecta al contenido de pentosanos sino que otros factores como temperatura, radiación solar o características del suelo pueden influir en la composición del trigo.

Tabla 3.3. Contenido de PS y PT (%) en harina blanca y pérdida durante la molienda respecto a la harina integral de PT (%) en los 6 ambientes y los 24 cultivares ^{a,b}

	Harina Blanca		
	PS	PT	PT
R-2009	0,49 a	4,95 a	33,65
B-2009	0,49 a	5,23 b	38,25
MJ-2009	0,54 b	5,28 b	29,6
R-2010	0,60 c	5,20 b	53,78
B-2010	0,50 a	4,90 a	57,8
MJ-2010	0,51 a	4,98 a	58,05
ACA 303	0,50 c	4,62 a	48,38
ACA 315	0,55 d	5,43 c	39,33
ACA 320	0,56 d	5,44 c	41,88
Atlax	0,46 b	5,2 b	49,37
Baguette 9	0,50 c	5,47 c	45,35
Baguette Premiun 11	0,47 b	5,01 b	50,25
Biointa 1005	0,62e	5,45 c	50,32
Biointa 1006	0,47 b	5,15 b	49,85
Biointa 3004	0,41 a	4,80 a	45,33
Buck 75 Aniv	0,46 b	4,91 a	48,04
Buck Meteoro	0,60 e	4,72 a	50,58
Buck Puelche	0,47 b	5,29 c	47,83
Cronox	0,61 e	4,95 a	49,75
Klein Capricornio	0,52 d	5,15 b	47,07
Klein Chaja	0,67 f	5,44 c	44,55
Klein Guerrero	0,57 e	5,31 c	47,79

Tabla 3.3. Contenido de PS y PT (%) en harina blanca y pérdida durante la molienda respecto a la harina integral de PT (%) en los 6 ambientes y los 24 cultivares
CONTINUACION

	Harina Blanca		
	PS	PT	PT
Klein Leon	0,44 b	4,53 a	49,04
Klein Nutria	0,44 b	4,65 a	44,58
Klein Tauro	0,54 d	5,11 b	47,05
Klein Tigre	0,43 b	5,33 c	45,78
Klein Yarara	0,66 f	4,84 a	49,84
Klein Zorro	0,58 e	5,12 b	47,81
LE 2330	0,54 d	5,23 b	49,37
LE 2331	0,45 b	5,06 b	48,52

^a Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

^b PS: Pentosanos Solubles; PT: Pentosanos Totales.

Entre los 24 cultivares en estudio se encontraron diferencias significativas tanto para el contenido de PT como de PS en harina blanca y no todos los cultivares presentaron el mismo comportamiento lo cual queda evidenciado en la Figura 3.2. Algunos genotipos como Biointa 3004 registraron bajos valores en ambas fracciones mientras que Biointa 1005 presentó los mayores valores en PT y PS. Otros genotipos como Klein Yarara presentaron altos valores de PS pero valores muy bajos de PT. Al igual que en harina integral el comportamiento y estabilidad del contenido de PS en harina blanca a través de los ambientes fueron muy distintos en los 24 cultivares en estudio. El contenido de PT en Biointa 3004, Atlax y Biointa 1005 fue muy estable a través de los ambientes. En cuanto al contenido de PS también Atlax, y Biointa 1005 presentaron valores estables a través de los ambientes. El contenido de PT fue muy inestable para Klein Yarara o Klein Capricornio mientras que el contenido de PS fue muy inestable en Biointa 3004 y Klein Yarara. Tanto en harina integral como harina blanca el genotipo Atlax presentó contenidos de PS y PT más estables a través de los 6 ambientes en estudio. De todos modos, cabe destacar que si bien el ambiente influyó en el contenido de PT y PS en harina blanca, la fuente de variación más importante fue claramente el genotipo.

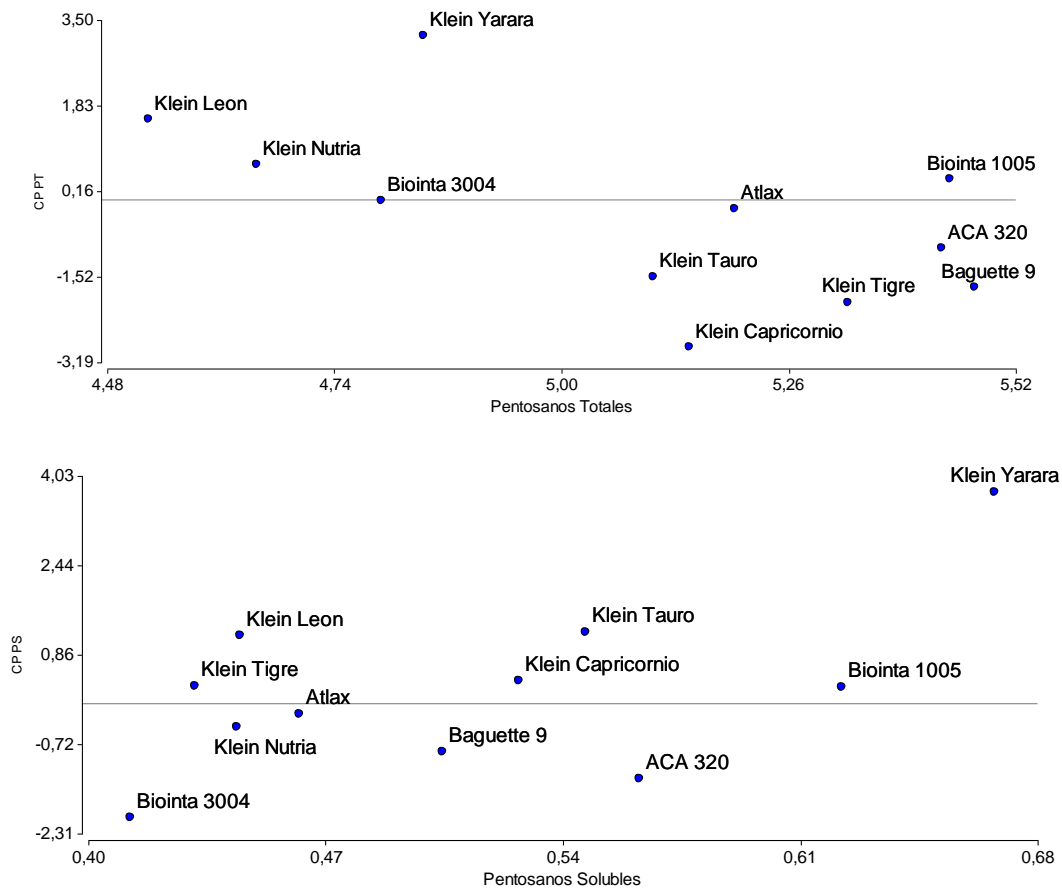


Figura 3.2. Estabilidad de genotipos en el contenido de PT y PS en harina blanca a través de los 6 ambientes.

PÉRDIDA DE PENTOSANOS LUEGO DE MOLIENDA

Tal como se puede evidenciar en la Tabla 3.3 el contenido de PT disminuyó notablemente en la harina blanca, producto de la molienda del grano, donde se eliminó el salvado y el germen, evidenciado así, que el mayor contenido de pentosanos se localiza en las capas externas del grano (Lempereur *et al.*, 1997). Sin embargo el contenido de PS fue mayor en la harina blanca que en la integral probablemente debido a la poca accesibilidad del agua a la fracción de salvado durante su determinación (Delcour *et al.*, 1999).

Los porcentajes de pérdida en el contenido de PT para los 6 ambientes variaron entre 29,6% (MJ-2009) y 58,05% (MJ-2010). El porcentaje de pérdida en el contenido de PT de los genotipos varió entre 39,33% para ACA 315 y 50,58% para Buck Meteoro.

Conocer el porcentaje de pérdida de pentosanos de cada genotipo y de cada ambiente es relevante cuando se pretende seleccionar los cultivares y ambientes que mejor resisten a la molienda y cuyos granos mantienen una mayor cantidad de pentosanos en las harinas refinadas. Con el objeto de evidenciar esa variación en la Figura 3.3 se graficaron 6 genotipos representativos en los 6 ambientes. Tal como se describió antes, los trigos cosechados en R-2009 son los que más se vieron afectados por la molienda al observarse un alto porcentaje de pérdida en el contenido de PT mientras que los trigos de MJ-2009 presentaron los valores más bajos de pérdida. En cuanto a los cultivares, no todos presentaron el mismo patrón de pérdida en los diferentes ambientes. Por ejemplo, el cultivar ACA 303 presentó un alto porcentaje de pérdida de pentosanos en R-2009 mientras que en MJ-2009 la pérdida fue considerablemente menor y los valores registrados en B-2010, MJ-2010 y R-2010 fueron similares. Hubo cultivares como ACA 303, Baguette 9 y Buck Puelche que presentaron grandes pérdidas de PT en B-2009 mientras que Klein León presentó una pérdida muy baja en dicho ambiente. Estas diferencias en los porcentajes de pérdida de PT puede deberse tanto a características determinadas genéticamente como la dureza del grano, como a las condiciones climáticas de cada ambiente en particular que afectan la estructura y composición del endosperma. Swanston *et al.* (2012) evaluaron 12 variedades de trigo provenientes de 6 localidades y dos años consecutivos de cosecha y concluyeron que la dureza de los granos estuvo estrechamente relacionada con dichas localidades y años en estudio. Por otra parte Weightman *et al.* (2008) determinaron que la dureza de los granos incrementó en condiciones de sequía al evaluar diversos genotipos bajo un régimen de sequía y otro de riego normal.

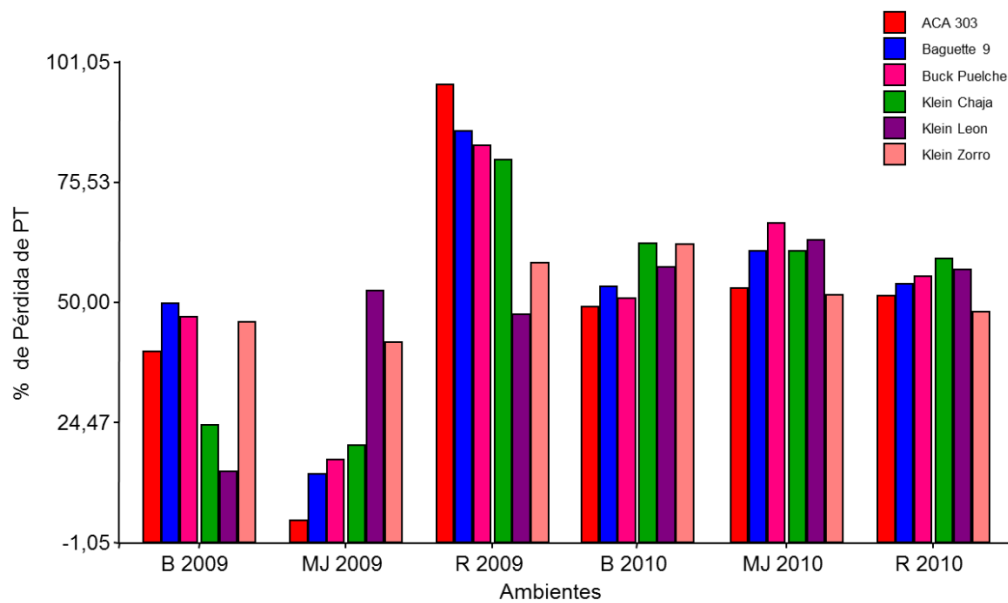


Figura 3.3. Porcentaje de pérdida de PT de los cultivares en los 6 ambientes.

CONCLUSIONES

Entre los 24 cultivares en estudio se encontraron diferencias significativas en el contenido de PT así como de PS en harina blanca y en harina integral. Tanto el ambiente como el genotipo influyeron en diferente medida en ambas fracciones de pentosanos en los dos tipos de harinas estudiadas. El cultivar Biointa 1005 presentó los mayores contenidos de PT y PS en harina integral. El contenido de PT luego de la molienda disminuyó notablemente en harina blanca con valores de pérdida comprendidos entre 26,9% y 68,87%.

ALMIDÓN

El almidón constituye una parte crucial en el endosperma del grano de trigo no sólo porque representa el 65-73% del peso del grano, sino por las propiedades únicas que presenta en el proceso de panificación que no pueden ser reemplazadas por almidones de otros cereales (Hoseney *et al.*, 1971; Sahlstrom *et al.*, 1998). Por otra parte, el almidón se utiliza como ingrediente multifuncional para la industria alimentaria y no alimentaria (Pomeranz y McMasters, 1968). Dicha funcionalidad del almidón influye y controla características como textura, volumen, consistencia, humedad y estabilidad de los productos alimenticios (Raeker *et al.*, 1998). Tanto el diámetro de los gránulos como la distribución del tamaño de los gránulos son atributos que están genética y ambientalmente controlados (Peña *et al.*, 2002).

Con el objetivo de analizar la composición y características físico-químicas del almidón de trigo y evaluar su comportamiento en diferentes genotipos y ambientes, se determinó el contenido de amilosa, el tamaño y la distribución de volumen de gránulos de almidón, las propiedades térmicas medidas por DSC, y el perfil de viscosidad medido por RVA, en los 24 cultivares de los 6 ambientes.

COMPOSICIÓN Y TAMAÑO DE GRÁNULOS

El contenido de amilosa, junto con el tamaño de los gránulos, afectan las propiedades fisicoquímicas del almidón de trigo. Las diferencias en tamaño, forma y composición de los gránulos A y B del trigo son características importantes que determinan su uso final al influenciar sobre las propiedades de gelatinización, *pasting*,

reológicas y de panificación (Kulp, 1973; Shinde *et al.*, 2003). Estudios han revelado que tanto las condiciones ambientales como el factor genético controlan las características fisicoquímicas del almidón y la distribución del tamaño de gránulos en el grano de trigo (Zhang *et al.*, 2010; Peña *et al.*, 2002).

Se determinó el contenido de amilosa, el diámetro y la distribución de volumen de los gránulos de almidón en cada pico (A y B) de las harinas obtenidas a partir de los 24 cultivares de trigo en los 6 ambientes en estudio. En la Tabla 3.4 se expresan los resultados promedios

Tabla 3.4. Valores máximo, mínimo y promedio de diámetro y distribución de volúmenes de gránulos de almidón, contenido de amilosa y contribución relativa (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total ^a.

	Diámetro B (µm)	Diámetro A (µm)	q A (%)	q B (%)	Amilosa %
Media±DE	3,05±0,44	20,62±2,76	80,45±6,62	19,6±6,59	28,63±2,8
Mínimo	1,73	10,1	59,43	9,02	17,57
Máximo	4,47	29,9	90,99	40,57	36,47
VA	45,55	38,65	68,80	70,37	22,23
VG	14,41	40,54	16,65	15,04	41,59
VA*G	40,04	20,81	14,54	14,59	36,18

^a q A (%): porcentaje de volumen que ocupan los gránulos A; q B (%): porcentaje de volumen que ocupan los gránulos B; VA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo. DE: Desvío Estandar. En el pico de cada población (Pico A y Pico B) se tomaron los valores de diámetro y porcentaje de volumen.

La distribución de tamaño de gránulos de almidón de trigo es una característica muy importante ya que puede afectar tanto la composición química como la funcionalidad del almidón. Diferentes autores han informado que los gránulos A y B difieren en el contenido de amilosa, la longitud de la cadena de amilopectina, la cristalinidad relativa, la microestructura, la capacidad de hinchamiento y las propiedades de gelatinización y *pasting* (Kim y Huber, 2010; Salman *et al.*, 2009; Geera *et al.*, 2006; Chiotelli y Le Meste, 2002; Eliasson y Karlsson, 1983).

La distribución de volumen de los gránulos de almidón mostró una población bimodal típica para el trigo (Figura 3.4) y el límite entre las dos poblaciones se estableció alrededor de los 10 μm . Por debajo de los 10 μm se encuentran los gránulos tipo B, y con diámetros iguales o mayores a 10 μm se encuentra la población de gránulos A. También se determinó la relación entre el porcentaje de volumen de los gránulos A ($>10\mu\text{m}$) y los gránulos B ($< 10\mu\text{m}$). En el pico de cada población (Pico A y Pico B) se tomaron los valores de diámetro y porcentaje de volumen.

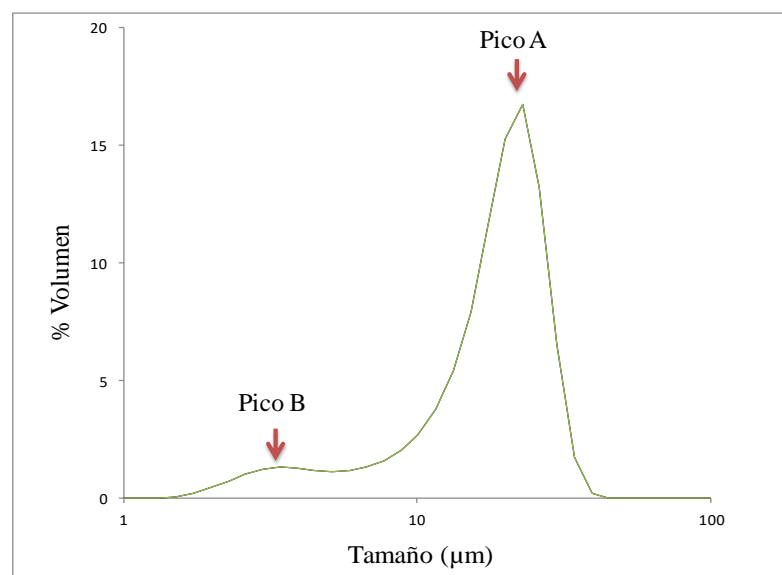


Figura 3.4. Distribución bimodal de tamaño de gránulos de típica almidón de trigo.

Se encontró un amplio rango de valores entre los 24 cultivares y los 6 ambientes en estudio indicando una gran variabilidad en el tamaño y distribución de los gránulos de almidón. Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros analizados tanto para los 24 cultivares como para los 6 ambientes y la interacción genotipo*ambiente, con la excepción del porcentaje de volumen de los gránulos A que no mostró efecto significativo en la interacción ($p>0,05$).

Para los gránulos B se encontraron valores de pico entre 1,73 μm y 4,47 μm , con un promedio de alrededor de 3,06 μm . Para los gránulos tipo A se encontraron valores de entre 10,1 μm y 29,9 μm , con un promedio de 20,62 μm . Li *et al.* (2008) compararon la distribución de tamaño de gránulos de almidón para trigos duros y blandos de cultivares chinos y encontraron dos poblaciones con valores de pico de 5,6-6,1 μm y 20,7-24,9 μm respectivamente.

La contribución promedio de los gránulos de la población A al total del volumen fue de 80,45% mientras que la de los gránulos B fue de 19,56%. Esta diferencia se debe a que los gránulos A comienzan a sintetizarse 4-5 días luego de la floración y el número de gránulos no aumenta hasta luego de 6 días, pero su incremento en tamaño continúa hasta la madurez (Dai *et al.*, 2009). Li *et al.* (2008) informaron cuatro poblaciones de gránulos en trigos: <2,8 μm , 2,8-9,9 μm , 9,9-22,8 μm y 22,8-42,8 μm , con rangos de 10,3-13,9%, 26,6-28,1%, 32,7-34,6%, 24,2-27% en trigos blandos. Teniendo en cuenta que los gránulos B son los menores a 9,9 μm esta población correspondió a 36,9-41,2% del volumen total, mientras que los gránulos A (>9,9 μm) comprendieron un 58,8-63,1% del volumen total. Así mismo informaron que los trigos blandos mostraron gránulos de tipo B más pequeños y una mayor proporción de gránulos de tipo A que los trigos duros. Raeker *et al.* (1998) informaron una distribución trimodal de gránulos de almidón con rangos de 9,7-15,2% (<2,8 μm), 13,4-27,9% (2,8-9,9 μm), y 57,9-76,9% (>9,9 μm) para cultivares de trigo blando en Estados Unidos.

Las diferencias entre los valores informados en el presente trabajo y los encontrados en bibliografía han sido previamente observadas por otros autores, quienes evaluaron que los diferentes métodos de extracción de gránulos y a los distintos equipos utilizados para la medición producen variabilidad en los resultados (Wilson *et al.*, 2006). Así mismo se han informado diferencias debidas al punto de corte entre las poblaciones de gránulos (Li *et al.*, 2008).

De acuerdo al análisis de varianza, el ambiente fue el mayor responsable de la variabilidad encontrada tanto para el diámetro de la población B como para el porcentaje de volumen ocupado por ambas poblaciones, mientras que para la variabilidad encontrada en el diámetro de los gránulos A tanto el genotipo como el ambiente fueron ambas fuentes de variación de similar magnitud (Tabla 3.4).

Sin embargo, cabe destacar, que la interacción genotipo*ambiente contribuyó con un alto porcentaje (40%) a la varianza total del tamaño de los gránulos B. Diferentes autores encontraron resultados similares a los expresados en el presente trabajo. Shinde *et al.* (2003) estudiaron 2 trigos blandos y encontraron que tanto el contenido de gránulos A como B estaba muy influenciado por el ambiente. Dai *et al.* (2009) encontraron que el ambiente presentó un efecto muy importante en el tamaño y proporción de gránulos A y B al evaluar 7 variedades de trigos invernales en 2 localidades y que las condiciones ambientales tuvieron un rol primordial en el tamaño de los gránulos B. Balla *et al.* (2010) al evaluar 5 trigos invernales concluyeron que la distribución de tamaño de gránulos estuvo fuertemente afectada por las condiciones ambientales. Las variaciones en temperatura reducen no solo la cantidad de almidón presente en el grano de trigo, sino además el tamaño de los gránulos (Rosicka-Kaczmarek *et al.*, 2013).

Los trigos pertenecientes a MJ-2009 registraron tamaños más pequeños de gránulos A y B en comparación con los restantes ambientes (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Diámetro, distribución de volúmenes de gránulos de almidón y contenido de amilosa promedios en los 6 ambientes en estudio^{a,b}

Ambiente	Diámetro B (µm)	q B (%)	Diámetro A (µm)	q A (%)	Amilosa %
B-2009	3,07b	16,05b	20,72a	83,98c	27,35a
MJ-2009	2,80a	12,88a	19,86a	87,00d	29,74d
R-2009	3,12b	20,66c	19,96a	79,34b	28,18b
B-2010	3,11b	23,60d	19,50a	75,37a	29,10c
MJ-2010	2,97b	19,68c	20,48a	80,72b	27,91b
R-2010	3,41c	24,74d	23,22b	75,26a	29,49d

^aq A (%): porcentaje de volumen que ocupan los gránulos A; q B (%): porcentaje de volumen que ocupan los gránulos B.

^bLetras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Según los datos proporcionados por el INASE 2009, en MJ-2009 hubo altas temperaturas durante el período de llenado de granos lo cual puede explicar esta disminución en el diámetro de gránulo de ambas poblaciones. Hurkman y Wood (2010) estudiaron una variedad de trigo pan en diferentes condiciones de temperatura luego de la antesis y determinaron que el tamaño de los gránulos A y B se encontró disminuído cuando el llenado de granos ocurrió a mayor temperatura, sugiriendo que muchos de los genes involucrados en el desarrollo del grano están coordinadamente regulados por un mecanismo que responde a las condiciones ambientales. A su vez, los trigos pertenecientes al ambiente MJ-2009 presentaron el mayor porcentaje de volumen ocupado por los gránulos A y el menor volumen de gránulos B. Hurkman *et al.* (2003) y Nhan y Copeland (2014) también demostraron que los trigos expuestos a altas temperaturas durante el llenado de grano presentaban una reducción en el volumen ocupado por los gránulos B al evaluar un trigo rojo primaveral en una cámara con control de temperatura y en 5 trigos duros cultivados en 9 ambientes respectivamente. Dichos hallazgos lo adjudicaban a la corta duración de la acumulación de almidón debido a la inactivación de enzimas específicas de la biosíntesis del almidón, así como a la disminución en la duración del llenado de granos. La síntesis de los gránulos B comienza 14 días luego de la antesis (Yin *et al.*, 2012) y por lo tanto, factores externos pueden afectar a la distribución de los gránulos en el grano de trigo (Hurkman *et al.* 2003; Nhan y Copeland, 2014).

En los ambientes B-2010 y R-2010 los trigos presentaron el mayor porcentaje de volumen ocupado por los gránulos B y el menor volumen de gránulos A. Durante la etapa de llenado de granos, el ambiente R-2010 sufrió sequía (INASE, 2009) y así como lo demostraron Dai *et al.* (2009), quienes evaluaron 7 trigos invernales, la falta de agua incrementa el porcentaje de volumen de los gránulos menores a $<9,8\mu\text{m}$ mientras que disminuye el volumen de los gránulos de almidón de un tamaño superior a $18,8\mu\text{m}$. Esto puede deberse a que la acumulación de almidón y la actividad de las enzimas relacionadas se encuentran incrementadas por la deficiencia de agua en el suelo entre los días 10 y 21 después de la anthesis (Dai *et al.*, 2009), momento en el cual los gránulos B son rápidamente sintetizados. Por lo tanto, la síntesis de gránulos B se encuentra mucho más influenciada por las condiciones ambientales en este período que en otras etapas resultando así en un aumento en el volumen que ocupa dicha población en condiciones de sequía (Dai *et al.*, 2009). Por otra parte, Li C *et al.* (2015) al estudiar 2 variedades de trigo invernal, encontraron que el estrés hídrico provocó una reducción en el porcentaje de volumen ocupado por los gránulos tipo A y un significativo incremento en el volumen de los gránulos tipo B al comparar ambas variedades con controles que fueron irrigados. Estos resultados refuerzan la idea de que las condiciones ambientales influyen, y de manera significativa, en la distribución del tamaño de gránulos.

Hubo una gran variación en la distribución del tamaño de gránulos entre los 24 cultivares, encontrándose diferencias significativas en todos los parámetros analizados. Sin embargo, no todos los genotipos presentaron la misma distribución en los diferentes ambientes. Cultivares como Klein Chaja, Klein Zorro o Biointa 1005 presentaron bajos diámetros de gránulos A y B ($17,80-19,54\mu\text{m}$ para A y $2,62-2,78\mu\text{m}$ para B) mientras que Atlax y Klein Nutria registraron diámetros elevados en ambas poblaciones ($21,9-23,97\mu\text{m}$ para A y $3,27-3,29\mu\text{m}$ para B). Sin embargo otro grupo de cultivares presentó altos valores de diámetro de gránulos B ($3,3-3,42\mu\text{m}$) y bajo diámetro de gránulos A ($19,53-19,54\mu\text{m}$): ACA 303 y Klein Leon.

Con respecto al porcentaje de volumen ocupado por ambos gránulos, cultivares como Klein Tigre, ACA 303, LE 2331, Klein Yarara, Klein Nutria presentaron bajos volúmenes ocupados por gránulos B y altos volúmenes ocupados por gránulos A mientras que cultivares como Biointa 3004, Klein Zorro, Biointa 1006 y Klein Chaja presentaron una ocupación de ambas poblaciones de gránulos opuesta a la previamente descrita.

Los polímeros de amilosa y amilopectina, presentes en la harina de trigo, y la proporción entre ellos, ejercen diferentes efectos sobre las masas, modificando su capacidad de absorción de agua, sus propiedades viscoelásticas, etc.; a la vez que impactan de manera significativa sobre las propiedades de textura y envejecimiento de los productos elaborados con harina. El contenido de amilosa o la relación amilosa/amilopectina varía entre diferentes trigos, pero los niveles típicos se encuentran entre 25–28 % para amilosa y entre 72–75% para amilopectina (Buleón y Colonna, 1998).

El contenido de amilosa presentó un importante rango de valores entre los distintos cultivares de trigo para los 6 ambientes de cosecha, oscilando entre un 17,57% y un 36,47% (Tabla 3.5). Si bien el valor normal de amilosa en trigos varía entre 25-28%, en bibliografía se encontró un amplio rango. Raeker *et al.* (1998), quienes trabajaron con 12 cultivares de trigo blando, informaron un rango de 26,7–28,8% en el contenido de amilosa. Kohyama *et al.*(2004) encontraron valores de amilosa entre 28,1 y 32,2% al estudiar 4 cultivares de trigos primaverales. Por su parte Blazek y Copeland (2008) encontraron rangos de valores muy amplios, entre 35% y 43%, para 35 variedades de trigo duro australiano con diferentes contenidos de amilosa lo que se corresponde con valores entre normales y altos. Hung *et al.* (2006) informan un valor de 25,6% para un trigo con contenido de amilosa normal, y valores de entre 28,0% y 36,9% para trigos altos en amilosa.

El genotipo fue la fuente más importante de variabilidad encontrada (41%) seguida por la interacción genotipo*ambiente (36%), aunque también se encontraron diferencias significativas entre los 6 ambientes en estudio (Tabla 3.4). Diferentes autores concuerdan con los resultados expresados en este trabajo. Morris *et al.* (1997) y Zeng *et al.* (1997) encontraron que tanto el ambiente como el genotipo contribuyen al contenido de amilosa en el grano de trigo. Geera *et al.*(2006) trabajaron con un total de 6 genotipos de trigo cultivados en dos localidades durante dos años, y encontraron que el contenido de amilosa solo se vió afectado por el genotipo. Rosicka-Kaczmarek *et al.* (2013) propusieron que el ambiente tiene cierto grado de influencia en el contenido de amilosa debido a su habilidad de regular la actividad de las enzimas durante la biosíntesis del almidón. Nhan y Copeland (2014) estudiaron 5 variedades de trigo duro Australianos cultivados en 9 ambientes diferentes y encontraron que el genotipo y la interacción genotipo*ambiente fueron los mayores responsables de la variabilidad encontrada en el contenido de amilosa aunque diferencias entre ambientes también fueran descriptas.

Si bien el ambiente no fue el principal responsable de la variabilidad, se encontraron diferencias significativas entre ellos. Los trigos pertenecientes al ambiente B-2009 presentaron el contenido más bajo de amilosa mientras que en MJ-2009 y R-2010 el contenido de amilosa fue el más elevado (Tabla 3.5). En MJ-2009 se registraron altas temperaturas durante el período de llenado de grano. Shi *et al.* (1994) encontraron que trigos duros expuestos a altas temperaturas en el período de llenado de grano mostraban un mayor contenido de amilosa y un aumento en la longitud de las cadenas de amilosa. Hurkman *et al.* (2003) y Labuschagne *et al.* (2009) reportaron que el contenido de amilosa se incrementaba en aquellos trigos expuestos a altas temperaturas durante el llenado de grano. Sin embargo, en el ambiente R-2010 no se registraron altas temperaturas durante el llenado de grano por lo cual el elevado contenido de amilosa no se puede explicar por esta condición ambiental en particular. Cabe recordar que la contribución de la interacción genotipo*ambiente a la varianza total fue considerable demostrando que no hay un solo factor que afecte el contenido total de amilosa en los trigos estudiados.

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de amilosa en los 24 cultivares en estudio. Klein Capricornio, Biointa 3004, ACA 320, Klein Chaja fueron algunos de los cultivares con el menor contenido de amilosa (25,84-26,98%) mientras que LE 2330, LE 2331, ACA 303, Biointa 1006 presentaron altos valores de amilosa superando el 30%.

Con el objetivo de evaluar la variabilidad en el contenido de amilosa entre las muestras en función de los ambientes, se realizó un Análisis de Componentes Principales. En la Figura 3.5 se muestra el gráfico Biplot obtenido en el análisis de componentes principales. Cada punto del gráfico corresponde a un genotipo, mientras que los rayos representan a cada uno de los ambientes evaluados. Entre ambos ejes se pudo explicar el 64,7% de la variabilidad encontrada entre los distintos genotipos. La Componente Principal 1 separa los ambientes R-2010, B-2009, MJ-2009 de los ambientes MJ-2010, B-2010 y R-2009 lo que representa el 35,7% de la variabilidad de las muestras. Por su parte la Componente Principal 2 separa a los ambientes en función del año de cosecha explicando el 29% de la variabilidad total. En el gráfico se observa una gran dispersión, lo que indica una importante variabilidad en el contenido de amilosa entre los diferentes genotipos en los 6 ambientes en estudio. Un grupo de 6 cultivares, entre ellos Klein Leon, Baguette Premiun 11, Klein Yarara presentaron un alto contenido de amilosa en R-2009 mientras que Buck Meteroro presentó altos valores de amilosa en MJ-2009 y valores muy bajos en B-2010. El contenido de amilosa para ACA 320 fue alto tanto en B-2009 como MJ-2009. Con respecto a los ambientes pertenecientes al año 2010, Klein Chaja y Klein Tauro fueron los cultivares con mayor contenido de amilosa en R-2010 mientras que un gran número de cultivares, entre ellos Biointa 1006, Klein Tigre, Klein Capricornio, Klein Zorro, registraron altos valores de amilosa en B-2010 y R-2010. Evidenciando de esta manera que la variabilidad en el contenido de amilosa dependerá de la interacción genotipo*ambiente.

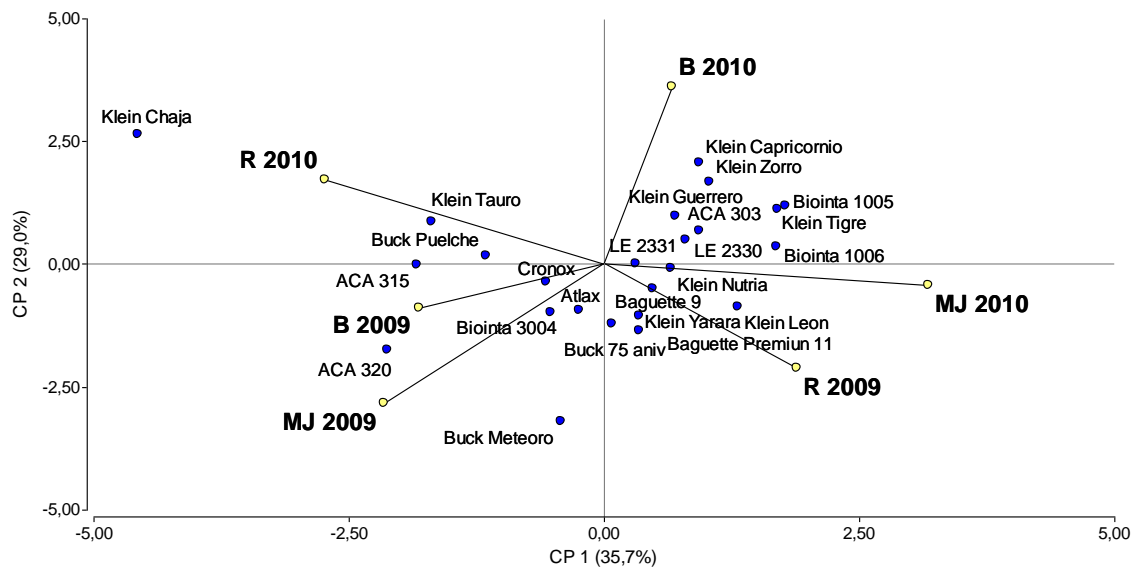


Figura 3.5. Biplot del análisis de Componentes Principales de los trigos. Los puntos representan a los 24 genotipos y los rayos a los distintos ambientes.

CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

Los cambios que se producen cuando el almidón de trigo es calentado en presencia de agua son responsables de muchas de las características sensoriales encontradas en los productos elaborados a partir de trigo.

Cuando el almidón es calentado en presencia de suficiente cantidad de agua, los gránulos de almidón se hinchan y su organización cristalina se pierde para dar lugar a regiones amorfas (Atwell *et al.*, 1988). Este desorden molecular se conoce como gelatinización y conduce a la pérdida de la estructura cristalina del almidón, que al implicar una transición térmica, puede ser estudiada mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) (Rolee y LeMeste, 1999; Biliaderis, 1990). Almidones de diferentes especies o cultivares poseen diferentes propiedades de gelatinización debido a efectos ambientales (Tester y Karkalas, 2001; Morrison, 1993). La temperatura durante la

maduración del cultivo es uno de los factores que afectan las propiedades del almidón (Matsuki *et al.*, 2003; Tester *et al.*, 1995; Shi *et al.*, 1994).

En la Figura 3.6 se muestra una endoterma típica de almidón de trigo, donde se observa un pico alrededor de 65 °C correspondiente a la gelatinización del almidón (ΔH) que implica un proceso endotérmico, donde el área bajo la curva corresponde a la cantidad de energía que se necesita para que este cambio ocurra. Los parámetros T_o , T_p y T_c representan las temperaturas de inicio, pico y fin de la gelatinización respectivamente.

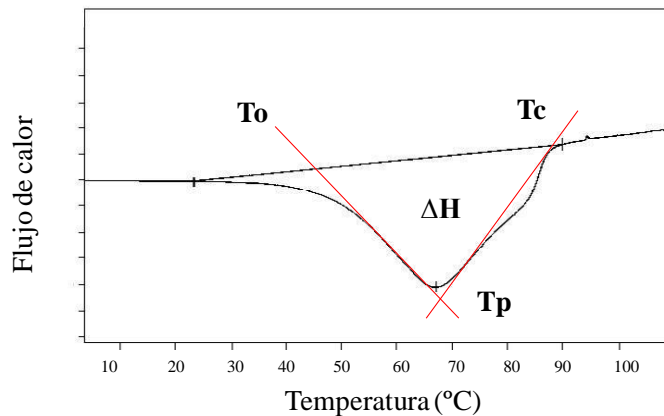


Figura 3.6. Termograma típico de una harina de trigo obtenido por calorimetría diferencial de barrido. El área bajo la curva corresponde a la entalpía de gelatinización del almidón (ΔH) y los puntos T_o , T_p y T_c a las temperaturas de inicio, pico y fin de la gelatinización.

Con el fin de evaluar las propiedades térmicas del almidón de los trigos, se realizó una calorimetría diferencial de barrido (DSC) a partir de las harinas refinadas. Los rangos de valores obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados se informan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de la calorimetría diferencial de barrido y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total (DSC)^a.

	To (C°)	Tc (C°)	Tp (C°)	ΔPico (°C)	ΔH (J/g)
Media±DE	60,07±1,67	72,22±2,48	65,67±1,81	12,15±1,35	2,26±0,44
Mínimo	56,06	62,81	61,17	5,45	1,01
Máximo	63,36	76,96	69,68	15,86	3,45
VA	61,68	71,11	61,90	43,39	38,61
VG	18,80	7,52	13,44	8,34	0,01
VA*G	19,52	21,37	24,65	48,27	61,38

^aTemperatura de inicio (To), de pico (Tp), ancho del pico (Δpico) y entalpía de gelatinización (ΔH).^aVA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo. DE: Desvío Estandar.

Se encontraron diferencias significativas entre los cultivares y los ambientes en todos los parámetros ($p < 0,0001$) correspondientes a la gelatinización del almidón excepto para ΔH donde no se encontraron diferencias entre los 24 cultivares analizados.

Existen diversas teorías respecto a los fenómenos que ocurren durante la gelatinización del almidón. Cooke y Gidley (1992) consideran que lo primero que ocurre es la fusión de las hélices de amilopectina, y que el grado de orden a este nivel es el responsable de la entalpía de gelatinización. Por su parte Zobel (1992) sugiere que el pico de gelatinización medido por DSC es un reflejo de dos fenómenos que ocurren paralelamente, la fusión de los cristales y las hélices respectivamente. A su vez, la cristalinidad del almidón depende de la relación de amilosa-amilopectina y del largo de las cadenas de amilopectina (Pérez *et al.*, 2009). Ciertamente, la transición entálpica que implica la gelatinización del almidón representa numerosos cambios que ocurren de manera simultánea, por lo que las diferencias encontradas en los distintos parámetros de DSC pueden ser atribuidas a distintas características del almidón, así como al contenido total.

Singh *et al.* (2009) reportaron valores de T_o , T_p , T_c y entalpia similares a los de este trabajo al evaluar 24 variedades Indias de trigo al igual que Addo *et al.* (2001) quienes estudiaron una harina de trigo comercial con alto contenido de gluten.

El ambiente fue el mayor contribuyente a la varianza en todos los parámetros analizados por DSC excepto para el ancho de pico y la entalpia de gelatinización donde el mayor responsable de la variación fue la interacción genotipo*ambiente seguida por el genotipo, resultados que concuerdan con los encontrados por Matsuki *et al.* (2003) al estudiar 4 variedades de trigo. En la bibliografía prácticamente no se encontraron trabajos donde se compare el efecto del genotipo, ambiente y su interacción.

Los trigos provenientes de B-2009 presentaron los menores valores de T_o , T_c , T_p y ancho de pico mientras que los valores de ΔH fueron los más elevados. Los trigos del ambiente MJ-2010 presentaron los mayores valores para T_o , T_c y T_p y los menores valores para ΔH (Tabla 3.7). Matsuki *et al.* (2003) reportaron un gran efecto de la temperatura ambiental en el contenido de almidón, la estructura de la amilopectina y las propiedades de gelatinización del almidón de trigo. Las diferencias encontradas en los valores de T_o pueden deberse a diferentes grados de cristalinidad o diferencias estructurales en los gránulos de almidón (Shi *et al.*, 1994). Los gránulos de almidón presentan capas alternadas de regiones cristalinas y amorfas y la región cristalina consiste principalmente de amilopectina empacada formando una doble hélice. Debido a que la ΔH refleja la pérdida de la estructura de doble hélice de la molécula de amilopectina (Cooke y Gidley, 1992), altos valores de ΔH en trigo expuestos a altas temperatura durante el llenado de grano se pueden deber a la presencia de una estructura cristalina más estable formada por hélices más largas con mayor proporción de cadenas ramificadas de amilopectina (Matsuki *et al.*, 2003). De esta manera, los gránulos de almidón presentan una mayor estabilidad estructural haciéndolos más resistentes a la gelatinización (Barichello *et al.*, 1990). Los mayores valores de ΔH se registraron en trigos provenientes de los ambientes B-2009, MJ-2009 y R-2010 indicando que dichos trigos poseen mayor grado de cristalinidad de almidón. Matsuki *et al.* (2003) encontraron una relación entre altos valores de ΔH y altas

temperaturas durante el período de llenado de grano al evaluar 4 cultivares de trigo. Solo el ambiente MJ-2009 registró altas temperaturas en dicho período de maduración, mientras que las temperaturas registradas en B-2009 y R-2010 estuvieron dentro de la media histórica para cada ambiente, demostrando que la temperatura en el período de llenado de grano no es el único factor que afecta la ΔH . Otros factores como fecha de siembra, cosecha y condiciones ambientales como sequía, radiación solar, entre otras pueden afectar las propiedades de gelatinización de los trigos tal como lo describieron Tester y Karkahas (2001) y Sriroth *et al.* (1999). Por otra parte, cabe recordar que la mayor fuente de variación en los valores encontrados para ΔH fue la interacción genotipo*ambiente por lo cual ninguno de estos dos factores por separado pueden explicar de manera completa la variación encontrada. El ancho de pico refleja la uniformidad entre las regiones cristalinas del almidón. Cuando los cristales de amilopectina son más uniformes esta diferencia es más pequeña. Los trigos de los 3 ambientes del año 2009 presentaron valores más bajos de ancho de pico en comparación con los ambientes de 2010. Sin embargo, como dijimos anteriormente, el mayor responsable en la variabilidad encontrada para este parámetro fue el genotipo y el ambiente se encontró en segundo lugar.

Tabla 3.7. Valores promedio de los parámetros de DSC en los 6 ambientes en estudio.^{a,b}

Ambientes	To (C°)	Tc (C°)	Tp (C°)	ΔPico (C°)	ΔH (J/g)
B-2009	58,55a	63,85a	69,79a	11,25a	2,49c
MJ-2009	60,25c	65,90c	71,98c	11,72a	2,38c
R-2009	59,14b	64,96b	70,64b	11,50a	2,22b
B-2010	60,79d	66,68d	73,67d	12,88b	2,28b
MJ-2010	61,08e	66,44d	73,73d	12,65b	1,80a
R-2010	60,61d	66,17c	73,51d	12,90b	2,36c

^aTemperatura de inicio (To), de pico (Tp), ancho del pico (Δ pico) y entalpía (ΔH) de la gelatinización

^bLetras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En cuanto a los cultivares, se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros de DSC analizados ($p < 0,0001$) excepto para ΔH . Entre los cultivares que presentaron mayores valores de To, Tc y Tp encontramos a Buck 75 Aniversario, Klein

Chaja, Klein Yarara, Bointa 1005, Klein Zorro mientras que Klein Nutria, Baguette 9, Cronox, Atlax fueron los que registraron menores valores de las 3 temperaturas. Las variaciones de valores para T_0 entre los 24 cultivares puede deberse a diferencias en la longitud de las cadenas de amilopectina. Cadenas de amilopectina más largas requieren mayor cantidad de temperatura para disociarse completamente que la temperatura requerida para hélices más cortas (Yamin *et al.*, 1999). A su vez, diversos factores higroscópicos como pentosanos o proteínas compiten con el almidón por el agua modificando de esta manera a T_0 . El cultivar LE 2331 fue el que presentó el mayor valor de ancho de pico diferenciándose significativamente del resto de los 23 cultivares.

PERFIL DE VISCOSIDAD

Las propiedades de *pasting* de las harinas de trigos se encuentran gobernadas por su principal constituyente, el almidón. Los cambios de viscosidad que sufre una mezcla de harina y agua durante ciclos de calentamiento y enfriamiento se relacionan con la gelatinización y la retrogradación del almidón. Dichos cambios afectan las propiedades de muchos procesos en la industria alimentaria. Almidones con diferentes propiedades de *pasting* son de gran interés para el procesamiento de los alimentos debido al potencial de modificar la textura y calidad de los productos finales. Las propiedades de *pasting* del almidón están determinadas no solo por el genotipo, sino también por las condiciones ambientales durante el crecimiento del cultivo (Dang y Copeland, 2004; Geera *et al.*, 2006). Se ha demostrado que las condiciones ambientales tienen un impacto significativo en el hinchamiento y las propiedades de *pasting* de la harina de trigo (Dengate y Meredith, 1984; Geera *et al.*, 2006).

El RVA (Rapid Visco Analyser) es un instrumento efectivo que permite analizar el comportamiento de una pasta formada por harina y agua en un ciclo de enfriamiento/calentamiento, registrando la viscosidad de la solución. Los gránulos de almidón presentes en la harina comienzan a absorber agua al comienzo del ciclo. A una

determinada temperatura comienza la gelatinización del almidón, con el consiguiente incremento de la viscosidad de la pasta. Sin embargo, los gránulos comienzan a romperse, por lo que una vez alcanzado un máximo de viscosidad esta tiende a disminuir. Cuando la pasta vuelve a enfriarse el almidón se reorganiza, y como consecuencia de este fenómeno, llamado retrogradación, la viscosidad vuelve a incrementar (Gómez *et al.*, 2007).

Cada uno de los parámetros medidos por el equipo puede asociarse a diferentes características o propiedades de las harinas. La **temperatura de *pasting*** es la que se registra cuando comienza a incrementarse la viscosidad, y provee información sobre la mínima temperatura requerida para cocinar el almidón de una determinada muestra. La **viscosidad máxima**, la máxima viscosidad alcanzada durante el calentamiento, es un indicador de la capacidad del almidón de ligar agua. La **estabilidad**, la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad de caída, es una medida de la resistencia de los gránulos de almidón de la muestra a la temperatura y la tensión de cizalla. La **viscosidad de caída**, el menor valor de viscosidad antes de que comience la retrogradación, es una medida de la estabilidad de la muestra. Durante el enfriamiento de la pasta de harina (o almidón) y agua, ocurre una re-asociación entre las moléculas de almidón, especialmente de la amilosa, resultando en un incremento de la viscosidad. Esta fase denominada **setback** (diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída), es comúnmente relacionada con la retrogradación o re-asociación de la amilosa. Por último, la **viscosidad final**, es la viscosidad alcanzada luego del enfriamiento y representa la capacidad del material para formar una pasta o gel viscoso después del calentamiento y enfriamiento (Singh *et al.*, 2010).

En la Tabla 3.8 se muestran los resultados promedios de las muestras analizadas, obtenidos a partir del análisis de perfil de viscosidad.

Tabla 3.8. Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros de *pasting* medidos por RVA y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total^a.

	Viscosidad máxima (cP)	Viscosidad de caída (cP)	Estabilidad	Viscosidad final (cP)	Setback	Temperatura de pasting (°C)
Media±DE	2863,17±423,51	1783,99±284,12	1077,95±271,68	3224,38±416,48	1441,1±176,86	69,46±6,51
Mínimo	925	248	521	633	385	65,15
Máximo	3651	2353	1628	4008	1754	87,2
VA	7,88	5,84	21,70	10,82	9,04	52,27
VG	75,62	74,33	64,97	62,81	61,21	23,30
VA*G	16,49	19,82	13,34	26,37	29,75	24,43

^aVA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo; DE: Desvío Estándar.

Se observó un importante rango de valores respecto a las propiedades de *pasting* de las harinas entre los diferentes genotipos de trigo y los 6 ambientes de cosecha.

Se encontraron diferencias significativas para todos los parámetros de RVA entre los cultivares, ambientes e interacción genotipo*ambiente. Sin embargo, el mayor responsable de la variabilidad encontrada fue claramente el genotipo para todos los parámetros, excepto para la temperatura de *pasting* donde el ambiente tuvo un aporte mayor en dicha variación. Graybosch *et al.* (2003) estudiaron 22 líneas de trigo waxy en 8 localidades y encontraron que la mayor variación para los parámetros de RVA se debió al genotipo, mientras que en las diferentes localidades los valores se mantuvieron prácticamente constantes. Yong *et al.* (2004) evaluaron 39 variedades de trigo cultivadas en 10 localidades de China y encontraron que la contribución del genotipo a la varianza total fue mayor que la contribución realizada por el ambiente.

Diversos autores han informado sobre el impacto que tienen las condiciones ambientales durante el desarrollo del grano en las propiedades de *pasting* de las harinas (Singh *et al.*, 2010; Morris *et al.*, 1997; Dengate y Meredith, 1984). Las condiciones ambientales adversas (altas temperaturas y sequía) durante la antesis y el llenado del grano han sido identificadas como una gran limitante de la calidad del trigo a nivel mundial,

afectando la síntesis de proteínas y de almidón (Jiang *et al.*, 2009; Triboi *et al.*, 2003) y como consecuencia las propiedades de los mismos.

Los trigos pertenecientes al ambiente B-2009 presentaron los valores más elevados de viscosidad máxima y estabilidad (Tabla 3.9). Estos parámetros están relacionados con el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento. Una mayor capacidad de hinchamiento permite alcanzar una mayor viscosidad máxima siendo más sensibles a la fuerza de cizalla con el incremento de la temperatura (Fu *et al.*, 2008). Tanto en MJ-2009 como B-2010 los valores de setback obtenidos fueron significativamente los mayores indicando que la amilosa de los trigos de dichos ambientes poseen una mayor tendencia a retrogradar (Fu *et al.*, 2008). Los trigos de R-2010 presentaron bajos valores para todos los parámetros excepto para la temperatura de *pasting*. Tanto en MJ-2009 como R-2010 los valores encontrados de temperatura de *pasting* fueron los más elevados indicando que los trigos provenientes de estos ambientes requieren más temperatura para cocinar el almidón. En B-2009, donde se registró estrés hídrico luego de la floración, los trigos registraron los valores más bajos de temperatura de *pasting*. La presencia de cadenas cortas con menos de 10 grados de polimerización disminuye la estabilidad de las moléculas doble hélice de amilopectina disminuyendo la temperatura de *pasting* (Gidley y Bulpin, 1987). Por lo tanto, puede existir una relación entre las condiciones ambientales y el grado de polimerización de las cadenas de amilopectina en el trigo.

Tabla 3.9. Valores promedio de los parámetros de *pasting* en los 6 ambientes en estudio medidos por RVA.^a

Ambientes	Viscosidad máxima (cP)	Viscosidad de caída (cP)	Estabilidad	Viscosidad final (cP)	Setback	Temperatura de pasting (°C)
B-2009	3104,63c	1791,50b	1315,17c	3221,25b	1432,79b	66,19a
MJ-2009	2818,50b	1884,33c	934,67a	3371,58c	1489,13c	73,54c
R-2009	2848,83b	1779,29b	1059,58b	3200,88b	1420,92b	67,13a
B-2010	2899,58b	1841,92c	1057,67b	3343,29c	1501,38c	66,85a
MJ-2010	2775,25a	1748,58b	1026,67b	3184,42b	1435,83b	69,56b
R-2010	2732,25a	1655,19a	1073,96b	3024,83a	1366,54a	73,51c

^aLetras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Con el objetivo de conocer la relación existente entre los parámetros que caracterizan al almidón y evaluar las asociaciones existentes entre ellos, se realizó un análisis de correlación de Pearson's, el cual se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Coeficientes de correlación de viscosidad de pico (VP), viscosidad de caída (VC), estabilidad (E), viscosidad final (VF), setback (SB), temperatura de *pasting* (TP), diámetro de gránulos A (Ø A), diámetro de gránulos B (Ø B), porcentaje de volumen que ocupan los gránulos A (q A), porcentaje de volumen que ocupan los gránulos B (q B), contenido de amilosa (AM), temperatura de inicio (To), temperatura final (Tc), temperatura de pico (Tp), ancho de pico (AP), entalpia de gelatinización (ΔH) .

	VP	VC	E	VF	SB	TP	Ø B	ØA	q A	q B	AM	To	Tc	Tp	AP	ΔH
VP	1															
VC	0,77**	1														
E	0,75**	ns	1													
VF	0,62**	0,94**	ns	1												
SB	0,22**	0,61**	-0,29**	0,84**	1											
TP	-0,26**	ns	-0,36**	ns	ns	Ns										
ØB	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	1									
ØA	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	0,51**	1								
q A	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	-0,44**	ns	1							
q B	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	0,43**	ns	ns	1						
AM	-0,19*	ns	-0,18*	ns	ns	0,22*	ns	ns	ns	ns	1					
To	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	-0,21**	ns	ns	ns	ns	1				
Tc	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	-0,23*	0,23*	ns	0,86**	1			
Tp	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,88**	0,77**	1		
AP	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	-0,33**	0,33**	ns	0,34**	0,77**	0,33**	1	
ΔH	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,38**	-0,33**	-0,37**	-	1

*, **, Indican diferencias significativas a $p < 0,05$ y $p < 0,001$ respectivamente; ns, no significativo.

El contenido de amilosa presentó una correlación negativa con el pico de viscosidad y la estabilidad. Los incrementos en el contenido de amilosa se encuentran generalmente asociados a una disminución en el pico de viscosidad (Loney y Meredith, 1974; Zeng *et al.*, 1997). Hung *et al.* (2007) informaron que los trigos con alto contenido de amilosa tienen menores picos de viscosidad, estabilidad y viscosidad final. Por su parte, Morita *et al.* (2002) encontraron que los almidones de trigo waxy gelatinizan más rápidamente y alcanzan mayores picos de viscosidad que los de trigos normales. Van Hung *et al.* (2008) reportaron que los almidones de trigo altos en amilosa presentaron menores picos de viscosidad que los almidones normales. Blazek y Copeland (2008) encontraron al estudiar 38 variedades de trigo pan (*T. aestivum*) correlación negativa entre el contenido total de amilosa y la viscosidad de pico (r: -0,45) y estabilidad (r: -0,57) en harina de trigo. Yuryev *et al.* (2004) propusieron que un incremento en el contenido de amilosa lleva a una disminución de la temperatura de gelatinización de los gránulos de almidón al disociarse la estructura granular cristalina causando un descenso en la viscosidad de pico medida por el RVA. Teniendo en cuenta que la amilopectina es la principal responsable del hinchamiento de los gránulos de almidón (Tester y Morrison, 1990), los trigos con mayor contenido de amilosa van a presentar un menor grado de hinchamiento y como consecuencia una menor viscosidad y estabilidad.

A pesar de que la cristalinidad del almidón depende de la relación de amilosa-amilopectina y del largo de las cadenas de amilopectina, no se encontró ninguna correlación significativa entre el contenido de amilosa y las propiedades térmicas medidas por DSC lo cual coincide con los resultados obtenidos por Singh *et al.* (2009) en 24 variedades de trigos provenientes de India. Esto puede deberse al hecho de estar estudiando 24 cultivares de trigo en 6 ambientes con condiciones climáticas y características muy diferentes, por lo que muchos de estos trigos presentaron un comportamiento del almidón contrastante en los distintos ambientes. Además, cabe recordar que el responsable de la variabilidad registrada entre los valores de amilosa fue el genotipo mientras que para los parámetros de DSC fue el ambiente. Hecho que puede estar interfiriendo en la correlación de ambos parámetros.

Existe una correlación negativa entre el porcentaje de volumen ocupado por los gránulos A y el ancho de pico y T_c y como es de esperar, la correlación entre el porcentaje de volumen ocupado por los gránulos B y dichas variables es positiva. De acuerdo a estos resultados, los trigos que presentan diferente composición de gránulos A y B poseen diferentes propiedades de gelatinización indicando que pueden utilizarse en diversas aplicaciones tanto alimenticias como no alimenticias (Chiotelli y Le Meste, 2002). To mostró una correlación positiva con el porcentaje de volumen de gránulos B, lo cual indica que a mayor proporción de gránulos B, mayor será la temperatura de inicio de la gelatinización.

Los parámetros medidos con el RVA correlacionaron entre sí: se encontró una correlación negativa entre temperatura de *pasting* y la viscosidad máxima tal como lo describieron Singh *et al.* (2009) y Blazek y Copeland (2008). El setback correlacionó positivamente con la viscosidad máxima, la viscosidad final y la viscosidad de caída, resultados que concuerdan con los obtenidos por Singh *et al.* (2009).

CONCLUSIONES

Se registró una gran variabilidad en los valores de tamaño y distribución de los gránulos de almidón entre los diferentes genotipos y ambientes en estudio. Claramente las condiciones ambientales en el período de llenado de granos influyeron en los diámetros de los gránulos de almidón. Los trigos pertenecientes a MJ-2009 registraron tamaños más pequeños de gránulos A y B en comparación con los restantes ambientes. El contenido de amilosa varió entre 17,57% y 36,47% y la gran variabilidad se adjudicó principalmente al genotipo.

Con excepción de ΔH , se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros evaluados mediante DSC entre los 24 cultivares y los 6 ambientes. El mayor

contribuyente a la varianza registrada en los parámetros analizados fue el ambiente, con excepción de ΔH y ancho de pico, demostrando que las condiciones de cosecha, entre ellas la temperatura ambiental y sequía, afectan las propiedades de gelatinización del almidón. En cuanto a los parámetros evaluados mediante RVA se encontraron diferencias significativas y el genotipo fue el responsable de la variabilidad registrada.

MINERALES EN HARINA INTEGRAL Y HARINA BLANCA

Los seres humanos requieren al menos de 49 nutrientes para satisfacer sus necesidades básicas. Entre ellos podemos citar: agua, carbohidratos, aminoácidos (lisina, triptófano, histidina, entre otros), lípidos, macroelementos (Na, K, C, Mg entre otros), microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn, entre otros) y vitaminas (A, D, E, K, entre otras). Un consumo inadecuado de incluso uno de dichos nutrientes puede resultar en problemas metabólicos que pueden conducir a una amplia variedad de enfermedades, un pobre estado de salud y problemas en el desarrollo en niños (Welch y Graham, 2004).

La deficiencia de minerales, particularmente de Zn y Fe afecta a más de 3 billones de personas alrededor del mundo, especialmente niños y mujeres (Guzmán *et al.*, 2014; Welch y Graham, 2004), resultando en una disminución del estado de salud, provocando anemia, incrementando los índices de mortalidad, entre otros (Peleg *et al.*, 2008; Demment *et al.*, 2003; Hotz y Brown, 2004). En el trigo los minerales se localizan, principalmente, en las capas externas del grano, aunque una pequeña cantidad está presente en el endosperma (Eagling *et al.*, 2014a; Oury *et al.*, 2006).

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

Debido a este consumo creciente de harinas integrales y la importancia de los minerales para la salud es de relevancia conocer la variabilidad genética tanto del contenido como de la distribución de minerales en las distintas partes del grano y como se ven afectados por las condiciones ambientales. Esta información permitirá conocer los genotipos y las condiciones ambientales que generan granos con mayor contenido de los minerales de interés.

Se determinó el contenido de minerales en harina integral y harina blanca de 11 cultivares de trigo cosechados en 6 ambientes. Se evaluó la contribución del genotipo, el ambiente y la interacción a la varianza total. Si bien se analizaron todos los minerales previamente descritos en el capítulo 2, se pondrá más énfasis en el Zn y Fe por ser dos elementos cuyas deficiencias conllevan graves deterioros en la salud humana.

CONTENIDO DE MINERALES EN HARINA INTEGRAL

En la Tabla 3.11 se presentan los resultados del contenido de minerales en harina integral y la contribución del ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.

Se determinó el contenido de los siguientes 18 minerales en los 11 cultivares de los 6 ambientes en estudio: Zn, Cu, Mn, Fe, Ba, K, Ca, Pb, Li, Mg, Co, Ni, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, As. El contenido de Pb, Li, Co, Se, Mo, Cd y As se encontró por debajo del límite de detección del equipo por lo cual no se pudieron cuantificar. Los minerales más abundantes en harina integral fueron el K, Mg y Ca mientras que los minerales que presentaron una gran dispersión entre las muestras de estudio fueron el Ni y Rb. Tanto los 11 cultivares como los 6 ambientes en estudio y la interacción genotipo*ambiente presentaron diferencias significativas para el contenido de los 11 minerales ($p < 0,001$).

Las variaciones encontradas entre las muestras no se debieron a un mismo factor para los 11 minerales. El ambiente fue el mayor contribuyente a la variabilidad encontrada para las concentraciones de la mayoría de los minerales (Zn, Mn, Fe, Ba, K, Ca, Mg, Rb y Sr) explicando entre el 39,8 y 94,6% de la misma mientras que la fuente de variación más importante para el Cu fue el genotipo (55,43%). La interacción genotipo*ambiente tuvo un aporte significativo a la variabilidad encontrada en los valores de Ni, aunque también representó un porcentaje considerable para Fe, K y Mg. Morgounov *et al.* (2007) quienes estudiaron 66 líneas de trigo cosechadas en 5 localidades de Asia Central, encontraron que en algunas localidades el ambiente fue el mayor responsable de la variación en los valores de Fe y Zn, aunque la interacción genotipo*ambiente tuvo un porcentaje de contribución a la varianza considerable para ambos minerales. Ficco *et al.* (2009) determinaron, luego de haber estudiado 84 líneas de trigo duro Italianas en 4 ambientes distintos, que el ambiente fue el mayor responsable en la variación encontrada en Mn y K mientras que para otros minerales tales como Fe, Zn, Cu, Mg y Ca la interacción genotipo*ambiente fue la principal responsable. Gómez-Becerra *et al.* (2010) concluyeron luego de evaluar 9 variedades de trigo emmer (*Triticum dicoccum*) en 5 ambientes, que el factor ambiente fue la fuente más importante de variación del K, Ca, Fe, Mn y Zn explicando entre el 44 y 78% de la varianza total, mientras que la interacción genotipo*ambiente fue alta para el K y Fe (explicando 20-41%) y el genotipo fue el mayor responsable de la variación en el contenido de Cu (38%). Velu *et al.* (2016) encontraron que la mayor fuente de variación en el contenido de Fe y Zn fue el ambiente en 54 variedades de trigo pan en 5 condiciones ambientales diferentes.

Debido a que las deficiencias de Zn y Fe son dos de las más importantes, dichos minerales se analizaron detalladamente. El contenido promedio de Zn en las muestras analizadas fue de 16,38 mg/Kg mientras que la concentración promedio de Fe fue de 25,17 mg/Kg (Tabla 3.11). Variaciones en el contenido de Zn y Fe en harina integral de cultivares de trigo han sido reportadas previamente. Por ejemplo, un estudio de 150 cultivares de trigo pan de 4 continentes distintos presentó concentraciones de Zn y Fe que variaron entre 13,5-34,5 mg/Kg y 29-51 mg/Kg respectivamente (Zhao *et al.*, 2009). Otros estudios han encontrado una variación más amplia: análisis de líneas cultivadas en Francia mostraron variación entre 19 y 58 mg/Kg y entre 14 y 35 mg/Kg para Fe y Zn respectivamente (Oury *et al.*, 2006). Bouis *et al.* (2011) evaluaron 130 cultivares y encontraron concentraciones de Zn y Fe en un rango comprendido entre 13-35 mg/Kg y 28-51 mg/Kg respectivamente mientras que diversos genotipos de trigo pan cultivados en Argentina presentaron valores promedio de Zn entre 20 y 30 mg/Kg (Podio *et al.*, 2013).

En la Tabla 3.12 se observa el contenido promedio de los 11 minerales en los 6 ambientes en estudio para harina integral. Claramente se aprecia que el contenido de minerales no siguió el mismo comportamiento en los 6 ambientes, demostrando que las condiciones ambientales afectaron a la acumulación de minerales en los diferentes genotipos de trigo. Los trigos pertenecientes a MJ-2009 presentaron altas concentraciones de Zn, Cu, Mn, Ba, K, Ca, Mg, y Sr. Contrariamente, los trigos de MJ-2010 registraron los menores valores de Cu, K, Mg, Ni y Rb. Esto puede deberse a que las temperaturas registrada en MJ-2009 antes de la floración fueron más altas que en el 2010 lo cual contribuye a un mejor desarrollo del embrión, lugar donde reside una gran proporción de microelementos. Las concentraciones más bajas de Fe y Zn se manifestaron en los trigos de R-2010, mientras que los valores más altos se encontraron en los trigos de R-2009. Además de las máximas temperaturas antes de la floración, la humedad relativa y las precipitaciones luego de la floración, determinan la concentración de Fe en el grano de trigo. La concentración de Zn, por otro lado, es influenciada por las precipitaciones previo a la floración y las mínimas temperaturas antes y después de la floración (Joshi *et al.*, 2010).

Tabla 3.11. Valores medios, mínimos y máximos de los diferentes minerales en harina integral (mg/Kg) y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total.

	Zn	Cu	Mn	Fe	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
Media±DE	16,38±4,37	2,63±0,78	33,82±8,13	25,17±6,78	6,79±2,51	3133,14±456,69	302,32±66,4	887,31±162,05	0,83±0,5	4,05±3,5	3,1±1,28
Mínimo	7,52	1,04	15,84	12,88	2,27	1891,38	197,35	544,2	0,01	0,98	1,26
Máximo	38,37	6,26	60,15	40,32	13,69	4502,88	669,04	1563,3	33,59	16,28	7,51
VA	64,09	32,99	56,80	44,27	76,00	39,80	53,30	76,82	8,76	96,46	79,10
VG	15,72	55,43	37,92	25,90	21,14	33,38	26,37	5,93	17,49	1,70	19,78
VA*G	20,19	11,58	5,28	29,83	2,86	26,81	20,33	17,25	73,76	1,84	1,12

^aVA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo. DE: Desvío Estándar.

Tabla 3.12. Valores promedio de los diferentes minerales en harina integral (mg/Kg) en los 6 ambientes en estudio^a

	Zn	Cu	Mn	Fe	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
B-2009	17,45c	2,52b	25,31a	27,98c	4,64a	3157,55c	280,72b	953,84b	0,20a	2,50c	2,32a
MJ-2009	18,6d	3,20e	44,75f	21,94a	8,72d	3512,62d	359,79f	1086,49c	0,64a	1,48b	5,63f
R-2009	18,10d	2,67c	29,96b	27,66c	4,99b	3125,59c	307,43d	952,54b	0,41a	1,80e	2,68d
B-2010	17,19c	2,53b	35,27d	24,64b	6,43c	3013,07b	267,02a	789,50a	1,94b	1,59b	2,54c
MJ-2010	13,85b	2,15a	37,38e	24,65b	6,41c	2796,58a	324,16e	802,53a	0,20a	1,19a	3,56e
R-2010	12,71a	2,80d	31,12c	21,06a	9,57e	3181,52c	293,60c	785,47a	0,27a	5,51d	2,41b

^aLetras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

CONTENIDO DE MINERALES EN HARINA BLANCA

Los mismos 11 minerales se determinaron en harina blanca obtenida de los 11 cultivares cosechados en los 6 ambientes en estudio. Los resultados se muestran en la Tabla 3.13.

Se encontraron diferencias significativas para todos los elementos estudiados tanto entre cultivares como entre los ambientes y su interacción ($p < 0,001$). Los minerales más abundantes, al igual que en harina integral, fueron el K, Mg y Ca mientras que los minerales que presentaron una gran dispersión entre las muestras de estudio fueron el Ni, Cu y Fe. Los valores promedio de los minerales analizados concuerdan con lo encontrados por Tang *et al.* (2008).

La contribución a la varianza total del genotipo, el ambiente y la interacción entre ambos factores en harina blanca fue diferente a la observada para harina integral. El ambiente fue la fuente más importante de variación para Zn, Mn, Fe, Ba, Rb y Sr mientras que el genotipo fue el mayor contribuyente a la variabilidad de Cu, K, Ca y Ni.

El contenido promedio de Zn en las muestras de harina blanca analizadas fue de 7,19 mg/Kg mientras que la concentración de Fe promedio fue de 9,67 mg/Kg. Resultados que coinciden con Eagling *et al.* (2014a) quienes determinaron en 6 variedades de trigo provenientes de localidades Europeas contenidos de Fe y Zn en harina blancas entre 5 y 15 mg/kg y 5 y 12 mg/Kg respectivamente. Tang *et al.* (2008) evaluaron el contenido de Zn y Fe en 43 trigos tipo pan en China y encontraron valores promedios en harina blanca de 7,2 y 6,9 mg/Kg respectivamente. Shi *et al.* (2010) encontraron valores promedio de 12,9 mg/Kg para Fe y de 11,2 mg/Kg para Zn en harina blanca de trigos invernales expuestos a diferentes tratamientos con nitrógeno.

En la Tabla 3.14 se detalla el contenido promedio de los 11 minerales en los 6 ambientes en estudio para harina blanca. Así como se describió en harina integral, en harina blanca el contenido de minerales no siguió el mismo comportamiento en los 6 ambientes demostrando que las condiciones ambientales también afectaron a la acumulación de minerales en el endosperma de los diferentes genotipos. Los trigos pertenecientes a MJ-2009 presentaron altas concentraciones de Zn, Cu, Mn, K, Ni, Mg, y Sr. Mientras que en el ambiente R-2010 se registraron los menores valores de Zn, Cu, Ca y Mg. Las concentraciones más bajas de Fe y Zn se manifestaron en los trigos de B-2010 y R-2010 respectivamente, mientras que los valores más altos de Fe y Zn se localizaron en R-2009 y B-2009 respectivamente.

Tabla 3.13. Valores medios, mínimos y máximos de los diferentes minerales en harina blanca (mg/Kg) y contribución (%) de ambiente, genotipo e interacción a la varianza total ^a.

	Zn	Cu	Mn	Fe	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
Media±DE	7,19±3,72	1,66±0,89	6,14±2,43	9,67±4,78	1,6±0,6	1012,19±173,8	147,01±36,23	202,21±49,7	0,29±±0,27	1,27±1,02	0,91±0,36
Minimo	2,06	0,24	2,7	1,12	0,52	703,71	43,67	107,57	0,02	0,27	0,46
Maximo	20,10	7,09	14,30	24,48	3,02	1468,63	328,49	400,77	1,51	5,39	1,99
VA	75,15	40,24	51,96	69,92	65,29	37,26	41,18	46,32	18,37	94,18	72,86
VG	22,81	50,92	44,46	27,15	27,77	42,87	50,80	43,97	73,47	4,99	23,79
VA*G	2,04	8,84	3,57	2,93	6,94	19,87	8,01	9,71	8,16	0,82	3,35

^aVA: Varianza Ambiental; VG: Varianza Genotípica; VA*G: Varianza ambiente*genotipo. DE: Desvío Estándar.

Tabla 3.14. Valores promedio de los diferentes minerales en harina blanca (mg/Kg) en los 6 ambientes en estudio ^a

	Zn	Cu	Mn	Fe	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
B-2009	10,36e	1,59c	4,75a	13,44d	1,15a	1061,76d	181,82e	222,85c	0,25c	0,66c	0,80c
MJ-2009	10,58e	2,37e	9,28e	12,57c	1,71c	1181,43e	141,58b	255,77d	0,37e	0,54b	1,49e
R-2009	8,42d	1,69d	4,62a	13,85e	1,10a	976,44b	152,94d	208,49b	0,15a	3,97e	0,71a
B-2010	6,02c	1,47b	6,17c	6,83a	1,64c	924,14a	141,84b	182,01a	0,34d	0,50b	0,80c
MJ-2010	4,52b	1,63c	6,74d	7,08b	1,56b	933,19a	147,22c	179,24a	0,17b	0,41a	0,97d
R-2010	4,02a	1,33a	5,74b	7,31b	2,43d	1014,26c	125,36a	178,93a	0,25c	1,19d	0,76b

^aLetras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05).

Se observó una correlación significativa y positiva entre el contenido de Fe y Zn tanto en harina integral ($r: 0,43; p<0,01$) como blanca ($r: 0,71; p<0,01$), lo cual concuerda con lo obtenido por diferentes autores. Un total de 66 cultivares de trigo originarios de Asia Central y cultivados en 5 sitios diferentes arrojaron una correlación positiva entre la concentraciones de Zn y Fe con coeficiente de correlación de 0,79 ($p<0,001$) (Morgounov *et al.*, 2007). Liu *et al.* (2014) encontraron, luego de analizar 320 cultivares de trigo cultivados en China por 3 años consecutivos, una correlación positiva entre el contenido de Zn y Fe en el grano de trigo ($r: 0,4; p<0,01$). La existencia de una correlación positiva entre ambos minerales se debe a que los alelos que determinan la deposición de Fe y Zn en el grano de trigo co-segregan y por lo tanto ambos minerales pueden ser mejorados de manera simultánea.

Hay evidencia de que la acumulación de minerales como Fe y Zn en el endosperma está altamente regulada y ocurre independientemente de la acumulación que se lleve a cabo en las capas externas del grano como el salvado. Por lo tanto, las concentraciones de los minerales en la harina blanca pueden no reflejar el contenido en la harina integral, la cual contiene mayor proporción de salvado, capa de aleurona y embrión (Eagling *et al.*, 2014a). Sin embargo, se encontró una correlación positiva para Zn ($r: 0,53$), Mn ($r: 0,51$), Fe ($r: 0,29$), K ($r: 0,38$) y Mg ($r: 0,39$) entre el contenido en el grano entero y el endosperma. Esta correlación indica que los cultivares con altos contenidos de Zn, Mn, Fe, K y Mg en el grano entero (salvado más endosperma) también presentaran concentraciones elevadas en la harina blanca. Esto puede deberse a que durante la molienda, y dependiendo del grado de extracción y de la dureza del grano, una pequeña fracción de las capas externas puede atravesar los tamices y contaminar a la harina refinada, incrementando el contenido de minerales y cenizas.

A su vez, al estudiar cada harina por separado, se encontró que existe correlación entre varios minerales. Por ejemplo, cuanto mayor era el contenido de Zn tanto en harina integral como en harina blanca, mayores fueron las concentraciones de Cu, Fe, K, N y Mg

en ambas harinas. A mayor contenido de Fe en harina blanca mayor contenido de Mg y Rb. Esto sugiere la existencia de factores genéticos comunes que controlan la acumulación de diferentes minerales y que la selección de uno de ellos (por ejemplo Fe) puede resultar en un aumento de otros elementos (por ejemplo Mg y Rb).

La concentración de los diferentes minerales no siguió el mismo patrón en harina integral que en harina blanca en todos los genotipos (Figura 3.7). Los cultivares que registraron los mayores contenidos de Zn tanto en harina integral como en harina blanca fueron Biointa 3004 y Klein Guerrero. En cambio, para el mineral Fe el cultivar Klein Guerrero registró el mayor contenido en ambas harinas. Las menores concentraciones de Zn y Fe se encontraron en el cultivar Baguette Premiun 11 en harina integral y en el cultivar Cronox en harina blanca.

Durante el desarrollo del grano de trigo los minerales se acumulan en las vacuolas de almacenamiento de proteínas las cuales son el depósito primario de diversos minerales como Fe, Zn, Mg, Mn, Ca y K en las células de aleurona y el embrión (Tanaka *et al.*, 1974). Diferentes variables del suelo y ambiente como pH, temperatura, radiación, precipitación, contenido de materia orgánica y la textura del suelo poseen el potencial de influenciar la concentración y solubilidad de los micronutrientes hacia las raíces de las plantas afectando así la deposición de minerales en cada fracción del grano de trigo (Joshi *et al.*, 2010; Cakmak, 2008).

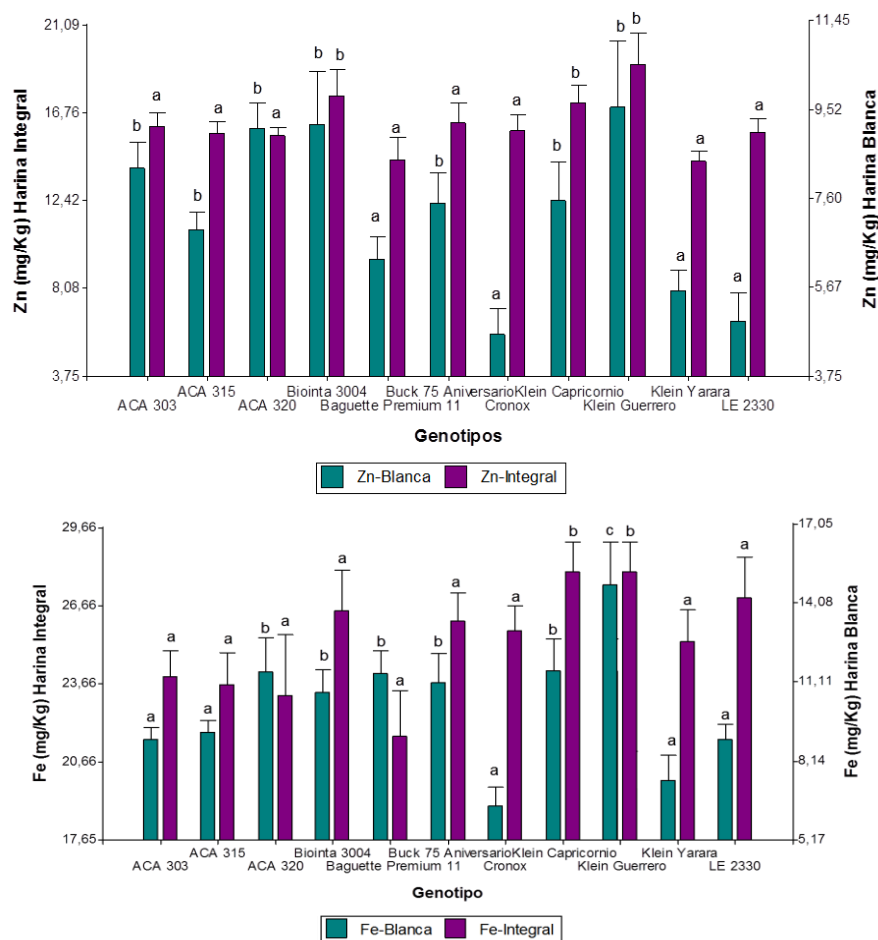
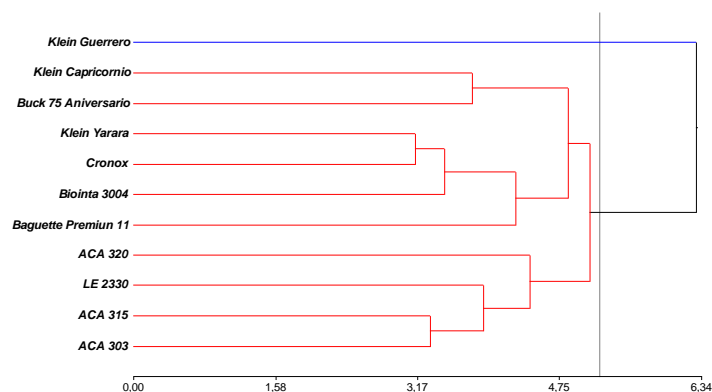


Figura 3.7. Contenido de Fe y Zn (mg/Kg) de los 11 cultivares en harina blanca e integral. Letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares para cada harina analizada ($p < 0,05$).

Con el objetivo de evaluar las diferencias en las concentraciones de minerales de los diferentes genotipos, tanto en harina integral como harina blanca, se realizó un análisis de conglomerados utilizando como variables los minerales analizados y al genotipo como criterio de clasificación. Para el análisis se eligió el método de agrupamiento promedio y la distancia Euclídea. El número de grupos se fijó arbitrariamente en dos, utilizando como criterio de corte el 50 % de la distancia máxima. Ambos dendrogramas se muestran en la Figura 3.8.

A partir de los conglomerados obtenidos se realizó un análisis de la varianza con el objetivo de analizar las diferencias entre los grupos, utilizando los conglomerados como variable de clasificación para cada harina analizada. En la Tabla 3.15 se muestran los valores de las variables que mostraron diferencias significativas entre los conglomerados de harina integral (A) y harina blanca (B).

A



B

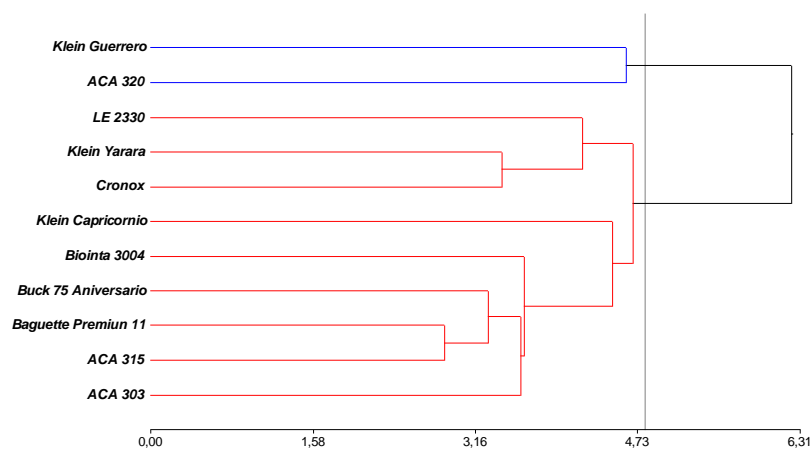


Figura 3.8. Dendrograma. A: *Harina Integral*. Conglomerado 1, n=1; Conglomerado 2, n=10. B: *Harina Blanca*. Conglomerado 1, n=2; Conglomerado 2, n=9.

Tabla 3.15. Análisis de la varianza de los conglomerados en harina integral (A) y blanca (B) ^a

A	Zn	Cu	Fe	Mn	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
1	19,12 b	1,79 a	25,06 b	35,10 a	6,83 a	3222,85 b	294,22 a	854,74 a	5,17 b	4,39 a	3,02 a
2	15,91 a	2,73 b	19,64 a	33,67 a	6,48 a	3122,27 a	303,30 a	891,25 a	0,31 a	4,01 a	3,11 a

^a Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Conglomerado 1: Klein Guerrero

Conglomerado 2: Klein Capricornio, Buck 75 Aniversario, Klein Yarara, Cronox, Biointa 3004, Baguette Premiun 11, ACA 320, LE 2330, ACA 315, ACA 303.

B	Zn	Cu	Fe	Mn	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr
1	9,4 b	1,77 a	13,23 b	8,63 b	1,97 b	1149,25 b	175,18 b	250,57 b	0,30 a	1,28 a	1,22 b
2	6,76 a	1,64 a	9,60 a	5,65 a	1,53 a	985,23 a	141,47 a	192,70 a	0,29 a	1,27 a	0,85 a

^a Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Conglomerado 1: Klein Guerrero, ACA 320.

Conglomerado 2: LE 2330, Klein Yarara, Cronox, Klein Capricornio, Biointa 3004, Buck 75 aniversario, Baguette Premiun 11, ACA 315, ACA 303.

El primer dendrograma corresponde a los resultados de harina integral (A). El conglomerado 1 solo está compuesto por el cultivar Klein Guerrero quien registró las concentraciones más elevadas de Fe, Zn, K y Ni. No se encontraron diferencias significativas entre ambos conglomerados para el Mn, Ba, Ca, Mg, Rb y Sr. El conglomerado 2 esta compuesto por la mayoría de los cultivares (Klein Capricornio, Buck 75 Aniversario, Klein Yarara, Cronox, Biointa 3004, Baguette Premiun 11, ACA 320, LE 2330, ACA 315, ACA 303) quienes presentaron los valores más altos de Cu y Fe.

En harina blanca (B) el conglomerado 1 solo agrupó a los genotipos Klein Guerrero y ACA 320 que registraron los mayores contenidos de Zn, Fe, Mn, Ba, K, Ca, Mg y Sr. El conglomerado 2 agrupó a la mayoría de los cultivares (LE 2330, Klein Yarara, Cronox, Klein Capricornio, Biointa 3004, Buck 75 aniversario, Baguette Premiun 11, ACA 315, ACA 303) quienes presentaron los menores contenidos de todos los minerales excepto de Cu, Ni y Rb donde no se encontraron diferencias significativas entre ambos conglomerados.

El cultivar Klein Guerrero se destaca al presentar mayor contenido de Fe y Zn en ambas harinas. ACA 320 es el cultivar cuya concentración de Zn y Fe siguió el mismo patrón tanto en harina integral como harina blanca: presentó bajo contenido de Zn y alto contenido de Fe. De esta manera se pone en evidencia que no todos los cultivares presentan el mismo patrón de deposición de minerales en sus distintos tejidos.

EFFECTO DE LA MOLIENDA EN EL CONTENIDO DE MINERALES

Como era de esperar la molienda redujo significativamente las concentraciones de todos los elementos ($p < 0,05$) con valores de pérdida entre 36,8% para el Cu y 81,5% para el Mn. La retención de elementos en harina blanca luego de la molienda presentó el siguiente orden: Cu>Ni>Ca>Zn>Fe>Rb>K>Sr>Ba>Mg>Mn. Revelando de esta manera, que los minerales en el grano de trigo están concentrados principalmente en la capa de aleurona y en el embrión, con bajo contenido en el endosperma (Mazzolini *et al.*, 1985). Los elementos que presentaron mayores pérdidas en los trigos evaluados luego de la molienda fueron Mn (81,60%), Mg (76,98%) y Ba (76,08%) indicando que dichos minerales están presentes en una muy alta concentración en las capas externas del grano. Resultados similares fueron reportados por De Brier *et al.* (2015) quienes detectaron que el Ca y Zn se concentraban en mayor medida en el endosperma mientras que las concentraciones de otros elementos como Mn y Fe en el endosperma eran muy bajas. Brinch-Pedersen *et al.* (2007) determinaron que la pérdida de Fe y Zn era de alrededor del 50% con una mayor tendencia de pérdida para el Fe que el Zn indicando una localización más periférica del Fe. Cubada *et al.* (2009) quienes analizaron 3 muestras de trigo duro, concluyeron que la molienda redujo significativamente las concentraciones de todos los elementos y que el mayor contenido de Mg y Zn se encontró en el salvado, mostrando valores de pérdida luego de la molienda del 70 y 50% respectivamente. La distribución de minerales dentro del grano depende de la absorción por parte de las raíces durante el desarrollo del mismo y de la redistribución de minerales desde la semilla hacia los tejidos

vegetativos vía floema. Dicha remobilización vía floema depende en mayor parte de la movilidad propia de cada elemento por el floema (White y Broadley, 2005).

En la Figura 3.9 se representó mediante gráficos de estrella la pérdida promedio de minerales de los 11 cultivares en cada ambiente. El largo de cada rayo representa el porcentaje de pérdida luego de la molienda. De modo general, observamos que los 6 ambientes presentan geometrías de las estrellas distintas, atribuyendo este fenómeno a una pérdida desigual de minerales entre cada ambiente. Los trigos de B-2009 presentaron la menor pérdida promedio de minerales (58,18%) mientras que los trigos de B-2010 sufrieron el mayor descenso (68,56%) en el contenido de minerales luego de la molienda. En el caso de Fe y Zn, la menor pérdida la registraron los trigos pertenecientes a MJ-2009 (43,39%) y B-2009 (40,635%) respectivamente mientras que la mayor pérdida correspondió a los trigos de MJ-2010 (70,43%) y R-2010 (69,65%).

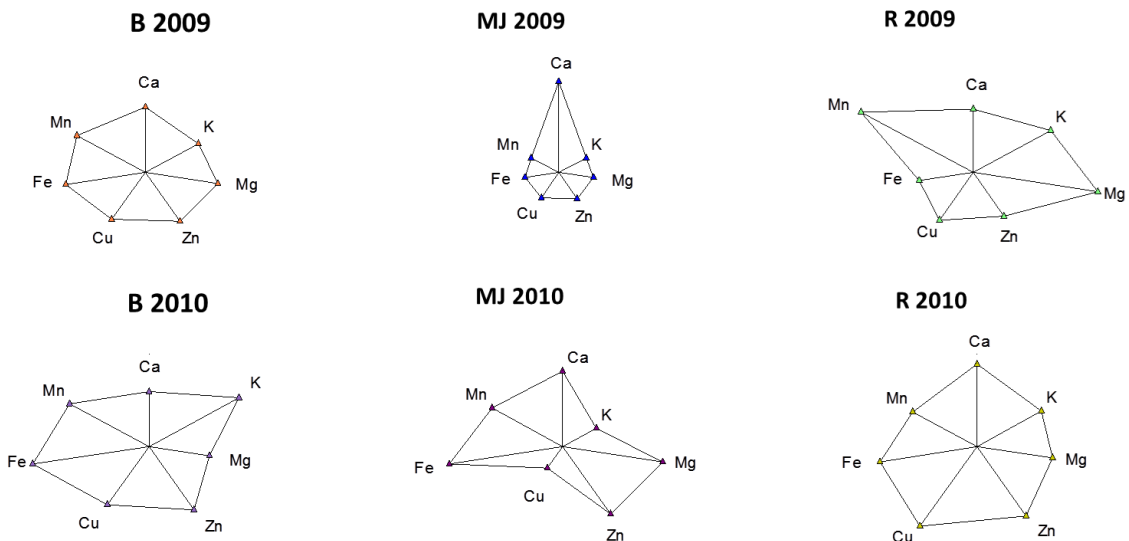


Figura 3.9. Gráfico de estrellas de la pérdida promedio de minerales (Ca, K, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn) en cada ambiente.

El cultivar que mayor contenido promedio de minerales perdió luego de la molienda fue LE 2330 (68,10%) mientras que Klein Guerrero fue el menos afectado por la molienda al perder solo un 55,68% de elementos (Tabla 3.16). En el caso de Zn, los cultivares que mayor y menor porcentaje de pérdida presentaron fueron Cronox (70,57%) y ACA 320 (41,29%) respectivamente. Cronox (74,91%) y Klein Guerrero (24,24%) fueron los cultivares que registraron la mayor y menor pérdida, respectivamente, de Fe. Es evidente que bajo el mismo sistema de molienda no todos los cultivares presentaron el mismo porcentaje de pérdida y que la variabilidad de la misma fue importante entre los cultivares demostrando que cada genotipo acumula los minerales en las distintas fracciones del grano de manera diferencial (Lyons *et al.*, 2005) y que el tamaño de la semilla, la textura (Cubbada *et al.*, 2009) y el rendimiento influirán en el contenido final de minerales tal como lo describieron Cakmak *et al.*(2004) al evaluar 825 cultivares de trigo emmer.

Tabla 3.16. Pérdida promedio de minerales (%) luego de la molienda en los 11 cultivares

	Zn	Cu	Mn	Fe	Ba	K	Ca	Mg	Ni	Rb	Sr	Promedio
ACA 303	48,35	50,00	78,61	62,41	77,92	65,29	54,62	72,91	29,63	60,86	68,85	60,86
ACA 315	55,87	38,34	83,52	60,83	79,07	71,32	54,52	77,98	33,33	70,19	71,55	63,32
ACA 320	41,29	40,33	77,54	50,11	71,58	68,75	50,94	74,48	10,53	80,03	64,25	57,26
BP 11	56,17	46,91	80,98	46,72	78,78	67,80	42,62	78,93	63,27	58,81	71,85	62,98
Biointa 3004	47,39	36,96	83,23	59,30	76,38	64,34	52,68	77,10	22,45	69,98	73,26	60,28
Buck 75 aniv	53,63	47,86	81,84	57,19	74,38	64,99	45,81	75,03	40,00	35,10	70,40	58,75
Cronox	70,57	45,25	84,34	74,91	73,68	66,48	44,30	79,94	29,03	65,83	70,90	64,11
K Capricornio	55,99	5,80	85,60	58,49	75,40	69,24	59,91	76,85	62,86	56,92	75,17	62,02
K Guerrero	49,58	3,91	72,14	24,24	71,76	62,78	35,91	69,93	92,65	68,34	61,26	55,68
K Yarara	60,92	37,21	82,12	70,51	81,00	69,36	62,59	79,43	50,00	79,89	73,29	67,85
LE 2330	68,57	52,76	87,66	66,60	76,88	70,65	54,21	84,16	40,00	75,14	72,43	68,10

BP 11: Baguette Premiun 11; Buck 75 aniv: Buck 75 aniversario; K Capricornio: Klein Capricornio; K Guerrero: Klein Guerrero; K Yarara: Klein Yarara.

La mayoría de los productos de trigo consumidos en Argentina tal cual se detalló previamente, son a base de harina blanca, que consiste principalmente en endosperma, mientras que las capas de aleurona, embrión y las capas externas del grano (pericarpio y testa) son descartadas. Sin embargo, como ya hemos expresado, el contenido de nutrientes en harina blanca es menor y existen además otros factores a tener en cuenta como el pobre contenido de micronutrientes en los actuales cultivares de trigo (Murphy *et al.*, 2008). Un gran número de reportes demuestran que los cultivares de trigo salvajes y primitivos contenían mayor cantidad de Zn y Fe (Cakmak *et al.*, 2004; Distelfeld *et al.*, 2007). Fan *et al.* (2008) demostraron la tendencia decreciente en las concentraciones de elementos como Zn, Cu, Fe y Mg en los granos de trigo desde 1960 a la fecha y lo atribuyen a un efecto de “dilución” debido al incremento en los rendimientos del cultivo. Es por los factores previamente detallados, que debemos considerar técnicas que permitan modificar el proceso de molienda para recuperar la capa de aleurona o hacer un mejor uso del salvado en la nutrición humana.

LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MINERALES

Con el objetivo de visualizar la localización de los minerales entre las distintas fracciones del grano, se analizaron granos cortados transversalmente a través de un microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (FE-SEM). No se pudieron obtener imágenes de la distribución de Zn y Fe debido a los bajos contenidos presentes en el grano y al límite de detección del equipo. Sin embargo, la localización y distribución tisular de otros minerales nutricionalmente importantes como Mg, K, P y Ca tanto en el salvado, aleurona, embrión como endosperma fue llevada a cabo. El Mg cumple un rol importante en el sistema nervioso, la función muscular y la dureza de los huesos (Stipanuk y Caudill, 2012), mientras que el K es un mineral que, entre diversas funciones, interviene en la transmisión nerviosa, participa en la contracción muscular, colabora en la permeabilidad de membranas (Haas, 2000). Los beneficios del Ca son conocidos ya que

participa en el desarrollo de los huesos, previene y trata diversas enfermedades del sistema óseo como osteoporosis, entre otras (Stipanuk y Caudill, 2012). El P por su parte cumple diversas funciones en el metabolismo al actuar junto con el Ca en la formación de huesos, en la producción de energía en forma de ATP y en la conformación de membranas celulares (fosfolípidos) (Xue-ke *et al.*, 2016). Las concentraciones más elevadas de Mg, K y P se encontraron en los tejidos externos como salvado y embrión (Figura 3.10) mientras que bajas concentraciones estuvieron presentes en la fracción del endosperma. El Ca se localizó predominantemente en los tejidos del salvado, poco en el embrión, aunque su distribución diferencial no fue tan pronunciada como el resto de los minerales. Resultados similares fueron encontrados por De Brier *et al.* (2015). El ácido fítico en los granos de trigo se encuentra principalmente en las capas de aleurona y permanece unido al pericarpio durante la molienda por lo cual su máxima concentración está en el salvado (Tang *et al.*, 2008). La mayoría de Fe y Zn y otros elementos bivalentes en los granos de trigos están unidos al ácido fítico formando sales insolubles responsables de la baja biodisponibilidad de dichos elementos (Eagling *et al.*, 2014b).

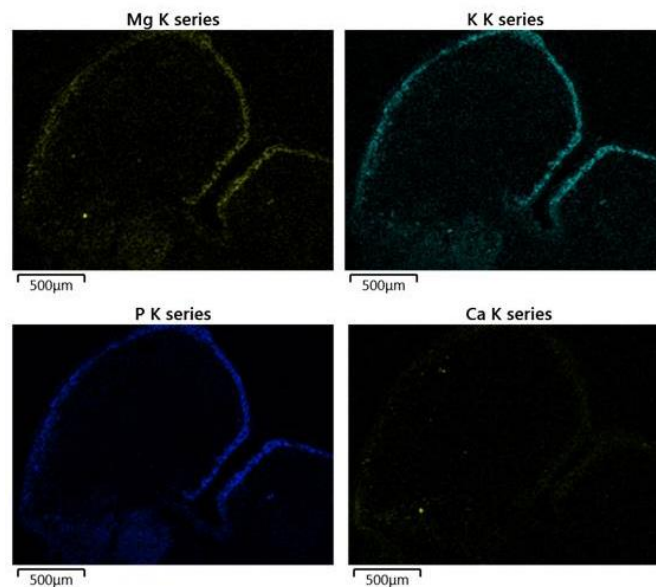


Figura 3.10. Distribución de Mg, K, P y Ca en las distintas fracciones del grano de trigo.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias significativas tanto para el contenido de minerales en harina integral como harina blanca entre los 11 cultivares y los 6 ambientes en estudio. Los minerales más abundantes en harina integral fueron el K, Mg y Ca. El contenido promedio de Zn en las muestras analizadas fue de 16,38 mg/Kg mientras que la concentración promedio de Fe fue de 25,17 mg/Kg. Las variaciones encontradas entre las muestras no se debieron a un mismo factor para los 11 minerales demostrando que las condiciones ambientales afectaron a la acumulación de minerales en los diferentes genotipos de trigo. Al igual que en la harina integral, los minerales más abundantes en harina blanca fueron el K, Mg y Ca mientras que el contenido promedio de Zn fue de 7,19 mg/Kg y el de Fe fue de 9,67 mg/Kg. Se observó una correlación significativa y positiva entre el contenido de Fe y Zn tanto en harina integral ($r: 0,43; p < 0,01$) como blanca ($r: 0,71; p < 0,01$). La molienda para la obtención de harina blanca redujo significativamente las concentraciones de todos los elementos con valores de pérdida oscilando entre 36,8% y 81,5%.

CALIDAD TECNOLOGICAS DE PASTAS

En los últimos años ha crecido la tendencia de consumir alimentos con alto contenido de fibras debido a la importancia de este componente en la salud humana. El salvado de trigo es resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado con completa o parcial fermentación en el intestino grueso (Mongeau, 2003). El salvado de trigo, puede reducir el contenido calórico de los alimentos y contiene una significativa cantidad de fibra en forma de celulosa, pentosanos y lignina (Hemery *et al.*, 2007). Durante la molienda de los granos de trigo, tanto el salvado como el germen son descartados, eliminando así vitaminas, minerales, fibra, antioxidantes, tocoferoles y aceite que están presentes en dicha fracciones (Yun-hui *et al.*, 2006; Esposito *et al.*, 2005). Por lo tanto, elaborar pastas con harina integral incrementaría la calidad nutritiva de alimentos con beneficios saludables para el consumidor (Sissons y Fellows, 2014).

Teniendo en cuenta los resultados previamente descritos del contenido de minerales en harina integral, procedimos a elegir dos cultivares para la elaboración de pastas: Klein Guerrero y Baguette Premiun 11. Klein Guerrero se caracterizó por presentar un alto contenido de Zn y Fe mientras que el contenido de dichos minerales en el cultivar Baguette Premiun 11 fue uno de los menores. A partir de ambos cultivares se obtuvieron 3 tipos de harinas distintas: harina blanca, y dos tipos harinas integrales de distinta granulometría. De esta manera se obtuvieron 6 muestras de pasta tal como se lo describió en el capítulo 2. Cabe destacar que para la obtención de ambas harinas integrales no se descartó ningún componente del grano, estando constituidas por la misma proporción de capas externas, aleurona y germen que presentaba el grano intacto.

Los resultados se analizaron teniendo en cuenta por un lado los 3 tipos de harina utilizados para la elaboración de las pastas y por otro lado los dos genotipos utilizados en la elaboración de cada pasta.

CARACTERIZACIÓN DE HARINAS BLANCAS E INTEGRALES OBTENIDAS DE AMBOS GENOTIPOS

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE HARINAS

La distribución del tamaño de partícula de las harinas obtenidas mediante los diferentes métodos de molienda se muestran en la Figura 3.11, donde se pueden observar diferencias significativas en los 3 tipos de harina utilizados ($p < 0,05$). Las partículas correspondientes a la harina blanca (HB) presentaron el mayor porcentaje de retención en

el tamiz más pequeño ($\leq 125\mu\text{m}$). En el caso de las harinas integrales, la obtenida a partir del molino ciclónico (HIA), presentó la menor proporción de partículas retenidas en el tamiz de mayor tamaño de poro $500\mu\text{m}$ (9%) mientras que la mayor proporción se retuvo en el tamiz de $125\mu\text{m}$ (40,5%). Por el otro lado, la distribución de partículas de la harina integral molida en el molino de cuchillas (HIB) presentó el mayor número de partículas en el tamiz más grande (42,5%). El porcentaje de partículas de HIB retenido en los demás tamices fue muy similar entre sí. La distribución de tamaño de partículas en ambas harinas integrales fue muy distinta a pesar de que se trata de harinas de grano entero. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los dos cultivares para cada harina analizada demostrando de esta manera, que solo el tipo de molienda influye significativamente en las diferencias observadas en la distribución del tamaño de partícula de los 3 tipos de harina.

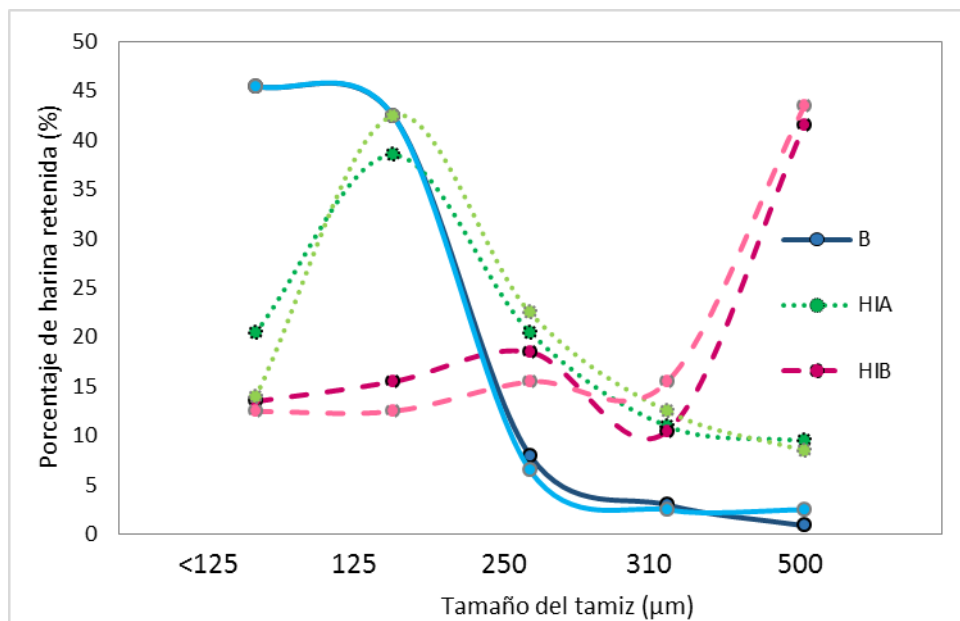


Figura 3.11. Distribución del tamaño de partículas de harina blanca (HB), y harinas integrales obtenidas mediante el molino ciclónico (HIA) y el molino de cuchillas (HIB) de dos genotipos: Baguette Premiun 11 (color claro) y Klein Guerrero (color oscuro).

COMPOSICION CENTESIMAL DE LAS HARINAS

En la Tabla 3.17 se presentan los valores de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos y gluten húmedo de las harinas blancas (HB) e integrales A (HIA) y B (HIB) de ambos cultivares: Klein Guerrero y Baguette Premiun 11.

Tabla 3.17. Contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, carbohidratos y gluten húmedo (GH) de harina blanca (HB) e integrales (HIA y HIB) obtenidas de los cultivares de trigo seleccionados^a

Muestra	Genotipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	GH
HB	Klein Guerrero	10,90 aA	0,55 aA	15,29 bA	1,07 aA	83,09 aB	34,57bB
	Baguette Premium 11	10,84 bA	0,55 aA	12,21 aA	1,35 aA	85,89 bB	27,15aB
HIA	Klein Guerrero	11,16 aA	1,72 bB	16,03 bA	2,65 bB	79,60 aA	24,87bA
	Baguette Premium 11	10,80 aA	1,54 aB	12,96 aA	1,52 aB	83,98 bA	21,31aA
HIB	Klein Guerrero	11,35 aA	1,64 aB	14,54 aA	2,12 aB	81,70 aA	19,96aA
	Baguette Premium 11	11,66 aA	1,59 aB	13,80 aA	1,76 aB	82,85 aA	21,89bA

^aLetras mayúsculas diferentes representan diferencias entre los 3 tipos de harina y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada tipo de harina ($p < 0,05$).

Todas las muestras presentaron valores de humedad entre 10,80% y 11,66% y de proteínas entre 12,21% y 16,03% en concordancia con los valores informados por Liu *et al.* (2015), sin diferencias significativas entre los 3 tipos de harina. Estos resultados están de acuerdo con lo expresado por Hatcher *et al.* (2002) quienes observaron que los diferentes métodos de molienda utilizados para producir harinas no afectaban al contenido de proteínas. En cambio, si comparamos los dos cultivares en cada uno de los 3 tipos de harina obtenidas, observamos que la HB y HIA provenientes de Klein Guerrero presentaron valores de proteínas más elevados que Baguette Premiun 11 ($p < 0,05$). El contenido de cenizas varió entre 0,55% y 1,72% mientras que los valores de lípidos estuvieron comprendidos entre 1,07% y 2,65%. Como era de esperar la harina blanca

presentó el menor contenido de cenizas y lípidos en comparación con ambas harinas integrales mientras que no se encontraron diferencias en dichos contenidos entre ambas harinas integrales (HIA, HIB). Las capas de salvado son muy ricas en cenizas (Kunerth y Youngs 1984; Pomeranz, 1988), por lo cual remover dicha fracción del grano de trigo para obtener harina blanca llevó a reducir su contenido. Resultados que coinciden con Liu *et al.*(2015) y Sobota *et al.* (2015) quienes evaluaron harinas integrales y blancas, y semolinas y harinas integrales de trigo duro, respectivamente. En cuanto al contenido de carbohidratos, la HB presentó mayores valores en comparación con ambas harinas integrales tal como fue reportado por Kaur *et al.* (2012). En relación al contenido de gluten húmedo, se encontraron diferencias significativas entre los 3 tipos de harinas obteniéndose valores más elevados para HB mientras que ambas harinas integrales no presentaron diferencias significativas. Esto puede deberse a que el salvado está compuesto principalmente por albumina y globulina las cuales presentan baja calidad panaria y a su vez, la presencia de salvado interrumpe la red de gluten debilitándolo e interfiriendo con la hidratación uniforme del material inhibiendo así, su correcta formación. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Sobota *et al.* (2015) quienes estudiaron el contenido de gluten en semolina y harina de trigo duro.

PARÁMETROS DE CALIDAD DE PASTAS EXTRUSADAS ELABORADAS CON HARINA BLANCA E INTEGRAL DE LOS CULTIVARES DE TRIGO SELECCIONADOS

Luego de la caracterización de las harinas blanca e integrales provenientes de dos tipos de molienda y de dos genotipos en particular, se evaluó la calidad tecnológica de las pastas extrusadas elaboradas a partir de dichas harinas con el objetivo de estudiar como el tamaño de partícula de cada harina afecta sus propiedades de cocción y digestibilidad.

Las pastas elaboradas con harina blanca (PB), y harina integral A (PIA) y B (PIB) provenientes de cada cultivar fueron evaluadas respecto a sus propiedades de cocción. El tiempo óptimo de cocción, absorción de agua, índice de hinchamiento y pérdidas por cocción se muestran en la Tabla 3.18.

Los **tiempos óptimos de cocción (TOC)** de las pastas analizadas estuvieron comprendidos entre 13 y 18 minutos. Las pastas elaboradas a partir de harina blanca presentaron mayores TOC que las pastas elaboradas a partir de ambos tipos de harina integral, indicando de esta manera, que la presencia de salvado genera modificaciones en la estructura de la pasta llevando a una disminución del TOC. Kaur *et al.* (2012) y Aravind *et al.* (2012) elaboraron pastas de semolina con agregado de salvado de trigo y encontraron una disminución en el TOC en las pastas con salvado. Aravind *et al.* (2012) adjudicaron dicho resultado a la reducción en el contenido de gluten por la sustitución de partículas de salvado que impiden un buen desarrollo de la matriz proteína-almidón. Por otra parte Manthey y Schorno (2002) y Kaur *et al.* (2012) asociaron la reducción en el TOC en las pastas integrales a la disrupción física del salvado y germen en la red de gluten proporcionando de esta manera, un camino más rápido para la absorción de agua reduciendo así su TOC. También se encontraron diferencias entre las pastas elaboradas a partir de ambas harinas integrales, siendo la PIA la que presentó TOC más bajo. Como se expresó anteriormente, la HIA era la que presentaba mayor contenido de partículas pequeñas e intermedias que presentan mayor superficie de interacción con el gluten lo cual podría generar mayores disrupciones en la pasta permitiendo la entrada más rápida del agua hacia el centro de la misma con el consiguiente menor TOC.

Los valores de **absorción de agua (AA)** ponen en evidencia cómo responde la pasta al proceso de cocción. Durante la cocción, el gluten, actúa como una esponja para el agua, abre su estructura y embebe los gránulos de almidón (Sozer *et al.*, 2007a). Los valores de absorción de agua estuvieron comprendidos entre 118,4–151,97% (Tabla 3.18).

Los mayores valores de absorción de agua se observaron en las PB (129,6-150,6%) ya que estas pastas presentan una distribución más uniforme de las partículas pequeñas, favoreciendo así el buen desarrollo de la matriz proteína-almidón, llevando a una mayor retención de agua y mejorando la calidad de la pasta.

Resultados que concuerdan con los mayores valores de TOC encontrados. Bonomi *et al.* (2012) estudiaron espaguetis Italianos de semolina de tres marcas diferentes y los valores de absorción de agua variaron entre 124 y 165%. Por otro lado, ambas pastas integrales presentaron valores inferiores de absorción de agua en comparación con las PB. Ramy *et al.* (2002) encontraron una disminución en la absorción de agua en pastas con el agregado de 20-40% de salvado y germen. Tanto Sozer *et al.* (2007b) al comparar espaguetis de semolina y espaguetis con presencia de salvado como Bagdi *et al.* (2014) al evaluar espaguetis de semolina con y sin el agregado de fracción rica en aleurona y espaguetis de harina integral, concluyeron que existe una disminución en la absorción de agua de pastas en presencia de un incremento de salvado y germen. Esto puede estar relacionado a la competencia entre el almidón y salvado por el agua y el incremento en el contenido de fibra (Brennan y Tudorica 2008; Sozer *et al.*, 2007a). En cuanto a ambas pastas integrales, las PIB presentaron valores de absorción de agua más elevados que PIA, lo cual puede relacionarse con el tamaño de partícula de cada harina utilizada. La PIB se elaboró con HIB la cual presentaba mayor cantidad de partículas grandes (Figura 3.11) que generan menor número de interrupciones en la matriz. Respecto a los cultivares utilizados, las PB elaboradas a partir de Baguette Premium 11 presentaron valores de absorción de agua más altos que las elaboradas con Klein Guerrero ($p < 0,05$). En cuanto a ambas pastas integrales, no se encontraron diferencias significativas en los valores de absorción de agua entre los genotipos utilizados para su elaboración.

Tabla 3.18. Parámetros de calidad tecnológica de las pastas blancas (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) obtenidas de los cultivares de trigo seleccionados^{a,b}

Muestra	Genotipo	TOC	AA	IH	PC
PB	Klein Guerrero	17	129,6 aB	1,77 aB	5,53 aA
	Baguette Premium 11	18	150,6 bB	2,05 bB	6,05 aA
PIA	Klein Guerrero	14	119,8 aA	1,64 aA	6,37 aA
	Baguette Premium 11	13	118,7 aA	1,63 aA	6,12 aA
PIB	Klein Guerrero	15	129,7 aB	1,75 aA	5,56 aA
	Baguette Premium 11	15	133,8 aB	1,76 aA	5,66 aA

^aLetras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de los 3 tipos harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

^bTOC: Tiempo Optimo de Cocción; AA: Absorción de agua; IH: Índice de hinchamiento; PC: Pérdida por cocción.

Los valores del **índice de hinchamiento** estuvieron comprendidos entre 1,63 y 2,05% (Tabla 3.18). El índice de hinchamiento de una pasta se encuentra fuertemente relacionado a la absorción de agua. En este caso se observó que las PB presentaron valores más elevados que las pastas integrales (PIA, PIB) en concordancia con los resultados de AA. Las PB absorben más cantidad de agua al mismo tiempo que evidencian una unión más fuerte entre el almidón y el agua en comparación con las pastas elaboradas a partir de harina integral (Sozer *et al.*, 2007a; Brennan y Tudorica 2008). Aravind *et al.* (2012) registraron una disminución en el índice de hinchamiento en pastas de semolina con agregado de salvado, adjudicando dicho resultados a la competencia por el agua entre el salvado y los gránulos de almidón. Kaur *et al.* (2012) también encontraron que el índice de hinchamiento disminuyó debido a la inclusión de germen y salvado en la pasta. Al igual que para los valores de absorción de agua, las PB elaboradas a partir de Baguette Premium 11 presentaron mayores valores de índice de hinchamiento que las elaboradas con Klein Guerrero. En cuanto a las pastas integrales, no se encontraron diferencias significativas ni por el tipo de molienda ni entre los genotipos utilizados para su elaboración.

La **pérdida de sólidos** durante la cocción de las pastas alimenticias es uno de los parámetros más importantes que afectan la aceptabilidad por parte del consumidor (Sissons

et al., 2005; Fu, 2008), por lo que resulta ser una herramienta muy utilizada para predecir el comportamiento general de la pasta durante la cocción. La pérdida por cocción, analizada como el peso del total de sólidos perdidos durante la cocción, varió entre 5,53 y 6,37%. Estos valores se encuentran dentro de los límites esperados (7-8%) para pastas elaboradas con trigo duro (Dick y Youngs, 1988). Martínez *et al.* (2007) al evaluar 4 marcas diferentes de espaguetis comerciales elaborados con harina blanca de trigo pan, encontraron valores similares a los del presente trabajo (4,5-6,4%). Los bajos valores de pérdida por cocción encontrados en las muestras de pasta de harina integral indican que son productos de calidad tecnológica aceptable. Es importante destacar que Edwards *et al.* (1995) y West *et al.* (2013) encontraron valores más elevados en pasta de harina integral: 7,8% y 7,1% respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre las muestras elaboradas con los distintos tipos de harina, ya sea blanca o integrales. Sin embargo, se observó una leve tendencia de aumento de pérdida por cocción en pastas integrales, lo cual puede deberse, en parte, a las interrupciones en la matriz de gluten por las partículas de germen y salvado junto con la presencia de componentes solubles en agua o al alto contenido de fibra (Sobota, *et al.*, 2015; West *et al.*, 2013; Manthey y Schorno, 2002). Sozer *et al.* (2007a) al evaluar espaguetis comerciales de harina integral teniendo como control espaguetis de 100% semolina, encontraron que la pérdida por cocción era mayor en espaguetis elaborados con semolina y salvado en comparación de semolina solamente adjudicando dicha pérdida a la formación de una débil red de proteínas por la presencia de salvado. Al igual que los resultados encontrados por Manthey y Schorno (2002), no se registraron diferencias significativas para la pérdida por cocción entre los dos genotipos utilizados en ningún caso.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA DE LAS PASTAS

Las preferencias de los consumidores en relación a las propiedades de textura de las pastas es muy variable; sin embargo, las pastas se encuentran íntimamente relacionadas a

la tradición italiana de una textura “al dente”, caracterizada por un alto grado de firmeza y elasticidad (Marchylo *et al.*, 2004). Asimismo, las características de textura de la pasta alimenticia juegan un rol esencial en la determinación de aceptabilidad global del producto por parte del consumidor.

Los parámetros de textura analizados fueron los siguientes:

1. **Firmeza:** fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada.
2. **Cohesividad:** medida en que un material puede deformarse antes de su ruptura.
3. **Adhesividad:** Trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de otro material que haya entrado en contacto con el alimento.
4. **Masticabilidad:** energía requerida para reducir el alimento a un estado listo para ser tragado.

Los resultados de textura obtenidos de las pastas elaboradas a partir de los 3 diferentes tipos de harinas y de dos genotipos de trigo se presentan en la Tabla 3.19.

Los valores de **firmeza** variaron entre 17,6 y 36,74 N y se encontraron diferencias significativas en las pastas elaboradas a partir de los 3 tipos de harina ($p < 0,05$). Es importante destacar que las pastas integrales (PIA y PIB) presentaron valores de firmeza superiores a las PB. Bagdi *et al.* (2014) y Sozer *et al.* (2007a) encontraron una relación directa entre el contenido de aleurona, salvado y germen incorporado a las pastas y la firmeza de las mismas mientras que Aravind *et al.* (2012) observaron un incremento en la firmeza de las pastas de semolina a medida que aumentaban la cantidad de salvado y germen incorporado en su formulación. Esto puede explicarse por la interacción entre lípidos no polares y el almidón. Algunos autores indicaron que los lípidos que provienen del germen reducen la disrupción de los gránulos de almidón cuando se unen a ellos (Matsuo *et al.*, 1986; Pascoe y Fulcher, 2007), lo que asegura un gel de almidón más firme

en la pasta, reduciendo así la liberación de amilosa y amilopectina (Edwards *et al.*, 1995). Las pastas elaboradas con harina integral obtenida con molino ciclónico, PIA, presentaron los mayores valores de firmeza ($p < 0,05$). Esto coincide con el hecho que la HIA utilizada para su elaboración presentó una mayor proporción de partículas de tamaño menor a 125 μm . En este sentido, Steglich *et al.* (2015) concluyeron que la firmeza en espaguetis cocidos era mayor en las muestras con tamaño de partículas de salvado más pequeñas al igual que Shiau *et al.* (2012) quienes encontraron mayores valores de firmeza en noodles elaborados con harinas cuyos tamaños de partículas de salvado eran más pequeños en comparación con tamaños de partículas más grande. Chen *et al.* (2011) y Niu *et al.* (2014) también encontraron mayores valores de firmeza y masticabilidad en noodles elaborados a partir de harina con tamaño de partículas pequeño. Estas observaciones indican que un gran número de partículas de harina pequeñas pueden estar homogéneamente distribuidas en la estructura de la pasta promoviendo el aumento de firmeza. Asimismo, diversos autores (Aravind *et al.*, 2012; Matsuo *et al.*, 1986) suponen que el alto contenido de lípidos presentes en las harinas integrales (Tabla 3.17) puede contribuir a la mayor firmeza de las pastas integrales al compararlas con PB. La teoría detrás de dicho fenómeno supone que el gran contenido de grasa disminuye la disrupción de los gránulos de almidón asegurando así, un gel de almidón más firme en la pasta. En cuanto a la utilización de harinas de diferente genotipos, no se encontraron diferencias significativas entre ellos en las PB o pastas integrales, excepto en las muestras PIA donde las elaboradas a partir de Baguette Premiun 11 tuvieron el valor máximo de firmeza. Estos resultados concuerdan con una mayor proporción de partículas pequeñas (menor a 125 μm) de la HIA Baguette Premiun 11 (20,5%) respecto a Klein Guerrero (14%) (Figura 3.11).

La **adhesividad** está relacionada con la cantidad de amilosa que se libera al agua de cocción (Martínez *et al.*, 2007). En este caso, los diferentes tipo de molienda estudiados permitieron obtener pastas cuyos valores de adhesividad variaron entre 0,00011 y 0,00054 J, sin diferencias significativas. Sin embargo, teniendo en cuenta el uso de diferentes genotipos, las pastas elaboradas con Baguette Premiun 11 mostraron una tendencia hacia valores mayores de adhesividad en concordancia con lo observado en los resultados de pérdida por cocción.

Tabla 3.19. Análisis de textura de las pastas blancas (PB) e integrales (PIA y PIB) de los genotipos seleccionados^a

Muestra	Genotipo	Firmeza (N)	Adhesividad (J)	Cohesividad	Masticabilidad
PB	Klein Guerrero	22,70 aA	0,00012 aA	0,54 aA	12,40 aA
	Baguette Premium 11	17,92 aA	0,00050 bA	0,52 aA	10,11 aA
PIA	Klein Guerrero	31,20 aC	0,00012 aA	0,51 aA	15,90 aB
	Baguette Premium 11	36,70 bC	0,00017 bA	0,49 aA	19,90 aB
PIB	Klein Guerrero	26,30 aB	0,00013 aA	0,51 aA	13,40 aA
	Baguette Premium 11	26,10 aB	0,00014 aA	0,50 aA	13,20 aA

^aLetras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de las 3 harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

La **cohesividad** puede ser un buen indicador de la capacidad de la pasta para mantenerse unida durante la cocción, observándose el siguiente rango de valores: 0,48-0,58, sin diferencias significativas ni respecto al tipo de harina utilizado en la elaboración de pastas ni entre los genotipos utilizados.

Los valores de **masticabilidad**, que están relacionados con la fuerza elástica de la matriz proteica, variaron entre 9,69 y 21,21 encontrándose los valores máximos para las muestras PIA en concordancia con los valores obtenidos de firmeza. No se observaron diferencias significativas por la utilización de harinas de diferentes genotipos en ninguna de las pastas analizadas.

ANÁLISIS DEL COLOR DE LAS PASTAS

El color de las pastas alimenticias es un factor importante en la calidad del producto que tiene una gran influencia para el consumidor ya que la percepción del color de las pastas alimenticias es la primera apreciación de calidad que tiene el consumidor. Una pasta alimenticia ideal debe ser brillante y tener un color amarillo intenso. Se evaluó el color utilizando la escala CIELab, a través de los parámetros L* (luminosidad), b* (tonalidad

amarilla) y a^* (tonalidad rojiza), siendo los primeros dos los más importantes en la evaluación de los atributos de color de la pasta. En general, a mayores valores de L^* y de b^* , más deseable es el producto (Rayas-Duarte *et al.*, 1996).

Los resultados del análisis de color de las pastas elaboradas con harina blanca e integrales de ambos genotipos se muestran en la Figura 3.12.

La luminosidad (L^*) varió entre 57,34 y 62,32 en PB; y entre 47,95 y 52,52 en ambos tipos de pastas integrales, mientras que la tonalidad amarilla (b^*) presentó valores entre 8,58 y 11,53 en PB y entre 11,84 y 14,23 en pastas integrales. La tonalidad rojiza mostró valores entre 1,93 y 2,55 en PB y entre 6,10 y 8,20 en pastas integrales. Las PB presentaron valores significativamente más altos de L^* y valores más bajos de a^* y b^* en comparación con las pastas integrales. El oscurecimiento de las pastas y el aumento de la tonalidad rojiza puede explicarse por la presencia de salvado. Varios autores (Aravind *et al.*, 2012; Sobota *et al.*, 2015; Chillo *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2011) establecieron que el aumento de salvado en las pastas genera un oscurecimiento y aumento del color rojo al compararlas con pastas elaboradas a partir de semolina.

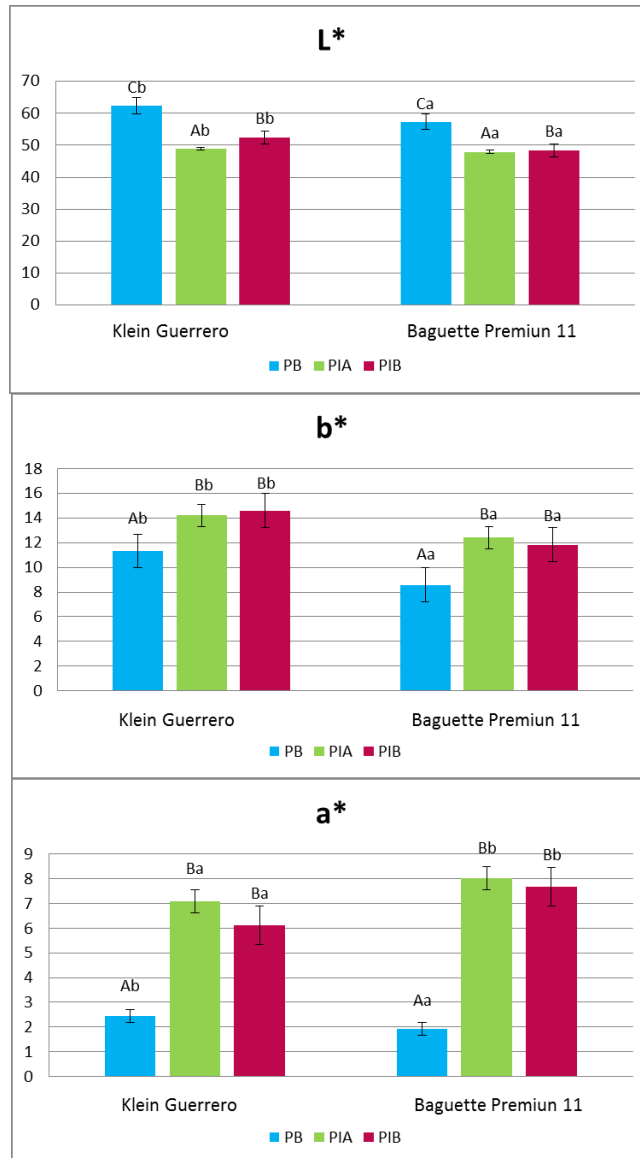


Figura 3.12. Parámetros L*, a* y b* en las pastas blancas (PB) e integrales (PIA y PIB) de los genotipos seleccionados. Letras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de las 3 harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

No se encontraron diferencias significativas entre ambos tipos de pastas integrales para los parámetros a* y b*. Pastas integrales elaboradas a partir de Klein Guerrero mostraron valores significativamente más altos de L* y b*, indicando la presencia de pastas más luminosas y con mayor intensidad de coloración amarilla, en comparación con las pastas elaboradas a partir de Baguette Premiun 11. Al no presentar diferencias en la

distribución de tamaño de partículas entre los genotipos en ambas harinas integrales (HIA, HIB), una posible explicación puede ser las características propias del genotipo.

ATRIBUTOS NUTRICIONALES DE LA PASTA COCIDA

La pasta es reconocida por poseer bajo contenido de sodio, ser una fuente de carbohidratos que se digieren lentamente (Giese, 1992). Además, posee bajo contenido de proteína y aminoácidos esenciales como lisina y treonina (Stephenson, 1983). Uno de los atributos nutricionales más relevantes es su moderado índice glicémico (Brennan y Tudorica, 2008; Chillo *et al.*, 2011) lo cual tiene mucha importancia en estos tiempos donde los niveles de incidencia de diabetes tipo II y obesidad son elevados (WHO, 2003; Brennan, 2005). Productos con alto contenido de fibra, como salvado, son usualmente ricos en minerales, vitaminas, fitoquímicos y compuestos biológicamente activos con beneficios para la salud los cuales se encuentran concentrados principalmente en el germen y salvado del grano (Jonnalagadda *et al.*, 2010; Patel, 2012; Esposito *et al.*, 2005; Aravind *et al.*, 2012).

CONTENIDO DE ALMIDÓN Y PROTEÍNAS DE LAS PASTAS BLANCAS E INTEGRALES

Los resultados del contenido de almidón total y resistente, y proteínas de las pastas elaboradas con harina blanca (PB) y harinas integrales obtenidas con molino ciclónico (PIA) y molino de cuchillas (PIB) de los genotipos Klein Guerrero y Baguette Premium 11 se muestran en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Contenido de almidón total, almidón resistente, y proteínas en pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos^a

Muestra	Genotipo	Almidón Total (g/100 g de pasta cocida en base seca)	Almidon Resistente (g/100 g de pasta cocida en base seca)	Almidón Resistente (%)	Proteína (%)
PB	Klein Guerrero	64,28 aB	0,48 aB	0,74aA	16,67 bA
	Baguette Premium 11	65,90 aB	1,17 bB	1,77bA	15,53 aA
PIA	Klein Guerrero	45,88 aA	0,35 aA	0,76aA	19,54 bA
	Baguette Premium 11	49,81 aA	0,96 bA	1,92bA	14,98 aA
PIB	Klein Guerrero	50,68 aA	0,46 aA	0,91aA	18,57 bA
	Baguette Premium 11	51,11 aA	0,90 bA	1,76bA	15,92 aA

^aLetras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de las 3 harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

El contenido de almidón total promedio presente en las PB fue 65,09 g/100 g mientras que en las pastas integrales (PIA y PIB) fue 49,37 g/100 g de pasta cocida en base seca. El contenido promedio de almidón resistente en las pastas elaboradas fue: 0,83 g/100 g (1,23% con respecto al contenido de almidon total) para PB y 0,67 g/100 g para pastas integrales (1,33% con respecto al contenido de almidon total). Tanto el contenido de almidón total como el de almidón resistente fueron significativamente más altos en las PB respecto de las pastas integrales debido al efecto de dilución que causa el salvado tal como lo describió Sobota *et al.* (2015). Los dos tipos de pastas integrales (PIA y PIB) no mostraron diferencias significativas entre ellas tanto para el contenido de almidón total como para el de almidón resistente ($p > 0,05$). En relación a la utilización de diferentes genotipos, el contenido de almidón total y resistente fue mayores para las pastas elaboradas con Baguette Premiun 11 aunque las diferencias solo fueron significativas respecto del contenido de almidón resistente.

El contenido promedio de proteínas en las muestras de PB fue 16,01% mientras que las pastas integrales (PIA y PIB) presentaron un contenido promedio de 17,55%. Valores similares a los obtenidos en pastas integrales fueron encontrados por Hirawan y Beta (2014) en macarronis de harina integral. Mientras que Sobota *et al.* (2015) encontraron valores más bajos de proteínas en pastas de semolina y harina integral (13,37% y 13,41% respectivamente). No se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteínas debido a la utilización de harina blanca e integrales obtenidas por distintos tipo de molienda en concordancia con los resultados obtenidos para cada una de las harinas utilizadas para su elaboración. En cuanto a las diferencias por la elaboración de pastas con dos genotipos diferentes, las muestras elaboradas con Klein Guerrero presentaron valores significativamente más elevados que las pastas elaboradas con Baguette Premiun 11 ($p < 0,05$) para todos los tipos de harinas usadas en la elaboración de las pastas (PB, PIA y PIB) en concordancia con los valores de proteínas de las harinas. Estos resultados ponen de manifiesto que las diferencias expresadas en el procedimiento de molienda utilizado para generar distribuciones de tamaño de partícula diferentes de las harinas no afectaron al contenido de proteína y que este parámetro se vió afectado por el cultivar de trigo seleccionado. Resultados similares fueron encontrados por Hatcher *et al.* (2002) en noodles elaborados a partir de harinas con diferentes patrones de distribución de tamaño de partícula.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LAS PASTAS BLANCAS E INTEGRALES COCIDAS

En la comunidad médica y científica los antioxidantes son considerados importantes al poseer la habilidad de atrapar radicales libres y reducir el daño oxidativo (Mellen *et al.*, 2008; Yu *et al.*, 2002a). Se ha establecido que el consumo regular de dichos

componente bioactivos reduciría el riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer (Kris-Etherton *et al.*, 2002). En este sentido, se recomienda aumentar el consumo de frutas y verduras al poseer grandes concentraciones de antioxidantes. Sin embargo, el trigo, uno de los cereales más importantes alrededor del mundo, no es solo una fuente de nutrientes básicos como carbohidratos, proteínas y vitaminas sino que también es una fuente de antioxidantes como flavonoides y ácidos fenólicos (Adom *et al.*, 2005).

Se determinó la actividad antioxidante en las pastas cocidas elaboradas a partir de harina blanca (PB) y de dos tipos diferentes de harina integral (PIA y PIB) de dos cultivares distintos a través del contenido de polifenoles totales (Figura 3.13), la capacidad atrapadora de radicales libres y el poder reductor (Figura 3.14).

El contenido total de polifenoles varió entre 0,36 y 0,50 mg ácido galico (AG)/g pasta cocida liofilizada en PB y entre 0,65 y 0,86 mg AG/g pasta en pastas integrales mientras que los valores obtenidos de la actividad antioxidante medida por ABTS y FRAP estuvieron comprendidos entre 0,83-0,86 y 0,22-0,63 $\mu\text{mol Trolox/ g}$ pasta respectivamente en PB y entre 0,48-0,60 y 1,67-2,06 $\mu\text{mol Trolox/ g}$ pasta respectivamente en pastas integrales.

Los mayores contenidos de polifenoles se encontraron en las pastas integrales (PIA y PIB) (Figura 3.13). Estos resultados indican que las capas externas del grano de trigo, contienen altas concentraciones de antioxidantes en comparación con el endosperma (Rosa *et al.*, 2013; Bacic y Stone, 1981). Además, la fracción de salvado posee carotenoides los cuales cumplen un rol significativo en la capacidad antioxidante final de la harina (Lv *et al.*, 2012; Žilić *et al.*, 2012). Diversos autores observaron en pastas un aumento del contenido de polifenoles por el agregado de diferentes fracciones de salvado y aleurona

(Hirawan *et al.*, 2010) o por el agregado de salvado y germen de trigo (Aravind *et al.*, 2012). Es evidente que los métodos de molienda, los cuales remueven la mayoría del germen y el salvado, reducen el contenido de polifenoles totales en los productos a base de trigo (Adom *et al.*, 2005). En cuanto a la utilización de genotipos diferentes, el mayor contenido de polifenoles totales se encontró en pastas elaboradas con Klein Guerrero aunque solo hubo diferencias significativas en las pastas elaboradas con harina molida con molino cyclotec (PIA).

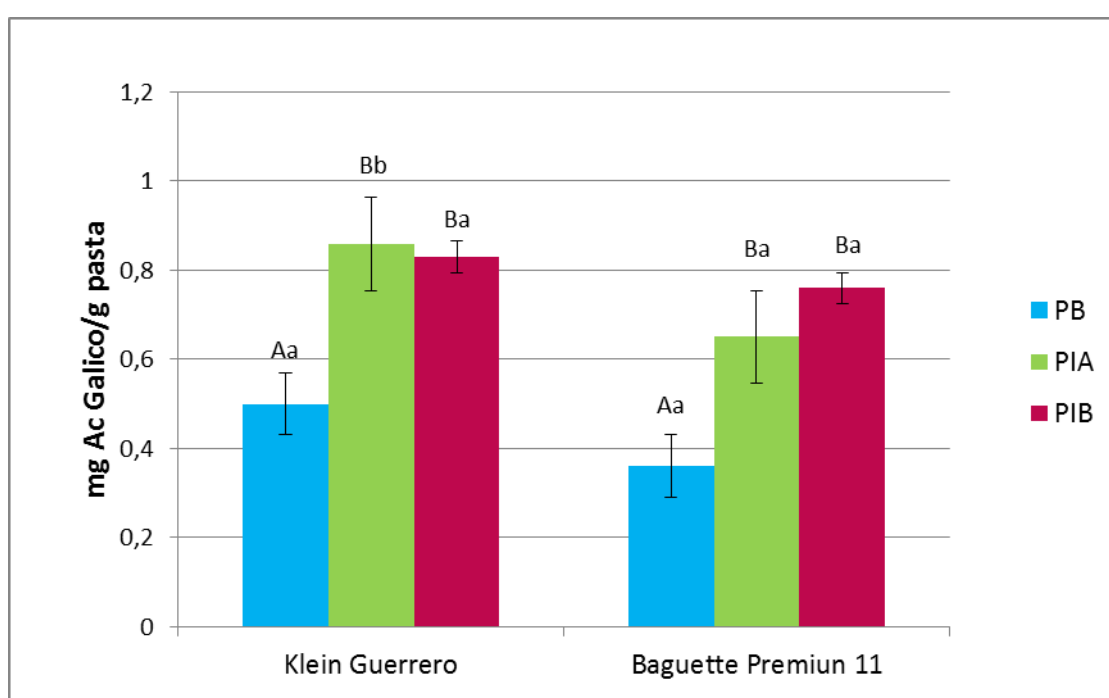


Figura 3.13. Contenido total de polifenoles de pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes. Letras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de las 3 harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

Hay dos mecanismos principales por los cuales un componente puede ejercer su acción antioxidante: por transferencia de un átomo de hidrógeno (determinado como la capacidad antiradicalaria) y por transferencia de un electrón (determinada como el poder reductor) (Prior *et al.*, 2005).

Tanto la capacidad antirradicalaria como el poder reductor presentaron la misma tendencia (Figura 3.14). Debido a que se observaron mayores valores absolutos en la determinación de la capacidad atrapadora de radicales libre, se puede establecer que es el mecanismo antioxidante que predomina en las pastas elaboradas. Esta observación coincide con lo establecido por Yu *et al.* (2013) al evaluar distintos cultivares de harina entera en la elaboración de panes.

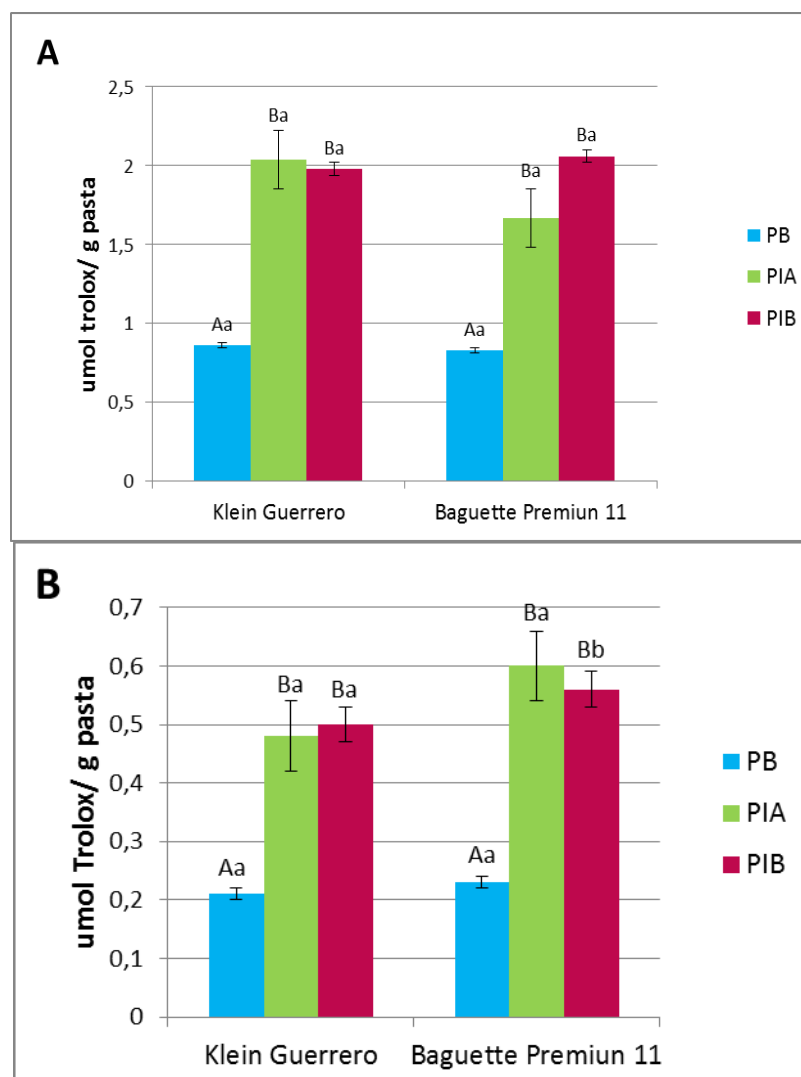


Figura 3.14. Actividad antirradicalaria (A) y poder reductor (B) de pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes. Letras mayúsculas diferentes representan diferencias entre las pastas elaboradas a partir de las 3 harinas y letras minúsculas diferentes representan diferencias entre ambos genotipos en cada pasta ($p < 0,05$).

Las pastas integrales poseen mayor capacidad atrapadora de radicales libres y poder reductor que las PB. En cuanto a los genotipos, solo se encontraron diferencias significativas en la PIB donde las pastas elaboradas con Baguette Premiun 11 presentaron mayor poder reductor que las pastas elaboradas con Klein Guerrero mientras que no se encontraron diferencias en el resto de las pastas como así tampoco en cuanto a la capacidad atrapadora de radicales libres. Esto puede deberse a que la actividad antioxidante del grano de trigo en sus diferentes fracciones depende de la variedad analizada (Yu *et al.*, 2002a, b) y la zona de cosecha (Yu y Zhou, 2004). Factores ambientales como estrés térmico, radiación solar y precipitación así como las interacciones entre dichos factores y el genotipo pueden modular la actividad antioxidante del trigo (Moore *et al.*, 2006; Yu y Zhou, 2004).

CONTENIDO DE MINERALES EN PASTAS BLANCAS E INTEGRALES COCIDAS

El tipo de molienda utilizado para obtener los 3 tipos de harinas generaron diferencias en el contenido de minerales de las pastas elaboradas ($p < 0,05$) tal como se muestra en la Tabla 3.21. Respecto a la utilización de diferentes genotipos, también se observaron diferencias ($p < 0,05$). Como era de esperar, las pastas integrales (PIA, PIB) presentaron contenidos de minerales significativamente mayores que las PB ($p < 0,05$) debido a que el salvado contiene mayor cantidad de minerales que la harina blanca (de Brier *et al.*, 2015; Brinch-Pedersen *et al.*, 2007). Resultados que concuerdan con los encontrados en las harinas tanto blancas como integrales previamente detalladas en las Tabla 3.13 y 3.15. Kordonowy y Youngs (1985) también encontraron un incremento en el contenido de minerales luego de sustituir pastas de trigo duro con diversos niveles de salvado.

Los dos minerales más abundantes en las muestras de pastas analizadas fueron el Na y K mientras que se encontraron bajas concentraciones de Cu y Zn. Resultados similares fueron encontrados por Cubadda *et al.* (2009) en pastas comerciales de trigo durum. El contenido promedio de Fe y Zn en las PB (15,34 and 7,87 mg/Kg respectivamente) fue similar al encontrado por Albrecht y Buzzard (1987) en macarronis cocinados en agua destilada (13 y 7 mg/Kg respectivamente). El contenido de Mn en la PB no pudo ser cuantificado debido a las bajas concentraciones presentes y al límite de detección del equipo utilizado en su medición. Las PB presentaron una reducción del contenido de minerales entre 20,18 % para Na y un 80,87 % para Mg al compararlas con pastas integrales.

Estos resultados concuerdan con lo encontrado previamente en el análisis de minerales en harina blanca y harinas integrales donde los porcentajes de pérdida variaron entre 26,6 % y 81 %. Se encontraron variaciones significativas en el contenido de minerales entre las pastas elaboradas con distintos tipos de harina integral (PIA, PIB) para Cu, Ca, Mn, Na y Zn. Las pastas elaboradas con harina obtenida por molino de cuchillas (PIB) presentaron contenidos significativamente mayores de Ca, Mn y Na en comparación con aquellas elaboradas con harina obtenida por molino ciclónico (PIA) en la cual se registraron las mayores concentraciones de Cu y Zn. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre ambas pastas integrales en el contenido de Fe, K y Mg. En general, las pastas elaboradas a partir de Klein Guerrero exhibieron mayores cantidades de casi todos los minerales con excepción de Mg y Na en comparación con las pastas elaboradas a partir de Baguette Premiun 11. Estos resultados concuerdan con el análisis de minerales en harina blanca e integrales donde el cultivar Klein Guerrero mostró mayores concentraciones de minerales en ambas harinas.

Tabla 3.21. Contenido de minerales (mg/Kg) en pasta blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) cocidas de dos genotipos^{a,b}

Muestra	Genot	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn
PB	BP11	127,92 aA	1,00 aA	15,40 aA	282,98 aA	102,97 aA	nd	1852,35 bA	3,85 aA
	KG	139,20 aA	1,05 bA	15,28 aA	424,29 bA	145,14 bA	nd	1104,09 aA	11,88 bA
PIA	BP11	216,78 aB	3,53 aC	35,12 aB	650,33 aB	648,32 bB	40,33 aA	1497,95 bA	22,35 aC
	KG	272,45 bB	3,93 bC	44,86 bB	802,66 bB	580,95 aB	44,05 bA	1256,85 aA	34,75 bC
PIB	BP11	253,76 aC	2,54 aB	42,63 aB	634,39 aB	788,16 bB	50,75 aB	2849,51 bB	22,34 aB
	KG	402,40 bC	2,15 aB	42,38 aB	982,91 bB	509,10 aB	59,37 bB	1455,24 aB	28,20 bB

^aLetras mayúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativas entre los 3 tipos de pastas ($p \leq 0,05$) mientras que letras minúsculas en la misma columna representan diferencias entre ambos genotipos para cada pasta analizada ($p \leq 0,05$).

^bBP11: Baguette Premiun 11, KG: Klein Guerrero, nd: No detectable

Teniendo en cuenta que una porción estándar de pasta es de 80 g (de pasta seca) y conociendo los valores de ingesta diaria recomendada (IDR) de cada mineral (mg) para hombres (Cu: 0,9; Fe: 10; K: 4700; Mg: 260; Zn: 15) se estimó que porcentaje de la IDR cubre una porción de pasta elaborada a partir de harina blanca en relación a una porción de pasta de harina integral de diferente tamaño de partícula (Tabla 3.22).

Una porción de pasta integral (PIA y PIB), cubre mayores porcentajes de IDR de todos los minerales analizados en relación a una porción de pastas elaboradas con harina blanca (PB). Sin embargo, se encontraron diferencias entre cultivares y entre los dos tipos de pasta integral. Para el Fe y el Zn el cultivar Klein Guerrero cubre una mayor proporción de IDR, aunque el Fe en la PIB no mostró diferencias significativas con Baguette Premiun 11 (Tabla 3.22) mientras que para el Mg la IDR es cubierta en mayor medida por BP 11. En el caso del Cu dependió del tipo de pasta integral y no del cultivar.

Tabla 3.22. Porcentaje de ingesta diaria recomendada (IDR) para un hombre adulto de cada mineral cubierto por una porción de pasta blanca (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) de dos genotipos^a.

Muestra	Genotipo	Cu	Fe	K	Mg	Zn
PB	Baguette Premiun 11	8,89 aA	12,32 bA	0,48 aA	3,17 aA	2,05 aA
	Klein Guerrero	9,33 bA	12,22 aA	0,72 bA	4,47 bA	6,34 bA
PIA	Baguette Premiun 11	31,38 aC	28,10 aB	1,11 aB	19,95 bB	11,92 aB
	Klein Guerrero	34,93 bC	35,89 bB	1,37 bB	17,88 aB	18,53 bB
PIB	Baguette Premiun 11	22,58 bB	34,10 aB	1,08 aB	24,25 bB	11,91 aB
	Klein Guerrero	19,11 aB	33,90 aB	1,67 aB	15,66 aB	15,04 bB

^aLetras mayúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativas entre las pastas ($p \leq 0,05$) mientras que letras minúsculas en la misma columna representan diferencias entre ambos genotipos para cada pasta analizada ($p \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

Ambas pastas integrales (PIA y PIB) presentaron un comportamiento aceptable luego de la cocción, al no encontrarse diferencias en la pérdida por cocción entre pastas integrales y pastas blancas. Las pastas elaboradas con harina integral presentaron menores valores de absorción de agua, índice de hinchamiento y TOC demostrando que la presencia de salvado y el tamaño de partícula de las harinas generan modificaciones en la estructura de la pasta interfiriendo en la matriz gluten-almidón. Las pastas integrales presentaron mayores valores de firmeza mientras que las pastas más luminosas y menos amarillas y rojizas fueron las pastas blancas. A su vez, las pastas blancas registraron mayores contenidos de almidón total y resistente que las pastas integrales debido al efecto de dilución que causa el salvado. Por otro lado, las pasta integrales presentaron no solo mayor contenido de polifenoles, sino también de minerales indicando que las capas externas del grano de trigo contienen altas concentraciones de compuestos bioactivos en comparación con el endosperma. Si tenemos en cuenta los valores de IDR un plato de 80 gr de pasta integral cubre mayores valores de todos los minerales.

DIGESTION GASTROINTESTINAL *IN VITRO* DE MINERALES Y ALMIDON EN PASTAS BLANCAS E INTEGRALES

Para conocer en qué medida un alimento aporta un nutriente, no solo basta con determinar su contenido inicial en dicho alimento, sino que es necesario conocer que cantidad del mismo puede ser utilizada por el organismo, es decir, su biodisponibilidad y bioaccesibilidad (Hall, 2011).

La biodisponibilidad se define como la fracción de nutrientes de un alimento que está disponible para las funciones fisiológicas o para su almacenamiento (Fairweather-Tait, 1993). Benito y Miller 1998 definieron al termino biodisponibilidad como la proporción de un nutriente dado que esta disponible para que el organismo lo utilice. Por otro lado, la bioaccesibilidad se define como la fracción de un componente que es liberado de su matriz hacia el tracto gastrointestinal y se encuentra accesible para la absorción intestinal (Benito y Miller, 1998). El término bioaccesibilidad incluye todos los pasos de la transformación digestiva: desde la liberación de la matriz alimenticia del nutriente en estudio al lumen del intestino, hasta la absorción del mismo por la pared del intestino (Fernández-García *et al.*, 2009). Efectivamente, salvo raras excepciones, solo una pequeña proporción del total de nutrientes ingeridos en la dieta son utilizados por nuestro organismo. Ello depende de que el nutriente se encuentre presente en la dieta de una forma química que pueda ser transportada a través de la mucosa, o que tras su digestión pueda ser absorbido de forma que pueda ser utilizado en el metabolismo normal (Martinez *et al.*, 1999).

La harina integral presenta un mayor contenido de minerales que la harina blanca (Eagling *et al.*, 2014a; Latunde-Dada *et al.*, 2014; Oury *et al.*, 2006), por lo tanto, su uso

para la elaboración de pastas podría incrementar la calidad nutricional. Sin embargo, es importante estudiar la proporción de minerales presente en las pastas que queda accesible para ser absorbida en el tracto gastrointestinal. Un estudio más profundo sobre la bioaccesibilidad de minerales sería de utilidad para establecer, por ejemplo, cuando un alimento necesita ser biofortificado o que minerales deberían ser adicionados y en que niveles. Es por ello que se cuantificó la bioaccesibilidad *in vitro* de minerales y almidón en las pastas blancas e integrales (PIA y PIB) provenientes de dos genotipos: Klein Guerrero y Baguette Premiun 11.

ALMIDÓN

Para evaluar la bioaccesibilidad de las pastas cocidas elaboradas a partir de harina blanca (PB) y harinas integrales obtenidas por dos tipos de molienda diferente (PIA y PIB) se realizó una digestión *in vitro* donde se monitoreó la hidrólisis de almidón de las muestras de pastas cocidas en función del tiempo (Figura 3.15 A y B). A partir de estas curvas se realizó un ajuste matemático no lineal a la función exponencial de primer orden (Eq 1) para obtener los parámetros cinéticos de la digestión.

$$C = C_{\infty} * (1 - e^{(-K*t)}) \quad \text{eq. 1}$$

Donde C corresponde al porcentaje de almidón hidrolizado al tiempo t , K es la constante cinética y C_{∞} es el porcentaje en equilibrio del almidón hidrolizado a tiempo ∞ .

Los valores de R^2 de las curvas ajustadas estuvieron por encima de 0,93 en todos los casos lo cual prueba que el modelo describe los datos de forma adecuada. Los valores obtenidos por dicho ajuste se visualizan en la Tabla 3.23.

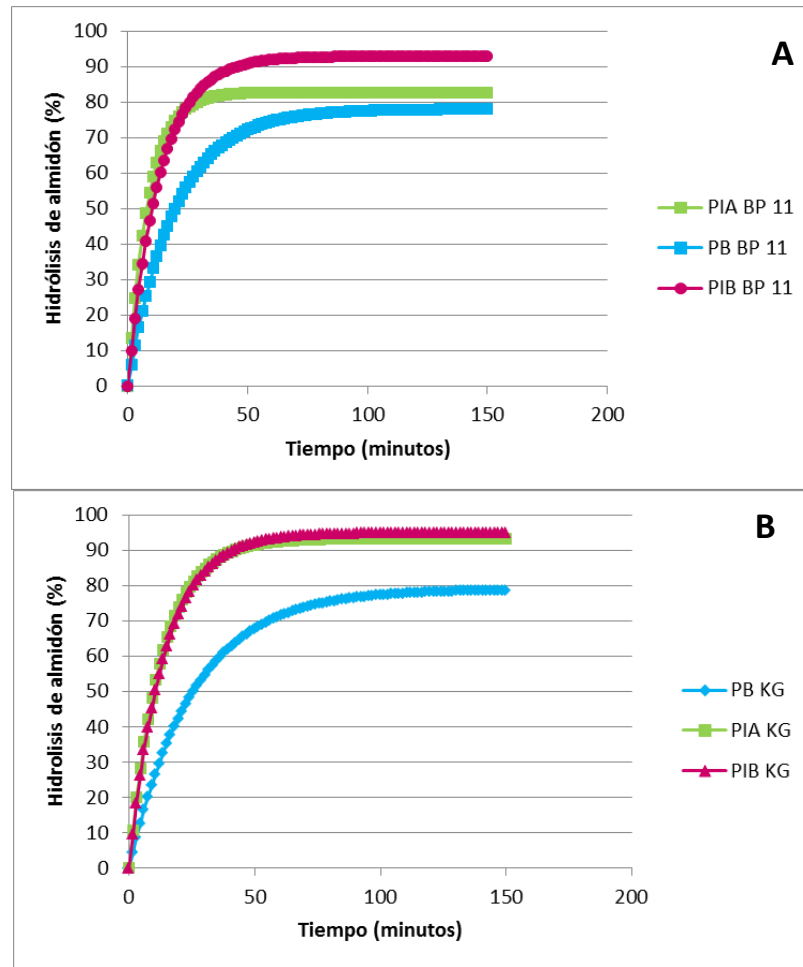


Figura 3.15. Digestión *in vitro* de almidón en pastas elaboradas harina blanca (PB) y harinas integrales (PIA y PIB) obtenidas de dos cultivares: **A:** Baguette Premium 11 y **B:** Klein Guerrero.

Las curvas de hidrólisis de almidón de las 3 pastas elaboradas con Baguette Premium 11 presentaron comportamientos diferentes entre si con un porcentaje de hidrólisis mayor a los 150 min para PIB. En cambio, las curvas de hidrólisis de las pastas integrales elaboradas con Klein Guerrero registraron comportamientos prácticamente iguales con porcentajes de hidrólisis significativamente diferentes de la PB.

Las curvas de hidrólisis de almidón muestran que el porcentaje de almidón hidrolizado durante los primeros 30 minutos alcanzó el 80% promedio para pastas integrales elaboradas con Baguette Premiun 11 y 84% para pastas integrales elaboradas con Klein Guerrero. En cambio, la hidrólisis del almidón de la PB fue mucho menor durante todo el proceso de la digestión registrando valores de 61 y 54,5 % de hidrólisis a los 30 min para las pastas elaboradas con Baguette Premiun 11 y Klein Guerrero respectivamente. Entre ambas tipos de pastas integrales elaboradas a partir de los dos genotipos, no se detectaron diferencias en la hidrólisis del almidón durante los primeros 30 minutos aunque las PIB presentaron mayor porcentaje de hidrólisis final (Fig. 3.16).

Tabla 3.23. Porcentaje de equilibrio del almidón hidrolizado a tiempo ∞ (C_{∞}) y la constante cinética asociadas (K) y obtenidas a partir de la digestión *in vitro* de pastas blanca (PB) y pastas integrales (PIA y PIB) de dos genotipos^a

Muestra	Genotipo	C_{∞} (g/100 g almidón)	K (m ¹)
PB	Baguette Premiun 11	76,4 ± 2,0 aA	0,058 ± 0,008 aA
	Klein Guerrero	82,3 ± 4,6 aA	0,039 ± 0,000 aA
PIA	Baguette Premiun 11	81,6 ± 1,6 aB	0,094 ± 0,043 aB
	Klein Guerrero	91,9 ± 1,9 bB	0,082 ± 0,003 aB
PIB	Baguette Premiun 11	91,9 ± 1,4 aC	0,081 ± 0,007 aB
	Klein Guerrero	96,4 ± 2,0 aC	0,071 ± 0,001 aB

^aLetras mayúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativas entre los 3 tipos de pastas ($p \leq 0,05$) mientras que letras minúsculas en la misma columna representan diferencias entre ambos genotipos para cada pasta analizada ($p \leq 0,05$).

En la Tabla 3.23 se puede observar las diferencias en la magnitud (C_{∞}) y la velocidad de la digestión (K) de almidón obtenidos por el ajuste matemático. En este sentido, se destaca lo descrito anteriormente en las curvas de hidrólisis donde el almidón de las pastas integrales se digiere en mayor grado que en las PB presentando los mayores valores de C_{∞} . Esta diferencia puede deberse a la estructura más compacta que presentan la PB que se caracterizan por poseer una red de proteínas muy cerrada que atrapa los gránulos

de almidón y que obstaculiza el acceso de la α -amilasa retardando su acción (Fardet *et al.*, 1999; Fardet *et al.*, 1998). Además, las pastas integrales presentaron valores elevados de la constante cinética (K) de almidón indicando una mayor velocidad tal como se aprecia en la Figura 3.16 lo cual puede deberse a las diferencias estructurales entre pastas integrales y blancas. Es decir, la inclusión de grandes cantidades de fibra insoluble presente en el salvado de las pastas integrales puede interferir en la matriz proteica, dando lugar a una estructura más porosa. De esta manera, los gránulos de almidón quedan más accesibles y susceptibles a la degradación enzimática (Tudorica *et al.*, 2002; Biney y Beta, 2014).

También se encontró que las pastas integrales no presentaron diferencias significativas en la velocidad de hidrólisis del almidón pero en las PIB se digiere en mayor proporción que en las PIA. Diferentes autores documentaron que la estructura de la pasta con el agregado de salvado se debilita (Manthey y Schorno, 2002; Chillo *et al.*, 2008) mientras que también las diferencias en la estructura afectan la velocidad y magnitud de la digestión del almidón (Biney y Beta, 2014).

En base a estos resultados podemos concluir que no solo el agregado de salvado sino también el tamaño de partícula de la harina utilizada en la elaboración de las pastas, debido a diferentes procesos de molienda, tienen gran influencia en la digestibilidad del almidón.

MINERALES

Tal como se describió en el capítulo 2 de materiales y métodos, se determinó el contenido inicial de minerales en cada una de las pastas cocidas y posteriormente se llevó a cabo una digestión *in vitro* con el objeto de simular el proceso de la digestión y absorción de nutrientes en el intestino delgado y determinar que cantidad de minerales presentes en las pastas es absorbido por el organismo.

En este trabajo se obtuvieron los valores de dializabilidad de minerales a través de la inclusión de una membrana de diálisis durante la etapa de digestión intestinal (Tabla 3.24). Tanto el tipo de molienda como el genotipo influyeron en los valores de dializabilidad ($p < 0,05$). Es importante destacar que el contenido de Ca, Na y Mn no fueron detectables en la mayoría de las muestras, motivo por el cual no presentamos los resultados, mientras que el contenido de K se cuantificó en todas las muestras con excepción de la PB elaborada a partir de Baguette Premiun 11. Como puede observarse en la tabla 3.24, los porcentajes de dializabilidad de los minerales variaron significativamente entre las PB y pastas integrales. Entre los factores que influyen la dializabilidad de los minerales se encuentran su especie química, la liberación de la matriz del alimento, la interacción con otros componentes presentes en el alimento, la presencia de supresores y demás cofactores y la formación de compuestos estables que se metabolizan lentamente (Parada y Aguilera, 2007; Gibson *et al.*, 2006; Ikedal *et al.*, 2003).

Tabla 3.24. Dializabilidad (%) de minerales a partir de la digestión *in vitro* de pastas blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) de dos genotipos diferentes^{a,b}.

Muestra	Genotipo	Cu	Mg	K	Fe	Zn
PB	Baguete Premiun 11	82,95 bB	49,73 bB	nd	10,21 aB	6,91 aB
	Klein Guerrero	34,48 aB	37,81 aB	22,31A	12,07 bB	15,52 bB
PIA	Baguete Premiun 11	23,71 aA	33,10 bA	25,68 aB	3,20 bA	2,52 bA
	Klein Guerrero	31,87 bA	30,02 aA	42,90 bB	3,10 aA	2,40 aA
PIB	Baguete Premiun 11	22,91 aA	19,37 aA	33,15 aB	3,86 aA	5,21 bA
	Klein Guerrero	29,31 aA	33,04 bA	39,79 bB	4,15 aA	1,93 aA

^aLetras mayúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativas entre las pastas ($p \leq 0,05$) mientras que letras minúsculas en la misma columna representan diferencias entre ambos genotipos para cada pasta analizada ($p \leq 0,05$).

^B nd: no detectable

Los minerales que presentaron los mayores porcentajes de dializabilidad fueron Cu, Mg y K. A pesar del bajo contenido de minerales presente en la PB (Tabla 3.21), la dializabilidad de algunos minerales como Cu, Fe, Mg y Zn fue mayor que en las pastas integrales ($p < 0,05$). Por otro lado, en las pastas elaboradas con harina integral la dializabilidad del K fue significativamente mayor que en las PB ($p < 0,05$). La dializabilidad

promedio de Fe en PB y pastas integrales fue de 11,14% y 3,57% respectivamente mientras que la dializabilidad de Zn fue 11,38% y 2,76% en PB como en pastas integrales respectivamente.

Diversos autores concuerdan con los resultados obtenidos en este presente trabajo ya que encontraron valores de dializabilidad similares en diferentes productos elaborados a partir de harina blanca e integral. Wolters *et al.* (1993) elaboraron panes con harina blanca y harina integral y encontraron que la dializabilidad de Fe, Zn y Ca disminuía considerablemente ante la presencia de salvado en los productos. Kloots *et al.* (2004) elaboraron chapatis a partir de harina integral, los cuales presentaron un contenido inicial de hierro de 30 mg/Kg, mientras que la dializabilidad fue sólo del 2,1%. Sanz-Penella *et al.* (2012) concluyeron que panes elaborados a partir de harina integral presentaban menor dializabilidad de Fe que panes elaborados con harina blanca. Eagling *et al.* (2014b) estudiaron la bioaccesibilidad de Fe en panes sin leudar elaborados a partir de harina refinada e integral y llegaron a la conclusión de que panes de harina blanca contenían más Fe disponible a pesar de poseer el contenido inicial más bajo. Por otro lado Iglesias-Puig *et al.* (2015) elaboraron por un lado panes con harina blanca y por el otro, panes con harina blanca y el agregado de harina integral de quinoa y determinaron que la bioaccesibilidad de Fe y Zn en este último producto era menor.

La diferente distribución del tamaño de partícula generada por la molienda de los granos de los genotipos seleccionados por molino ciclónico o molino de cuchillas no llevó a que se manifestaran diferencias significativas en la dializabilidad de minerales entre PIA y PIB. En resumen, a pesar que las pastas de los dos tipos de harinas integrales utilizados en la elaboración de pastas extrusadas presentaban mayor contenido de minerales, luego de la digestión *in vitro*, la dializabilidad estimada fue menor que la observada en PB.

La dializabilidad de Fe presentó diferencias significativas entre ambos cultivares solo en PIA y PB: las pastas elaboradas a partir de Klein Guerrero registraron los menores valores de dializabilidad de Fe en PIA y los mayores valores en PB. En el caso de la dializabilidad estimada del Zn, en PB elaborada a partir de Klein Guerrero se encontró el mayor valor mientras que en las pastas integrales el comportamiento fue el opuesto; las pastas elaboradas a partir de Baguette Premiun 11 presentaron los mayores porcentajes de dializabilidad en ambas pastas integrales.

Las pastas integrales presentaron menores valores de dializabilidad de minerales incluso cuando los valores de digestibilidad *in vitro* respecto de la proporción de almidón hidrolizado fueron mayores que en las muestras PB. Este comportamiento puede deberse a la composición específica de la pasta en términos de, por ejemplo, cantidad y calidad de proteínas y la presencia de componentes como fibras, polifenoles y fitatos que pueden inhibir la dializabilidad de minerales, así como la forma química de los elementos y la interacción con los demás nutrientes (Vitali *et al.*, 2008). En cereales, aproximadamente entre el 1 y 2% del peso de la semilla corresponde al ácido fítico (Febles *et al.*, 2002). El ácido fítico es un componente natural de los vegetales formado por un anillo de carbohidratos con 6 grupos fosfatos unidos a cada carbono y es el principal almacenamiento de fósforo de la semilla (70%) (López *et al.*, 2002); mientras que un 90% del mismo se localiza en la capa de aleurona, solo el 10% en el embrión. Diversos factores genéticos y ambientales (condiciones de irrigación, tipo de suelo, fertilización) pueden afectar el contenido de ácido fítico y la disponibilidad de fósforo en los granos. Existe extensa información en la literatura que reporta que la harina blanca presenta muy baja concentración de ácido fítico mientras que las harinas integrales presentan gran contenido del mismo debido a que el ácido fítico se localiza, principalmente, en las capas externas de salvado (Kloots *et al.*, 2004; Lazarte *et al.*, 2015). El ácido fítico cumple diversas funciones como ser antioxidante, reserva de energía (Talamond *et al.*, 2000) pero también es el principal inhibidor de la absorción de Zn, Fe, Ca, Mg y Mn (Davidsson *et al.*, 1995; Bohn *et al.*, 2004).

Diversos componentes presentes en la dieta forman complejos solubles e insolubles con los microelementos bajo las condiciones gastrointestinales afectando así, la biodisponibilidad (Bertin *et al.*, 2016). El impacto negativo del contenido de Ca en los alimentos y la biodisponibilidad del Fe y Zn fue evidenciada por diferentes autores (Akhter *et al.*, 2012; Etcheverry *et al.*, 2012; Hemalatha *et al.*, 2007). Las diferencias entre la biodisponibilidad de Zn y Fe en los productos a base de grano entero pueden ser atribuidas a la diferente forma química de dichos metales (estado de valencia), y a la posible localización diferencial en los granos así como a las diferentes uniones y asociaciones con otros elementos (Borriil *et al.*, 2014). En el ambiente del estómago la mayoría del Fe se libera del complejo de hierro presente en los alimentos y entra al *pool* común de Fe no hemo (Forth y Rummel, 1973). La entrada del hierro elemental es limitada por su solubilidad y es en el intestino donde se da una competición entre los diferentes ligandos y el Fe para formar complejos. La biodisponibilidad del Fe, por lo tanto, está determinada por la afinidad de cada ligando al Fe y la solubilidad del complejo Fe-ligando. Si el Fe y Zn son provistos juntos es importante determinar dónde y cómo interactúan biológicamente ya que químicamente presentan una absorción y transporte similar y se cree que compiten por las vías de absorción (Akhtar *et al.*, 2011).

Otro factor que contribuye a las diferencias de dializabilidad observadas para Fe y Zn entre PB y pastas integrales podría deberse al contenido de polifenoles totales el cual fue mayor en PIA y PIB. Resultados que concuerdan con Eagling *et al.* (2014b), La Frano *et al.* (2014) y Lucarini *et al.* (2000) quienes también observaron que los polifenoles interfieren con la biodisponibilidad de Fe. Sin embargo, existen otros componentes de los productos que afectan también la absorción del Fe. En este sentido, diferentes estudios han reportado que algunos componentes como la fibra alimentaria puede unir minerales disminuyendo así su biodisponibilidad (Swain *et al.*, 2003). Simpson *et al.* (1981) sugirieron que la absorción de Fe es inhibida principalmente por el contenido de fibra más que por el contenido de ácido fítico. Hemalatha *et al.* (2007) también encontraron un efecto

negativo de la fibra presente en el trigo en la absorción de Zn además de la presencia del ácido fítico. La fibra tiene efectos fisiológicos adicionales en el colon donde puede sobrevivir y ser fermentada por bacterias intestinales. Dicha fermentación en el intestino disminuye el pH, promueve el crecimiento de la probiota y produce ácidos grasos de cadena corta y metabolitos que pueden jugar un rol importante en la prevención de enfermedades. Por lo tanto, la fibra no es solo una sustancia inerte que viaja a través del tracto digestivo sino que juega un rol importante en la digestión y absorción. Estudios epidemiológicos demostraron que un gran consumo de fibra de diversas fuentes está asociado a una reducción en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, de la presión sanguínea, la inflamación y aumento de la saciedad (Brownlee, 2011; Gunness y Gidley, 2010).

Es por ello que consumir alimentos a base de grano entero, a pesar de no aumentar la cantidad de minerales absorbidos por el organismo en comparación con alimentos a base de harina refinada, tienen como beneficio el alto contenido de fibra que aportan al organismo.

Teniendo en cuenta el contenido neto de minerales y el porcentaje de dializabilidad de las 6 muestras de pastas, podemos estimar la cantidad neta de cada mineral que atraviesa la membrana de diálisis y estaría disponible para ser utilizada por un organismo (Tabla 3.25). Considerando una porción de 80 gr de pasta podemos decir que las pastas integrales proveen mayor cantidad de K y Mg bioaccesible que las pastas de harina blanca. En el caso del Fe el mayor aporte estaría dado tanto por las pastas de harina blanca como por las PIB, mientras que el mayor aporte neto de Zn lo provee las PB del cultivar Klen Guerrero sin encontrar diferencias entre los 3 tipos de pastas (PB, PIA y PIB).

Tabla 3.25. Cálculo de la cantidad de minerales (mg) dializables luego de la digestión *in vitro* de una porción de pastas (80 g) blanca (PB) e integrales (PIA y PIB) elaboradas a partir de los dos genotipos seleccionados^{a,b}.

Muestra	Genotipo	Cu	Fe	K	Mg	Zn
PB	Baguette Premiun 11	0,07 bA	0,13 aB	nd	4,10 aA	0,02 aA
	Klein Guerrero	0,04 aA	0,13 aB	5,05 A	4,39 bA	0,15 bA
PIA	Baguette Premiun 11	0,09 aB	0,09 aA	13,36 aB	17,17 bC	0,04 aA
	Klein Guerrero	0,07 aB	0,11 aA	27,55 bB	13,95 aC	0,07 bA
PIB	Baguette Premiun 11	0,05 aA	0,13 aB	16,82 aC	12,20 aB	0,09 bA
	Klein Guerrero	0,05 aA	0,14 aB	31,29 bC	13,46 bB	0,04 aA

^aLetras mayúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativas entre las pastas ($p \leq 0,05$) mientras que letras minúsculas en la misma columna representan diferencias entre ambos genotipos para cada pasta analizada ($p \leq 0,05$).

^bnd: No detectable

CONCLUSIONES

El almidón de las pastas integrales se digiere en mayor grado que las pastas blancas probablemente debido a que en éstas últimas la matriz de proteínas obstaculiza el acceso de la α -amilasa y retarda por ende su acción. Los valores de dializabilidad fueron afectados tanto por el tipo de molienda como por el genotipo utilizado para la elaboración de las pastas y variaron significativamente entre las PB y las pastas integrales. A pesar de que las pastas integrales registraron mayores contenidos de minerales los valores de dializabilidad fueron menores probablemente debido a la presencia de componentes como fibras, polifenoles y fitatos que pueden inhibir la dializabilidad de minerales, así como la forma química de los elementos y la interacción con los demás nutrientes.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES GENERALES

Se encontraron diferencias significativas y un amplio rango de valores en el contenido de PT y PS tanto en harina integral como harina blanca entre los 24 cultivares y los 6 ambientes en estudio. En cuanto a la variabilidad registrada en el contenido de PT en harina integral se debió principalmente al ambiente mientras que para los valores de PS el genotipo e interacción genotipo*ambiente fueron responsables de la variación descrita. En harina refinada, el genotipo fue claramente el mayor responsable de la variabilidad encontrada en ambas fracciones de pentosanos.

No todos los genotipos mostraron correlación en el contenido de ambas fracciones de pentosanos y a su vez las condiciones ambientales influyeron en la acumulación de manera diferencial.

El contenido de PT disminuyó notablemente en la harina blanca producto de la molienda del grano evidenciando que los pentosanos se localizan principalmente en las capas externas del grano. No todos los genotipos perdieron la misma proporción de PT en los 6 ambientes lo que indica que las condiciones ambientales juegan un rol fundamental en la composición del grano del trigo.

Se encontró un amplio rango de valores de tamaño y distribución de gránulos de almidón entre los cultivares y los ambientes en estudio. De acuerdo al análisis de varianza, el ambiente fue el mayor responsable de la variabilidad encontrada tanto para el diámetro de los gránulos de la población B como para el porcentaje de volumen ocupado por ambas poblaciones de gránulos. En cuanto a la variabilidad encontrada en el diámetro de los gránulos A, tanto el genotipo como el ambiente fueron ambos las principales fuentes de variación.

El genotipo fue la fuente más importante de variabilidad encontrada en el contenido de amilosa seguida por la interacción genotipo*ambiente. No todos los cultivares presentaron el mismo contenido de amilosa en los 6 ambientes demostrando así, la importancia de las condiciones climáticas y edáficas de cada zona de cosecha en la síntesis de amilosa.

Al analizar las propiedades térmicas del almidón mediante DSC se encontraron diferencias significativas entre cultivares y ambientes para todos los parámetros excepto para ΔH . El ambiente fue el mayor contribuyente a la varianza en todos los parámetros analizados por DSC excepto para el ancho de pico y la entalpia de gelatinización donde el mayor responsable de la variación fue la interacción genotipo*ambiente.

Se observó un importante rango de valores respecto a las propiedades de gelatinización de las harinas. El mayor responsable de la variabilidad encontrada fue claramente el genotipo para todos los parámetros excepto para la temperatura de *pasting* donde el ambiente tuvo un aporte significativo a dicha variación.

La contribución relativa del genotipo y el ambiente a la variabilidad de los atributos de calidad del grano de trigo dependen de los cultivares seleccionados, así como de las condiciones ambientales particulares en cada región de cosecha. La intensidad, duración y combinación de condiciones ambientales tales como temperatura atmosférica, número de días con temperaturas superiores a la media histórica, cantidad de precipitación, etc, son factores cruciales que determinan el desarrollo del cultivo en sus diferentes etapas y que afectan las propiedades finales del almidón. La etapa de llenado de grano es uno de los momentos en los cuales la síntesis de almidón se encuentra más afectada por las condiciones ambientales, principalmente por la temperatura. Temperaturas elevadas en dicha etapa conllevan no solo a una disminución en el diámetro de gránulos A y B y en el volumen ocupado por los gránulos B sino también a un aumento en el contenido de amilosa y en la entalpia de gelatinización.

Se encontraron diferencias significativas tanto entre los 11 cultivares como en los 6 ambientes en estudio y la interacción genotipo*ambiente para los minerales analizados en harina integral y harina blanca.

El ambiente, el genotipo y la interacción entre ambos factores contribuyeron de manera distinta a la varianza en el contenido de minerales encontrada tanto en harina integral como harina blanca. No hubo un solo factor responsable de la variabilidad encontrada en los diferentes minerales dificultando de esta manera el mejoramiento de los cultivares de trigo al depender su concentración del genotipo, la localidad y condiciones climáticas presenten en el lugar de cosecha.

El cultivar Klein Guerrero se destacó ya que fue el que significativamente presentó menor contenido de Fe en harina blanca y mayor contenido en harina integral. Cultivares como Baguette Premiun 11, Cronox, Biointa 3004, entre otros, presentaron bajo contenido de Zn en ambas harinas mientras que ACA 320 registró la mayor concentración de Fe tanto en harina blanca como integral.

A través del análisis de imágenes se pudo visualizar que no todos los minerales se distribuyen de la misma manera en las diversas fracciones del grano de trigo. Elementos como Mg, K y P se localizaron principalmente en el salvado y embrión mientras que la distribución de elementos como Ca en embrión, salvado y endosperma fue más pareja.

Como era de esperar la molienda para obtener harina blanca refinada redujo significativamente las concentraciones de todos los minerales pero no todos los genotipos y ambientes evaluados presentaron el mismo comportamiento ante el mismo sistema de molienda.

Las pastas integrales (PIA y PIB) presentaron un buen comportamiento luego de la cocción, principalmente debido a que no se encontraron diferencias en la pérdida por cocción entre pastas integrales y pastas blancas. Las pastas elaboradas con harina integral en cualquiera de sus tipos de molienda presentaron menores valores de absorción de agua, índice de hinchamiento y TOC demostrando que la presencia de salvado genera modificaciones en la estructura de la pasta interfiriendo en la matriz gluten-almidón. Las pastas blancas elaboradas a partir de Baguette Premium 11 presentaron mayores valores de índice de hinchamiento y absorción de agua que las elaboradas con Klein Guerrero.

No solo el agregado de salvado en las pastas modifica la calidad tecnológica de las mismas sino que también otro factor que se debe tener en cuenta es el tamaño de partícula de las harinas utilizadas en la elaboración de las pastas.

Se observó un incremento en la firmeza de las pastas integrales, principalmente de las PIA probablemente debido a la mayor proporción de partículas de harina pequeñas que se distribuyeron de manera más homogénea en la estructura de la pasta. El tipo de molienda por la cual se obtienen las harinas no generó diferencias significativas entre las pastas elaboradas a partir de ellas respecto a los parámetros de cohesividad y adhesividad.

Las pastas elaboradas con harina blanca fueron más luminosas y menos amarillas y rojizas que las pastas integrales, lo cual se debe a la presencia de salvado. No se encontraron diferencias significativas entre ambas pastas integrales para los parámetros a^* y b^* .

En cuanto a la calidad tecnológica se encontraron pequeñas diferencias entre las pastas blancas e integrales siendo de mejor calidad las pastas blancas elaboradas a partir de Baguette Premiun 11. En cambio, las pastas integrales elaboradas a partir de ambos genotipos no presentaron diferencias notables en cuanto a la calidad tecnológica, excepto la PIA elaborada con Baguette Premiun 11 la cual presentó mayor firmeza.

Tanto el contenido de almidón total como el de almidón resistente fueron significativamente más altos en las PB respecto de las pastas integrales debido al efecto de dilución que causa el salvado. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteínas entre los 3 tipos de pastas analizadas evidenciando que las diferencias expresadas en el procedimiento de molienda utilizado para generar distribuciones de tamaño de partícula diferentes de las harinas no afectaron al contenido de proteína.

Los mayores contenidos de polifenoles se encontraron en las pastas integrales (PIA y PIB) indicando que las capas externas del grano de trigo, especialmente la fracción de salvado, contienen altas concentraciones de antioxidantes en comparación con el endosperma. A su vez, las pastas integrales poseen mayor capacidad atrapadora de radicales libres y poder reductor que las PB.

Como era de esperar el contenido de minerales en las pastas integrales fue mayor que en las pastas blancas debido a que el salvado es una fracción rica en minerales. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de minerales entre ambos tipos de pastas integrales a pesar de presentar la misma proporción de elementos del grano de trigo debido al tamaño de partícula. En relación a la IDR para minerales, una porción de 80 g de pasta integral, sin distinguir el tamaño de partícula de la harina utilizada, cubre mayores porcentajes de la IDR al compararlo con una porción de pasta de harina blanca.

El porcentaje de almidón hidrolizado en las pastas integrales fue mayor que en las pastas blancas debido a la estructura propia de cada una de ellas. Es decir, las muestras PB podrían presentar una red de proteínas muy cerrada mientras que el salvado podría estar interfiriendo en la matriz proteica permitiendo una mayor y más rápida degradación enzimática.

A pesar de los bajos contenidos de minerales en las pastas elaboradas con harina blanca, los valores de dializabilidad de minerales observados fueron mayores en comparación con las pastas integrales. Estos resultados evidencian la presencia de diversos factores endógenos que afectan la solubilidad y absorción de minerales luego de la digestión. No solo es importante el contenido inicial de minerales en las pastas sino también la forma química en la cual los minerales están presentes en la digestión y diversos componentes como fibra, ácido fítico, polifenoles, etc, pueden influenciar en la dializabilidad de los minerales. No se encontraron diferencias significativas ocasionadas por el uso de harinas integrales de diferente granulometría indicando que esta propiedad no afectó significativamente la dializabilidad de los minerales.

Los resultados indican que no hay un solo componente responsable de la variación en las concentraciones de los componentes no proteicos, siendo el ambiente y el genotipo ambos responsables en diferente medida. Conocer dicha influencia es importante en la selección de cultivares y ambientes óptimos para el desarrollo de trigos con propiedades específicas en relación a los carbohidratos (almidón y pentosanos) y minerales.

Además, desde el punto de vista nutricional, conocer que genotipos contienen mayor cantidad de minerales así como también cuales pierden menor contenido luego de la molienda es necesario para poder seleccionar dichos cultivares con el objeto de evitar una gran fortificación posterior de las harinas y producir así alimentos de mejor calidad.

Por otra parte la estimación mediante métodos *in vitro* del grado de absorción de minerales de las pastas elaboradas con harinas integrales y refinadas permite dimensionar el aporte nutricional de este tipo de alimentos que difieren en composición y estructura.

Futuras investigaciones deberán centrarse en las distintas etapas de la elaboración de las pastas con el objetivo de evaluar en que etapa del proceso se pierde mayor contenido de minerales o cual influye más en la dializabilidad de los mismos. Por el otro resulta de interes conocer como influyen los minerales y otros componentes como los hidratos de carbono no digeribles en la regulación de la microbiota en el intestino grueso.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC. American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods Approved Methods of Analysis, 10th Ed. Methods 44-19, 46-13, 55-30, 08-01, 30-10, 38-0 and 32-40. AACC International, St. Paul, MN.
- Abebe Y., Bogale A., Hambidge K. M., Stoecker B. J., Bailey K. and Gibson R. S. 2007. Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural Sidama, Southern Ethiopia, and implications for bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis* 20: 161-168.
- Aboubacar A., Moldenhauer K. A. K., McClung A. M., Beighley D. H. and Hamaker B. R. 2006. Effect of growth location in the United States on amylose content, amylopectin fine structure, and thermal properties of starches of long grain rice cultivars. *Cereal Chemistry* 83: 93-98.
- Addo K., Xiong, Y. L. and Blanchard S. P. 2001. Thermal and dynamic rheological properties of wheat flour fractions. *Food Research International* 34: 329-335.
- Adom K. K., Sorrells M. E. and Rui H. L. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of adlay varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7825-7834.
- Adom K. 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 S., Anjum F. M. and Anjum M. A. 2011. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies. *Food Research International* 44(3): 652-659.
- Akhter S., Saeed A., Irfan M. and Abdullah K. 2012. In vitro dephytinization and bioavailability of essential minerals in several wheat varieties. *Journal of Cereal Science* 56(3): 741-746.
- Albrecht E. H. and Buzzard I. M. 1987. Contents and Retentions of Sodium and Other Minerals in Pasta Cooked in Unsalted or Salted Water. *Cereal Chemistry* 64 (2): 106-109.
- Andreasen M. F., Christensen L. P., Meyer A. S. and Hansen A. 2000. Content of phenolic acids and ferulic acid dehydrodimers in 17 rye (*Secale cereale* L.) varieties. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48: 2837-2842.
- Antoine C., Lullien-Pellerin V., Abecassis J. and Rouau X. 2002. Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments* 22: 545-556.
- Aravind N., Sissons M. J., Fellows C. M., Blazek J. and Gilbert E. P. 2012. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry* 132(2): 993-1002.
- Aschner M. 2000. Manganese: brain transport and emerging research needs. *Environmental Health Perspective* 108: 429-432.
- Atwell W. A., Hood L. F., Lineback D. R., Varriano-Marston E., Zobel H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33: 306-311.
- Bacic A. and Stone B. A. 1981. Chemistry and organisation of aleurone cell wall components from wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 8: 475-495.
- Bagdi A., Tóth B., Lorincz R., Szendi S., Gere A., Kókai Z. and Tömösközi S. 2014. Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread. *LWT - Food Science and Technology* 65: 762-769.

- Bainotti C. T., Fraschina J., Salines J., Alberione E., Gómez D., Donaire G., Nisi J., Masiero B., Conde B., Gutierrez C., Cuniberti M., Mir L., Macagno S., Berra O., Paolini H. and Reartes F. 2010. Evaluación de cultivares de trigo en la E.E.A. Marcos Juárez. Actualización 2010. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, Marcos Juárez, Cba., Argentina, pp 1-12.
- Balla K., Rakszegi M., Zhongy L., Békés F., Benczel A. and Veisz O. 2010. Quality of Winter Wheat in Relation to Heat and Drought Shock after Anthesis. *Journal of Cereal Science* 29: 117-128.
- Barichello V., Yada R. Y., Coffin R. H. and Stanley D. W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. *Journal of Food Science* 54: 1054-1059.
- Barnett J. B., Hamer D. H. and Meydani S. N. 2010. Low zinc status: a new risk factor for pneumonia in the elderly? *Nutritional Review* 68: 30-37.
- Bechtel D. B., Zayas I., Kaleikau L. and Pomeranz Y. 1990. Size distribution of wheat starch granules during endosperm development. *Cereal Chemistry* 67: 59-63.
- Bechtel D. B. and Wilson J. D. 2000. Variability in a starch isolation method and automated digital image analysis system used for the study of starch size distributions in wheat flour. *Cereal Chemistry* 77: 401-405.
- Belton P. S. 1999. On the elasticity of wheat gluten. *Journal of Cereal Science* 29: 103-107.
- BeMiller J. N. and Whistler R. L. 1996. Carbohydrates. En: *Food Chemistry* (3rd Edition). Fennema O. R. (ed.) Marcel Dekker, Nueva York, EUA. pp. 157-223.
- Benito P. and Miller D. 1998. Iron Absorption and bioavailability: an update review. *Nutrition Research* 18(3): 581-603.
- Bertin R., França H. M., Santos de Gois J., Borges D. L. G., Campelo Borges G. S., Gongaza L. V. and Fett R. 2016. Mineral composition and bioaccessibility in *Sarcocornia ambigua* using ICP-MS. *Journal of Food Composition and Analysis* 47: 45-51.
- Berton B., Scher J., Villieras F. and Hardy J. 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology* 128: 326-331.
- Biliaderis C. G., Maurice T. and Vose J. 1980. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* 45: 1669-1674.
- Biliaderis C. G. 1990. Thermal analysis of food carbohydrates. En: *Thermal analysis of foods*. Harwalker V. R. and Ma C.Y. (eds.) Academic Press, New York, EUA. pp. 168-220.
- Biliaderis C. G. 2009. Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. En: *Starch*. Third Edition. BeMiller J. and Whistler R. Oxford, UK, pp. 293-371.
- Biney K. and Beta T. 2014. Phenolic profile and carbohydrate digestibility of durum spaghetti enriched with buckwheat flour and bran. *LWT—Food Science and Technology* 57: 569–579.
- Björck I., Granfeldt Y., Liljeberg H., Tovar J. and Asp N. 1994. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *American Journal of Clinical Nutrition* 59: 699-705.
- Black M. M. 2003. Micronutrient deficiencies and cognitive functioning. *Journal of Nutrition* 133: 3927-3931.

- Blazek J. and Copeland L. 2008. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers* 71(3): 380-387.
- Blumenthal C., Bekes F., Gras P. W., Barlow E. W. and Wrigley C. W. 1995: Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chemistry* 72: 539-544.
- Bohn T., Davidsson L., Walczyk T. and Hurrell R. 2004. Phytic acid added to white-wheat bread inhibits fractional magnesium absorption in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 418-423.
- Bolsa de Comercio Rosario. 2017. Datos sobre área sembrada en Argentina. Publicado en Internet, disponible en <https://www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx>. Activo septiembre 2009.
- Bonomi F., D'Egidio M. G., Iametti S., Marengo M., Marti A., Pagani M. A. and Ragg E. M. 2012. Structure-quality relationship in commercial pasta: A molecular glimpse. *Food Chemistry* 135(2): 348-355.
- Bornhorst G. M. and Singh P. R. 2012. Bolus Formation and Disintegration during Digestion of Food Carbohydrates 11(2): 101–118.
- Borriil P., Connorton J. M., Nalk J., Miller A. J., Sanders D. and Uauy C. 2014. Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-8.
- Bouis H. E. 2003. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *Proceedings of the Nutrition Society* 62: 403-411.
- Bouis H. E., Hotz C., McClafferty B., Meenakshi J. V., Pfeiffer W. H. 2011. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin* 32: 31-40.
- Brennan C. S. 2005. Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research* 49: 560–570.
- Brennan C. S. and Tudorica C. M. 2008. Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 2151–2162.
- Brinch-Pedersen H., Borg S., Tauris B. and Holm P. B. 2007. Molecular genetic approaches to increasing mineral availability and vitamin content of cereals. *Journal of Cereal Science* 46: 308-326.
- Brownlee I. A. 2011. The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids* 25(2): 238-250.
- Brunnel C., Pareyt B., Brijs K. and Delcour J. A. 2010. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products. *Food Chemistry* 120(2): 371-378.
- Buléon A., Colonna P., Planchot V. and Ball S. 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules* 23: 85-112.
- Bustos M. C., Pérez G. T. and León A. E. 2011. Effect of four types of dietary fiber on the technological quality of pasta. *Food Science and Technology International* 17(3): 213-219.
- Cakmak I., Torun A., Millet E., Feldman M., Fahima T., Korol A., Nevo E., Braun H. J. and Özkan H. 2004. *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 50(7): 1047 -1054.

- Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 1-17.
- Cakmak I., Pfeiffer W. H. and McClafferty B. 2010. REVIEW: Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. *Cereal Chemistry* 87(1): 10-20.
- Campbell L. D., Boila R. J. and Stothers S. C. 1995. Variation in the chemical-composition and test weight of barley and wheat grain grown at selected locations throughout Manitoba. *Canadian Journal of Animal Science* 75: 239-246.
- 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.
- Casey B. N., Warthesen J. J. and Miller L. C. 1997. Effect of different wheat starch granule characteristics on mixing properties in a dough system. *Cereal Foods World* 42: 669.
- Cashman K. D. 2002. Calcium intake calcium bioavailability and bone health. *British Journal of Nutrition* 87:169-177.
- Chaplin M. F. 2003. Fibre and water binding. *Proceedings of the Nutrition Society* 62 (1): 223-227.
- Chen C. H. and Bushuk W. 1970. Nature of proteins in Triticale and its parental species I. Solubility characteristics and aminoacid composition of endosperm proteins. *Canadian Journal of Plant Science* 50: 9-14.
- Chen W. Q. 2006. The Trace Element Zinc and Human Body's Health. *Studie Trace Element Health* 23: 62-65.
- Chen J. S., Fei M. J., Shi C. L., Tian J. C., Sun C. L., Zhang H. and Dong H. X. 2011. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles. *Journal of Cereal Science* 53(2): 217-224.
- Chillo S., Laverse J., Falcone P. M., Protopapa A. and Del Nobile M. A. 2008. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of Cereal Science* 47(2): 144-152.
- Chillo S., Ranawana D. V., Pratt M. and Henry C. J. K. 2011. Glycemic response and glycemic index of semolina spaghetti enriched with barley β -glucan. *Nutrition* 27: 653-658.
- Chiotelli E. and Le Meste M. 2002. Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. *Cereal Chemistry* 79: 286-293.
- Chung O. K. 1986. Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten, and protein fractions. *Cereal Food World* 31: 242-256.
- Ciccoritti R., Scalfati G., Cammerata A. and Sgrulletta D. 2011. Variations in content and extractability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) arabinoxylans associated with genetic and environmental factors. *International Journal of Molecular Sciences* 12(7): 4536-4549.
- Colombo A., Pérez G. T., Ribotta P. D. and León A. E. 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(3): 775-780.
- Colonna P., Barry J. L., Cloarec D., Bornet F., Gouiloud S. and Galmiche J. P. 1990. Enzymic susceptibility of starch from pasta. *Journal of Cereal Science* 11: 59-70.
- Cooke D. and Gidley M. J. 1992. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrat Reserch* 227: 103-112.

- Coudray C., Levrat-Verny M. A., Tressol J. C., Feillet-Coudray C., Horcajada-Molteni N. M., Demigné C., Rayssiguier Y. and Rémésy C. 2001. Mineral supplementation of white wheat flour is necessary to maintain adequate mineral status and bone characteristics in rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 15: 131-137.
- Courtin C. M. and Delcour J. A. 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.
- Crossa J., Yang R- C., and Cornelius P. L. 2004. Studying Crossover Genotype × Environment Interaction Using Linear-Bilinear Models and Mixed Models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 9 (3): 362–380.
- Cubadda F., Aureli F., Raggi A. and Carcea M. 2009. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. *Journal of Cereal Science* 49 (1): 92-97.
- Cunin C., Handschin S., Walther P. and Escher E. 1995. Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. *LWT - Food Science and Technology* 28: 323-328.
- Dai Z. M., Yin Y. P. and Wang Z. L. 2009. Starch Granule Size Distribution from Seven Wheat Cultivars Under Different Water Regimes. *Cereal Chemistry* 86(1): 82-87.
- Dammann K. W., Hauge D., Rosen R. A., Schroeder N. and Marquart L. 2013. Consumption and consumer challenges of wholegrain foods. In J. A. Delcour, & K. Poutanen (Eds.), *Fibre- rich and wholegrain foods* (1st ed.) UKA. pp. 130-131.
- Dang J. and Copeland L. 2004. Genotype and environmental influences on pasting properties of rice flour. *Cereal Chemistry* 81: 486-489.
- Davidsson L., Almgren A., Juillerat M. A. and Hurrell R. F. 1995. Manganese absorption in humans: the effect of phytic acid and ascorbic acid in soy formula. *The American Journal of Clinical Nutrition* 62: 984-987.
- De Brier N., Gomand S. V., Donner E., Paterson D., Delcour, J. A. Lombi, E. and Smolders, E. 2015. Distribution of minerals in wheat grains (*Triticum aestivum* L.) and in roller milling fractions affected by pearling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63(4): 1276-1285.
- de Noni I. and Pagani M. A. 2010. Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Critical Reviews in Food Science Nutrition* 50: 465-472.
- Debbouz A. and Doetkott C. 1996. Effects of process variables on spaghetti quality. *Cereal Chemistry* 73: 672-676.
- Delcour J. A., Van Win H. and Grobet P. J. 1999. Distribution and structural variation of arabinoxylans in common wheat mill streams. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47:271-275.
- Delcour J. A., Vansteelandt M., Hythier C., Abecassis J., Sindic M. and Deroanne C. 2002. Fractionation and reconstitution provide insight into the role of gluten and starch interactions in pasta quality. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48: 3767-3773.

- Delcour J. A. 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.
- D'Emden M. C, Marwick T. H, Dregghorn J, Howlett V. L. and Cameron D. P. 1987. Postprandial glucose and insulin responses to different types of spaghetti and bread. *Diabetes Research Clinic* 3: 221-226.
- Demment W. M., Young M. M. and Sensenig R. L. 2003. Providing micronutrients through food-based solutions: a key to human and national development. *Journal of Nutrition* 133: 3879-3885.
- Dengate H. N. and Meredith P. 1984. Do cultivar, season and location of growth affect wheat starch pasting? *Starch/ Stärke* 36: 419-425.
- Dewettinck K., Van Bockstaele F., Kühne B., Van de Walle D., Courtens T. M. and Gellynck X. 2008. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science* 48(2): 243-257.
- Dexter J. E. and Matsuo R. R. 1976. Changes in semolina proteins during spaghetti processing *Cereal Chemistry* 54: 882-894.
- Dexter J. E., Dronzek B. L. and Matsuo R. R. 1978. Scanning electron microscopy of cooked spaghetti. *Cereal Chemistry* 55: 23-30.
- Dexter J. E. and Matsuo R. R. 1979. Changes in spaghetti protein solubility during cooking. *Cereal Chemistry* 56: 394-398.
- 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.
- Distelfeld A., Cakmak I., Peleg Z., Ozturk L., Yazici A. M. and Budak H. 2007. Multiple QTL-effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiology Plant* 129: 635-643.
- Donovan J. W. 1979. Phase transitions of starch-water system. *Biopolymers* 18: 263-275.
- Dornez E., Gebruers K., Joye I. J., De Ketelaere B., Lenartz J., Massaux C. and Courtin C. M. 2008. Effects of fungicide treatment, N-fertilisation and harvest date on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. *Journal of Cereal Science* 47(2): 190-200.
- Dupont F. M. and Alternbach S. B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38: 133-146.
- Eagling T., Andrew L. N., McGrath S. P., Fairweather-Tait S., Shewry P. R. and Zhao F-G. 2014a. Distribution and Speciation of Iron and Zinc in Grain of Two Wheat Genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 708-716.
- Eagling T., Wawer A. A., Shewry P. R., Zhao F. and Fairweather-tait S. J. 2014b. Iron Bioavailability in Two Commercial Cultivars of Wheat: Comparison between Wholegrain and White Flour and the Effects of Nicotianamine and 2'-Deoxymugineic Acid on Iron Uptake into Caco - 2 Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 10320-10325.
- Edwards N. M., Biliaderi C. G. and Dexter J. E. 1995. Textural Characteristics of Wholewheat Pasta and Pasta Containing Non-Starch Polysaccharides. *Journal of Food Science* 60(6): 1321-1324.

- Eliasson A. and Karlsson R. 1983. Gelatinization properties of different size classes of wheat starch granules measured with differential scanning calorimetry. *Starch/Staerke* 35:130-133.
- Eliasson A. and Larsson K. 1993. Bread. En: *Cereals in Breadmaking*. Eliasson A., Larsson K. (eds.) Marcel Dekker, USA, pp. 325-363.
- Eliasson A. Gudmundsson M. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects. En: *Carbohydrates in Food*. Eliasson A. (ed.) Marcel Dekker, USA, pp. 431-503.
- 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.
- Etcheverry P., Grusak M. A. and Fleige L. E. 2012. Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B 6, B 12, D, and E. *Frontiers in Physiology* 3: 1-22.
- Evers A. D. and Lindley J. 1977. The particle-size distribution in wheat endosperm starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 28: 98-101.
- Ewart J. A. D. 1989. Hypothesis for how linear glutenin holds gas in dough. *Food Chemistry* 32: 135- 150.
- Fabek H., Messerschmidt S., Brulport V. and Goff H. D. 2014. The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion. *Food Hydrocolloids* 35: 718-726.
- Fan M-S., Zhao F-J., Fairweather-Tait S. J., Poulton P. R., Dunham S. J. and McGrath S. P. 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 22: 315–324.
- FAIM. 2015. Federación Argentina de la industria molinera. Datos de consumo de harina de Estadística Nacional. Publicado en Internet, disponible en <http://www.faim.org.ar/Nacional.aspx> Activo Enero 2015.
- Fairweather-Tait S. J. 1993. Bioavailability of nutrients. In: Macrae R, Robinson RK, Sadler MJ, editors. *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition*. London: Academic Press, pp. 384-388.
- FAO. 2015. The State of Food Insecurity in the World, pp. 1-56. Publicado en Internet, disponible en www.fao.org. Activo febrero 2002.
- 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>. Activo mayo 2001.
- FDA. FDA provides guidance on “Whole Grain” for manufacturers [cited 2010 Jun 1]. Publicado en Internet, disponible en <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2006/ucm108598.htm>. University Press, Oxford, UK, p. 156. Activo mayo 2003
- Fardet A., Hoebler C., Baldwin P. M., Bouchet B., Gallant D. J. and Barry J. L. 1998. Involvement of the protein network in the in vitro degradation of starch from spaghetti and lasagne: a microscopic and enzymic study. *Journal of Cereal Science* 27: 133-145.
- Fardet A., Abecassis J., Hoebler C., Baldwin P. W., Buleón A., Berot S. and Barry J. L. 1999. Influence of technological modifications of the protein network from pasta on in vitro starch degradation. *Journal of Cereal Science* 30: 133-145.
- 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.
- Fardet A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. *Nutrition Research Reviews* 23: 65-134.
- Faurot A., Saulnier L., Serge B., Popineau Y., Petit M., Rouau X. and Cedex F. N. 1995. Large Scale Isolation of Water-soluble and Water-insoluble Pentosans from Wheat Flour. *Lebensm Wiss Technology* 44: 436-441.
- Fausch H., Kundig W. and Neukom H. 1963. Ferulic acid as a component of a glycoprotein from wheat flour. *Nature* 199-287.
- Febles C. I., Arias A., Hardisson A., Rodriguez-Alvarez C. and Sierra A. 2002. Phytic Acid Level in Wheat Flours. *Journal of Cereal Science* 36: 19-23.
- Feillet P., Ait-Mouh O., Kobrehel K. and Autran J. C. 1989. The role of low molecular weight glutenin proteins in the determination of cooking quality of pasta products: An overview. *Cereal Chemistry* 66: 26-30.
- Feillet P. and Dexter J. E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In J. E. Kruger, R. R. Matsuo, & J. W. Dick (Eds.), *Pasta and noodle technology*. St Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists. pp. 95-131
- Fernández-García E., Carvajal-Lérida I. and Pérez-Gálvez A. 2009. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research* 29 (11): 751-760.
- Ficco D. B. M., Riefolo C., Nicastro G., De Simone V., Di Gesú A. M., Beleggia R., Platini C., Cattivelli L. and De Vita P. 2009. Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. *Field Crops Research* 111(3): 235-242.
- Finnie S. M., Bettge A. D. and Morris C. F. 2006. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chemistry* 83(6): 617-623.
- Forth W. and Rummel W. 1973. Iron absorption. *Physiological Reviews* 53: 724-993.
- Foster-Powell K., Holt S. H. A. and Brand-Miller J. C. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values. *The American Journal of Clinical Nutrition* 76: 5-56.
- Fraga C. G. 2005. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine* 26: 35-244.
- 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.
- Fu B. X. 2008. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Research International* 41: 888-902.
- Fu L., Tian J. C., Sun C. L. and Li C. 2008. RVA and Farinograph Properties Study on Blends of Resistant Starch and Wheat Flour. *Agricultural Sciences in China* 7(7): 812-822.
- Fulcher R. G. and Duke T. K. 2002. Whole-grain structure and organization: Implications for nutritionists and processors. In L. Marquart, L. Slavin, & R. G. Fulcher (Eds.), *Whole-grain foods in health and disease* St. Paul, Minnesota: AACC International. pp 9-45.

- Gaines C. S. 1991. Instrumental measurements of the hardness of cookies and crackers. *Cereal Foods World* 36: 989-996.
- Gan Z., Ellis P. R. and Schofield J. D. 1995. Mini review: Gas cell stabilization and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science* 21: 215-230.
- Gauch H. and Zobel R. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics* 79: 753-761.
- Gauch H. and Zobel R. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M.S. Kang y H.G. Gauch. (eds.). *Genotype-by-Environment interaction*. CRC Press, Boca Ratón. pp. 85-122
- Gauch H. 2006. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488-1500.
- Gebruers K., Dornez E., Bedo Z., Rakszegi M., Fras A., Boros D., Courtin C. M. and Delcour J. A. 2010. Environment and Genotype Effects on the Content of Dietary Fiber and Its Components in Wheat in the HEALTHGRAIN Diversity Screen . *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9353-9361.
- Geera B. P., Nelson J. E., Souza E. and Huber K. C. 2006. Flour pasting properties of wild-type and partial waxy soft wheats in relation to growing environment-induced fluctuations in starch characteristics. *Cereal Chemistry* 83(5): 558-564.
- Gibson T. S., Solah V. A. and McCleary B. V. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. *Journal of Cereal Science* 25: 111-119.
- Gibson R. S., Perlas L. and Hotz C. 2006. Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *The Proceedings of the Nutrition Society* 65(2): 160-168.
- Gidley M. J. and Bulpin P. V. 1987. Crystallisation of maltooligosaccharides as models of the crystalline forms of starch: minimum chain-length requirement for the formation of double helices. *Carbohydrate Research* 161: 291-300.
- Giese J. 1992. Pasta: new twists on an old product. *Food and Technology* 46: 118-126.
- Gilliard T. and Bowler P. 1987. Morphology and composition of starch. *Critical Reports on Applied Chemistry* 13: 55-78.
- Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W. S., Courtin C. M., Gebruers K. and Delcour J. A. 2005. Wheat flour constituents : how they impact bread quality , and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Techonology* 16: 12-30.
- Gomez-Becerra H. F., Erdem H., Yazici A., Tutus Y., Torun B., Ozturk, L. and Cakmak I. 2010. Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *Journal of Cereal Science* 52(3): 342-349.
- Gómez M., León A. E. and Rosell M. 2007. Trigo. En: *De tales harinas tales panes*. León A. E. and Rosell M (eds.) Córdoba, Argentina, pp. 17-71.
- Graveland A., Bosveld P., Lichtendonk W. J. and Moonen J. H. E. 1980. Superoxide involvement in the reduction of disulfide bonds of wheat gel proteins. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 93: 1189-1195.
- Graybosch R. A., Souza E., Berzonsky W. and Baenziger P. S. 2003. Functional properties of waxy wheat flours : genotypic and environmental effects. *Journal of Cereal Science* 38: 69-76.
- Gruppen H., Komelink F. J. M. and Voragen A. G. J. 1993. Water unextractable cell wall material from wheat flour. III. A structural model for arabinoxylans. *Journal of Cereal Science* 19: 111-128.

- Gunness P. and Gidley M. J. 2010. Mechanisms underlying the cholesterol lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *Food and Function* 1: 149-155.
- Guzmán C., Medina-Larque A. S., Velu G., Gonzalez-Santoyo H., Singh R. P. Huerta-Espino J., Ortiz-Monasterio I. and Peña R. J. 2014. Use of wheat genetic resources to develop biofortified wheat with enhanced grain zinc and iron concentrations and desirable processing quality. *Journal of Cereal Science* 60(3): 617-622.
- Haas E. M. 2000. Role of potassium in maintaining health. Publicado en Internet, disponible en <http://hkpp.org/patients/potassiumhealth>. Activo noviembre 2006.
- Hall J. E. 2011. Propulsion and mixing of foods in alimentary tract. En: *Textbook of medical physiology*. Elsevier Ed. Twelve Edition. USA, pp. 781-789.
- Haralampu S. G. 2000. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers* 41: 285-292.
- Hashimoto S., Shogren M. and Pomeranz Y. 1987. Cereal pentosans: Estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chemistry* 64: 30-34.
- Hatcher D. W., Anderson M. J., Desjardins R. G., Edwards N. M. and Dexter J. E. 2002. Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white salted noodles. *Cereal Chemistry* 79(1): 64-71.
- Hemalatha S., Platel K. and Srinivasan K. 2007. Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. *Food Chemistry* 102: 1328-1336.
- Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C. and Abecassis J. 2007. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science* 46: 327-347.
- Hennen W. K. and Brismar K. 2003. Structure of cooked spaghetti of durum and bread wheats. *Starch/Stärke* 55: 546-557.
- Hirawan R., Ser W. Y., Arntfield S. D. and Beta T. 2010. Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. *Food Chemistry* 119(1): 258-264.
- Hirawan R. and Beta T. 2014. Whole wheat pastas and Health. En: *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Ronald Ross Watson, Victor Preedy and Sherma Zibadi. Estados Unidos, pp. 1-12.
- Hizukuri S. 1986. Polymodal distribution of chain lengths of amylopectins and its significance. *Carbohydrate Research* 147: 342-347.
- Hoebler C., Karinthe A., Devaux M. F., Guillon F., Gallant D. J. G., Bouchet B., Melegari C., and Barry J. L. 1998. Physical and chemical transformations of cereal food during oral digestion in human subjects. *British Journal of Nutrition* 80: 429-436
- Hong B. H., Rubenthaler G. L. and Allan R. E. 1989. Wheat Pentosans. I. Cultivar Variation and Relationship to Kernel Hardness. *Cereal Chemistry* 66(5): 369-373.
- Hoover R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers* 45: 253-267.
- Hoseney R. C., Finney K. F., Pomeranz Y., Shogren M. D. 1971. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. VII. Starch. *Cereal Chemistry* 48: 191-201.
- Hoseney R. C., Zeleznak K. J. and Yost D. A. 1986. A note on the gelatinization of starch. *Starch/Stärke* 38: 407-409.

- Hoseney R. C. 1994a. Capítulo 1: Structure of cereal. En: Principles of cereal science and technology, 2nd Edition. Editado por Hoseney RC. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA, pp. 378.
- Hoseney R. C. 1994b. Capítulo 6: Dry milling of cereal. En: Principles of cereal science and technology, 2nd Edition. Editado por Hoseney, R.C. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA, pp. 97-105.
- Hotz C. and Brown K. H. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutritional Bull* 25: 94-204.
- Hung P. V., Maeda T. and Morita N. 2006. Waxy and high-amylose wheat starches and flours - characteristics, functionality and application. *Trends in Food Science and Technology* 17: 448-456.
- Hung P. V., 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 W. J., McCue K. F., Altenbach S. B., Korn A., Tanaka C. K., Kothari K. M., Johnson L E., Betchel D. B., Wilson J. D., Anderson O. D. and DuPont F. M. 2003. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science* 164(5): 873-881.
- Hurkman W. J. and Wood D. F. 2010. Starch granule formation and protein deposition in wheat *Triticum aestivum* L.) starchy endosperm cells is altered by high temperature during grain filling. *Proceedings Article 7729*: 1-8.
- Icard-Vernière C. and Feillet P. 1999. Effects of mixing conditions on pasta dough development and biochemical changes. *Cereal Chemistry* 76(4): 558-565.
- Iglesias-Puig E., Monedero V. and Haros M. 2015. Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. *LWT - Food Science and Technology* 60(1): 71-77.
- Ikedal S., Tomural K., Miyal M. and Kreft I. 2003. Changes in the solubility of the minerals in buckwheat noodles occurring by processing , cooking and enzymatic digestion. *Fagopyrum* 20: 67-71.
- INASE, Instituto Nacional de Semillas. Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo. Campaña 2009 y 2010. Publicado en internet, disponible en https://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91. Activo febrero 2000.
- InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Publicado en Internet, disponible en <http://www.infostat.com.ar>. Activo noviembre 2001.
- INTA, 1981. El cultivo de trigo. Colección principales cultivos de Argentina. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación, INTA, Buenos Aires.
- Itkonen S. T., Ekholm P. J., Kemi V. E. and Lamberg-Allardt C. J. E. 2012. Analysis of in vitro digestible phosphorous content in selected processed rye, wheat and barley products. *Journal of Food Composition and Analysis* 25: 185-189.
- Izydorczyk M. S., Biliaderis C. G. and Bushuk W. 1990. Oxidative gelation studies of water-soluble pentosans from wheat. *Journal of Cereal Science* 11: 153-169.
- Jazaeri S., Bock J. E., Bagagli M. P., Iametti S. and Bonomi F. 2015. Structural Modifications of Gluten Proteins in Strong and Weak Wheat Dough During Mixing. *Cereal Chemistry* 92: 105-113.

- Jeffrey G. A. and Saenger W. 1994. *Hydrogen Bonding in Biological Structures*, Springer-Verlag, Berlin; New York. 569 pp.
- Jende-Strid B. 1985. Phenolic acids in grains of wild-type barley and proanthocyanidin-free mutants. *Carlsberg Research Communication* 50:1-14.
- Jenkins P. J., Cameron R. E. and Donald A. M. 1993. A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch/Starke* 45: 417-420.
- Jenkins P. J. and Donald A. M. 1998. Gelatinization of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study. *Carbohydrate Research* 308: 133-147.
- Jiang D., Yue H., Wollenweber B., Tan W., Mu W. and Bo Y. 2009. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on accumulation of high-molecularweight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 89-97.
- Jiang L.-N., Shao M., Liu L. and Li C.-X. 2007. Effects of genotypes and environments on pentosan content and viscosity in wheat grains (in Chinese/English abstract). *Journal Henan Agricultural Science* 1:17-19.
- Jonnalagadda S. S, Harnack L., McKeown N., Seal C. and Liu S. 2010. Putting the whole grain puzzle together: health benefits associated with whole grains-summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium. *Journal of Nutrition* 141: 1011-1022.
- Joshi P. y Brimelow C. 2002. Parte I: Capítulo 5: Colour measurement of food by colour reflectance. En: *Colour in food*. Editado por MacDougall D.B. Woodhead Publishing in Food Science and Technology. Cambridge, England, pp.80-110.
- Joshi A. K., Crossa J., Arun B., Chand R., Trethowan R., Vargas M. and Ortiz-Monasterio I. 2010. Genotype \times environment interaction for zinc and iron concentration of wheat grain in eastern Gangetic plains of India. *Field Crops Research* 116(3): 268-277.
- Kanumakala S., Boneh A. and Zacharin M. 2002. Pamidronate treatment improves bone mineral density in children with Menkes disease. *Journal of Inherited Metabolic Disease* 25: 391-398.
- Kasarda D. D, 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.
- Kasarda D. D. 1999. 'Glutenin Polymers: The in Vitro to in Vivo Transition. *Cereal Food World* 44: 566-571.
- Kashian S. and Fathivand A. A. 2015. Estimated daily intake of Fe, Cu, Ca and Zn through common cereals in Tehran, Iran. *Food Chemistry* 176: 193-196.
- Kaur G., Sharma S., Nagi H. P. S. and Dar B. N. 2012. Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans. *Journal of Food Science and Technology* 49(4): 467-474.
- 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.
- 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 S. K. and D'Appolonia B. L. 1977a. Bread staling studies. III. Effect of pentosans on dough, bread and bread staling rate. *Cereal Chemistry* 54: 225-229.

- Kim S. K. and D'Appolonia B. L. 1977b. Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chemistry* 54: 150-160.
- Kim E. H. J., Petrie J. R., Motoi L., Morgenstern M. P., Sutton K. H., Mishra S. and Simmons L. D. 2008. Effect of structural and physicochemical characteristics of the protein matrix in pasta on in vitro starch digestibility. *Food Biophysics* 3: 229-234.
- Kim H. S. and Huber K. C. 2010. Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch. *Journal of Cereal Science* 51(3): 256-264.
- Kloots W., Op den Kamp D. and Abrahamse L. 2004. In vitro iron availability from iron-fortified whole-grain wheat flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(26): 8132-8136.
- Kohyama K., Matsuki J., Yasui T. and Sasaki T. 2004. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. *Carbohydrate Polymers* 58(1): 71-77.
- Kong F. and Singh R. P. Disintegration of Solid Foods in Human Stomach. 2008. *Journal of Food Science* 73 (5): 67-80.
- Kordonowy R. K. and Youngs V. L. 1985. Utilization of durum bran and its effect on spaghetti. *Cereal Chemistry* 62: 301-308.
- Kris-Etherton P. M., Hecker K. D, Bonanome A., Coval S. M., Binkoski A. E., Hilpet K. F., Griel A. E., Etherton T. D. 2002. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine* 113: 71-88.
- Kulp K. 1973. Characteristics of small-granule starch of flour and wheat. *Cereal Chemistry* 50: 666-679.
- Kunerth W. H. and Youngs V. L. 1984. Effect of variety and growing year on the constituents of durum bran fiber. *Cereal Chemistry* 61: 350-352.
- La Frano M. R., de Moura F. F., Boy E., Linnerdal B. and Burri B. J. 2014. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews* 72(5): 289-307.
- Labuschagne M. T., Elago O. and Koen E. 2009. The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread , biscuit and durum wheat. *Journal of Cereal Science* 49(2): 184-189.
- Larroque O., Gianibelli M., Gomez Sanchez 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.
- Latunde-Dada G. O., Li X., Parodi A., Edwards C. H., Ellis P. R. and Sharp P. A. 2014. Micromilling enhances iron bioaccessibility from wholegrain wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(46): 11222-11227.
- Lazarte C. E., Carlsson N. G., Almgren A., Sandberg A. S. and Granfeldt Y. 2015. Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis* 39: 111-119.
- Le Roux D., Vergnes B., Chaurand M. and Abecassis J. 1995. A thermomechanical approach to pasta extrusion. *Journal of Food Engineering* 26: 351-368.
- Lempereur I., Rouau X. and Abecassis J. 1997. Genetic and Agronomic Variation in Arabinoxylan and Ferulic Acid Contents of Durum Wheat (*Triticum durum* L.) Grain and Its Milling Fractions. *Journal of Cereal Science* 25(2): 103-110.

- Lezcano E. 2014. Informe Sectorial de las Cadenas Agroalimentarias- Anual 2014 Farináceos. Publicado en Internet, disponible en <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/>. Activo septiembre 2012.
- Li W. Y., Yan S. H., Yin Y. P., Li Y., Liang T. B., Gu, F., Dai Z. M. and Wang, Z. L. 2008. Comparison of Starch Granule Size Distribution Between Hard and Soft Wheat Cultivars in Eastern China. *Agricultural Sciences in China* 7(8): 907-914.
- Li S., Morris C. F. and Bettge A. D. 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 C., Li C. Y., Zhang R. Q., Liang W., Kang X. L., Jia Y. and Liao Y. C. 2015. Effects of drought on the morphological and physicochemical characteristics of starch granules in different elite wheat varieties. *Journal of Cereal Science* 66: 66-73.
- Li Y., Ma D., Sun D., Wang C., Zhang J., Xie Y. and Guo T. 2015. Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *The Crop Journal* 3(4): 328-334.
- Lim S., Jane J.-L., Rajagopalan S. and Seib P. A. 1992. Effects of starch granule size on physical properties of starch-filled polyethylene film. *Biotechnology Progress* 8:51-55.
- Lin P. Y. and Czuchajowska Z. 1997. Starch properties and stability of club and soft white winter wheats from the Pacific Northwest of the United States. *Cereal Chemistry* 74: 639-646.
- Liu S., Manson J. E., Stampfer M. J., Hu F. B., Giovannucci E., Colditz G. A., Hennekens C. H. and Willett W. C. 2000. A prospective study of whole grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *American Journal of Public Health* 90: 1409-1415.
- Liu H., Yu L., Xie F. W. and Chen L. 2006. Gelatinization of corn starch with different amylase/amylopectin contents. *Carbohydrate Polymers* 65: 357-363.
- Liu R. H. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* 46(3): 207-219.
- Liu H., Wang Z. H., Li F., Li K., Yang N., Yang Y., Huang D., Liang D., Zhao H., Mao H., Liu J. and Qiu W. 2014. Grain iron and zinc concentrations of wheat and their relationships to yield in major wheat production areas in China. *Field Crops Research* 156: 151-160.
- 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.
- Liyana-Pathirana, C. M. and Shahidi, F. 2007. The antioxidant potential of milling fractions from breadwheat and durum. *Journal of Cereal Science* 45: 238-247.
- Lucarini M., Di Lullo G., Cappelloni M. and Lombardi-Boccia G. 2000. In vitro estimation of iron and zinc dialysability from vegetables and composite dishes commonly consumed in Italy: Effect of red wine. *Food Chemistry* 70(1): 39-44.
- Lyons G. H., Genc Y., Stangoulis J. C. R., Palmer L. T. and Graham R. D. 2005. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheatselenium content. *Biological Trace Element Research* 103: 155-168.
- Loney D. P. and Meredith P. 1974. Note on amylograph viscosities of wheat flours and heir starches during storage. *Cereal Chemistry* 51: 702-705.

- López H. W., Levrat M-A., Guy C., Messenger A., Demigne C. and Remesy C. 1999. Effects of soluble corn bran arabinoxylanson cecal digestion, lipid metabolism, and mineral balance (Ca, Mg) in rats. *Journal of Nutritional Biochemistry* 10 (9): 500–509.
- López H. W., Leenhardt F., Coudray C. and Remesy C. 2002. Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition?. *International Journal of Food Science and Technology* 37: 727-739.
- Lotfi M., Mannar M. G. V., Merx R. H., Naber-van D. and Heuvel P. 1996. Micronutrient fortification of foods: Current practices, research and opportunities. The Micronutrient Initiative, Ottawa, International Agriculture Centre, Wageningen.magnetic resonance imaging. *Food Research International* 62:644-652.
- Luabeya K. K., Mpontshane N., Mackay M., Ward H., Elson I., Chhagan M., Tomkins A., Van den Broeck J. and Bennish M. L. 2007. Zinc or multiple micronutrient supplementations to reduce diarrhea and respiratory disease in South African children: a randomized controlled trial. *PLoS One* 2(6): 541.
- Lv J., Yu L., Lu Y., Niu Y., Liu L., Costa J. and Yu L. 2012. Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. *Food Chemistry* 135(2): 325-331.
- McClements D. J., Decker E. A., Park Y. and Weiss J. 2008. Designing Food Structure to Control Stability, Digestion, 371 Release and Absorption of Lipophilic Food Components. *Food Biophys* 3 (2): 219–228.
- Maningat C. C. and Seib P. A. 1997. Update on wheat starch and its uses. *Proc. Int. Wheat Quality Conference*. J. L. Steele and O. K. Chung, eds. Grain Industry Alliance: Manhattan, KS, pp. 261-284.
- Manners D. J. 1989. Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydrate Polymers* 11: 87-112.
- Manning T. S. and Gibson G. R. 2004. Prebiotics. *Best Practice & Research in Clinical Gastroenterology* 18: 287-298.
- Manthey F. A. and Schorno A. L. 2002. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. *Cereal Chemistry* 79(4): 504-510.
- Marchylo B. A., Dexter J. E. and Malcolmson L. J. 2004. Improving the texture of pasta. En: *Texture in Food*. Ed. Kilcast D. Woodhead Publishing LTD and CRC Press LLC. CRC Press Boca Raton. Vol. 2: Solid Foods, pp. 40-56.
- Marconi E., Carcea M., Schiavone M. and Cubadda R. 2002. Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chemistry* 79: 634-639.
- Mares D. J. and Stone B. A. 1973. Studies on wheat endosperm. III. Galactose-rich polysaccharides. *Australian Journal of Biology and Science* 26: 1005-1007.
- Martinant J.-P., Billot A., Bouguennec A., Charmet G., Saulnier L. and Branlard, G. 1999. Genetic and environmental variations in waterextractable arabinoxylans content and flour extract viscosity. *Journal of Cereal Science* 30: 45-48.
- Martínez C., Ros G., Periago M. and Lopez G. 1999. Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 49: 106-113.
- Martínez C., Ribotta P. D., León A. E. and Añón M. C. 2007. Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies* 38: 666-683.

- Martínez C., Ribotta P., Añón M. C. and León, A. E. 2013. Effect of amaranth flour (*Amaranthus mantegazzianus*) on the technological and sensory quality of breadwheat pasta. *Food Science and Technology International* 20 (2): 127-135.
- Martínez C., Ribotta P. D. and León A. E. 2014. Influence of the addition of *Amaranthus mantegazzianus* flour on the nutritional and health properties of pasta. *Food Science and Technology International* 20: 125-135.
- Mateo Anson N., Berg V. D. R., Havenaar R., Bast A., Haenen G. R. M. M. 2008. Ferulic acid from aleurone determines the antioxidant potency of wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 5589-5594.
- Matsuki J., Yasui T., Kohyama K. and Sasaki T. 2003. Effects of Environmental Temperature on Structure and Gelatinization Properties of Wheat Starch. *Cereal Chemistry* 80(4): 476-480.
- Matsuo R. R., Dexter J. E. and Dronzek B. L. 1979. Scanning electron microscopy study of spaghetti processing. *Cereal Chemistry* 55: 744-753.
- Matsuo R. R., Dexter J. E., Boudreau A. and Daun J. K. 1986. The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry* 63: 484-489.
- Matz S. 1999. *Bakery Technology and Engineering*, 3^o Edition. Editado por Matz, S. Pan-Tech International, USA, pp.110-125.
- Mayer J. E., Pfeiffer W. H. and Beyer P. 2008. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 166-170.
- Mazzolini A. P., Pallaghy C. K. and Legge G. J. F. 1985. Quantitative microanalysis of Mn, Zn and other elements in mature wheat seed. *New Phytologist* 100: 483-509.
- Melgar R. 2006. Fertilización en trigo. Disponible en <http://www.fertilizando.com>. Activo Julio 2007.
- Mellen P. B., Walsh T. F. and Herrington D. M. 2008. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 18: 283-290.
- Meschino J. 2002. Calcium: requirements, bioavailable forms, physiology and clinical aspects. *Dynamic Chiropractic* 20:1-8.
- Meuser F. and Suckow P. 1986. *Chemistry and physics of baking*. Blanshard M. V, Frazier P. J, Galliard T. (eds.) The Royal Society of Chemistry, London, pp. 42-61.
- Meyer K. A., Kushi L. H., Jacob D. R. J., Slavin J., Sellers T. A. and Folsom A. R. 2000. Carbohydrates, dietary fiber, incident type 2 diabetes mellitus in older women. *American Journal Clinical Nutrition* 71: 921-930.
- Minekus M., Alminger M., Alvito P., Ballance S., Bohn T., Bourlieu C., Carriere F., Boutrou R., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Egger L., Golding M., Karakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A., Marze S., McClements D. J., Menard O., Recio I., Santos C. N., Singh R. P., Vegarud G. E., Wickham M. S. J., Weitschies W. and Brodkorb A. 2014. A Standardised Static in Vitro Digestion Method Suitable for Food - an International Consensus. *Food Function* 5 (6): 1113–1124.
- Ministerio de Salud. Anemia: La desnutrición oculta Resultados de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud –ENNyS– 2008 Autores: Laura Kogan, Enrique Abeyá Gilardón, Ana Biglieri, Guadalupe Mangialavori, Elvira Calvo, Pablo Durán pp 21-22.
- Ministerio de Salud. Mensajes y graficas de las guías alimentarias para la población argentina 2016. Publicado en internet, disponible en

<http://www.msal.gob.ar/ent/index.php/component/content/article/9-informacion-ciudadanos/482-mensajes-y-grafica-de-las-guias-alimentarias-para-la-poblacion-argentina>. Activo noviembre 2001.

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Estimaciones Agrícolas 2014. Publicado en Internet, disponible en <http://dev.sii.gov.ar/series>. Activo octubre 2012.
- Moiraghi M., Vanzetti L., Pfluger L., Helguera M. and Pérez G. T. 2013. Effect of high molecular weight glutenins and rye translocations on soft wheat flour cookie quality. *Journal of Cereal Science* 58(3): 424-430.
- Mongeau R. 2003. Dietary fibre. In R. Macrae, R. K. Robinson, & M. J. Sadler (Eds.), *Encyclopaedia of food science and nutrition*. New York: Academic Press. pp. 1362-1387.
- Moore J., Liu J. G., Zhou K. Q. and Yu L. L. 2006. Effects of genotype and environment on the antioxidant properties of hard winter wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 5313-5322.
- Moore K. L., Zhao F.-J., Gritsch C. S., Tosi P., Hawkesford M. J., McGrath S. P., Shwery P. R. and Grovenor C. R. M. 2012. Localisation of iron in wheat grain using high resolution secondary ion mass spectrometry. *Journal of Cereal Science* 55(2): 183-187.
- Morita N., Maeda T., Miyazaki M., Yamamori M., Miura H. and Ohtsuka I. 2002. Dough and Baking Properties of High-Amylose and Waxy Wheat Flours. *Cereal Chemistry* 79: 491-495.
- Morgounov A., Gómez-Becerra H. F., Abugaliev A., Dzhunusova M., Yessimbekova M., Muminjanov H. and Cakmak I. 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica* 155(1-2): 193-203.
- Morris C. F., King G. E. and Rubenthaler G. L. 1997. Contribution of wheat flour fractions to peak hot paste viscosity. *Cereal Chemistry* 74(2): 147-153.
- Morrison W. R., Law R. V. and Snape C. E. 1993. Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches. *Journal of Cereal Science* 18: 107-109.
- Murphy K. M., Reeves P. G. and Jones S. S. 2008. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. *Euphytica* 163: 381-390.
- Nachtergaele W. and Van Nuffel J. 1989. Starch as stilt material in carbonless copy paper—New developments. *Starch/Stärke* 41: 386-392.
- Ng P. and 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.
- Nhan M. T. and Copeland L. 2014. Effects of growing environment on properties of starch from five Australian wheat varieties. *Cereal Chemistry* 91(6): 587-594.
- Nishizawa C., Ohta T., Egashira Y. and Sanada H. 1998. Ferulic acid contents in typical cereals. *The Japanese Society for Food Science and Technology* 45: 499-503.
- Niu M., Hou G. G., Wang L. and Chen Z. 2014. Effects of superfine grinding on the quality characteristics of whole-wheat flour and its raw noodle product. *Journal of Cereal Science* 60: 382-388.
- Ockenden I, Dorsch J. A., Reid M. M., Lin L, Grant L. K., Raboy V. and Lott J. N. A. 2004. Characterization of the storage of phosphorus, inositol phosphate and cations

- in grain tissues of four barley (*Hordeum vulgare* L.) low phytic acid genotypes. *Plant Science* 167: 1131-1142.
- Okarter N., Liu C., Sorrells M. E. and Liu R.H. 2010. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. *Food Chemistry* 199: 249–257.
- Orth R. A. and Bushuk W. 1972. A comparative study of proteins of wheats of diverse baking quality. *Cereal Chemistry* 49: 268-275.
- Osborne T. B. 1907. Proteins of the wheat kernel. Publication of the Carnegie Institution Washington 84: 1-119.
- Oury F. X., Leenhardt F., Ramesy C., Chanliaud E., Duperrier B., Balfourier F. and Charmet G. 2006. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. *European Journal of Agronomy* 25(2): 177-185.
- Panozzo J. F. and Eagles H. A. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Australian Journal of Agricultural Research* 51(5): 629-636.
- Patel S. 2012. Cereal bran: the next super food with significant antioxidant and anticancer potential. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism* 5(2): 91–104.
- Parada J. and Aguilera J. M. 2007. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science* 72: 21-32.
- Pascoe D. A. and Fulcher G. 2007. Biochemistry and compartmentalization of cereal grain components and their functional relationship to mammalian health. En: *Whole grains health* L. Marquart, Jr. Jacobs, G. H. McIntosh, K. Poutanen, & M. Reicks (Eds.) USA, pp. 89-113.
- Peleg Z., Saranga Y., Yazici A., Fahima T., Ozturk L. and Cakmak I. 2008. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. *Plant and Soil* 306(1-2): 57-67.
- Peña R. J., Trethowan R., Dfeiffer W. H. and van Ginkel M. 2002. Quality (end use) improvement in wheat: compositional, genetic, and environmental factors. *Journal of Crop Production* 5: 1-37.
- Peng M., Gao M., Abdel-Aal E.-S., Hucl P. and Chibbar R. N. 1999. Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chemistry* 76: 375-379.
- Pérez S., Baldwin P. M. and Gallant D. J. 2009. Structural Features of Starch Granules I. En: *Starch*. Third Edition. Third Edition. BeMiller J. and Whistler R. Oxford, UK, pp. 149-192.
- 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.
- Perlin A. S. 1951. Structure of the soluble pentosans of wheat flours. *Cereal Chemistry* 28: 282-393.
- Perry P. A. and Donald A. M. 2000. The effects of low temperatures on starch granule structure. *Polymer* 41: 6361-6373.
- Persson D. P., Hansen T.H., Laursen K. H., Schjoerring J. K. and Husted S. 2009. Simultaneous iron, zinc, sulfur and phosphorus speciation analysis of barley grain tissues using SEC-ICP-MS and IP-ICP-MS. *Metallomics* 1: 418-426.
- Petitot M., Abecassis J. and Micard V. 2009. Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends in*

- Food Science and Technology 20(11-12): 521-532.
- Podio N. S., Baroni M. V., Badini R. G., Inga M., Ostera H. A., Cagnoni M., Gautier E. A., Peral García P., Hoogewerff J. and Wunderlin D. A. 2013. Elemental and Isotopic Fingerprint of Argentinean Wheat. Matching Soil, Water, and Crop Composition to Differentiate Provenance. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 61: 3763-3773.
- Pomeranz Y. and McMasten M. M. 1968. Structure and composition of the wheat kernel. *Bakerb Dig* 42: 24-32.
- 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. In: 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.
- Prior R., Wu X. and Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (10): 4290-4302.
- Pulido R., Bravo L. and Saura-Calixto F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (8): 3396-3402.
- Raeker M. Ö., Gaines C. S., Finney P. L. and Donelson T. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry* 75(5): 721-728.
- Ragae S. and Abdel-Aal E. S. M. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry* 95(1): 9-18.
- Ramseyer D. D., Bettge A. D. and Morris C. F. 2011. Arabinoxylans in Wheat Flour Mill Streams. *Cereal Chemistry* 88(2): 209-216.
- Ramy A., Salama M. F. and Shouk A. A. 2002. Pollard as potential source of dietary fibre for pasta manufacture. *Egyptian Journal of Food Science* 30(2): 313-330.
- Rayas-Duarte P., Mock C. M. and Satterlee L. D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flour. *Cereal Chemistry* 73: 381-387.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. and Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26 (9-10): 1231-1237.
- Renger A. and Steinhart H. 2000. Ferulic acid dehydrodimers as structural elements in cereal dietary fibre. *European Food Research and Technology* 211:422-428.
- Resmini P. and Pagani M. A. 1983. Ultrastructure Studies of Pasta. *Food Microstructure* 2: 1-12.
- RET, Red de Ensayos comparativos de Trigo, Instituto Nacional de Semillas. Publicado en internet, disponible en http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91. Activo agosto 2011.
- Ritchie S., Swanson S. J. and Gilroy S. 2000. Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research* 10: 193-212.
- Rolee A. and LeMeste M. 1999. Effect of moisture content on thermomechanical behavior of concentrated wheat starch-water preparations. *Cereal Chemistry* 76(3): 452-458.

- Rosa N. N., Barron C., Gaiani C., Dufour C. and Micard V. 2013. Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat brain. *Journal of Cereal Science* 57: 84-90.
- Rosa-Sibakov N., Poutanen K., Micard V. 2014. How does wheat grain, bran and aleurone structure impact their nutritional and technological properties?. *Trends in Food Science and Technology* 1-17.
- Rosicka-Kaczmarek J., Kwaśniewska-Karolak I., Nebesny E. and Miśkiewicz K. 2013. Influence of variety and year of wheat cultivation on the chemical composition of starch and properties of glucose hydrolysates. *Journal of Cereal Science* 57(1): 98-106.
- Sahlstrom S., Brathen E., Lea P., Autio K. 1998. Influence of starch granule size distribution on bread characteristics. *Journal of Cereal Science* 28: 157-164.
- Salman H., Blazek J., Lopez-Rubio A., Gilbert E. P., Hanley T. and Copeland L. 2009. Structure-function relationships in A and B granules from wheat starches of similar amylose content. *Carbohydrate Polymers* 75(3): 420-427.
- Salomón, N y Miranda, R. 2001. Índice de calidad industrial en trigo: una herramienta para determinar la aptitud de los materiales genéticos. En: "Estrategias y metodologías usadas en el mejoramiento de trigo". CIMMYT-INIA. Editores: M. Kohli, M.D. de Ackerman y M. Castro. Editorial: Hemisferio Sur. ISBN: 9974-7586-2-9.
- Sanz-Penella J. M., Laparra J. M., Sanz Y. and Haros M. 2012. Assessment of iron bioavailability in whole wheat bread by addition of phytase-producing bifidobacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(12): 3190-3195.
- Saulnier L., Sado P-E., Branlard G., Charmet G. and Guillon F. 2007. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. *Journal of Cereal Science* 46: 261–281.
- Schulze K. 2006. Imaging and modelling of digestion in the stomach and the duodenum *Neurogastroenterol* 18(3): 172-83.
- Seib P. A. 1994. Wheat starch: Isolation, structure and properties. *Oyo Toshitsu Kagaku* 41:49-69.
- Sengul H., Surek E. and Nilufer-Erdil D. 2014. Investigating the Effects of Food Matrix and Food Components on Bioaccessibility of Pomegranate (*Punica Granatum*) Phenolics and Anthocyanins Using an in-Vitro Gastrointestinal Digestion Model. *Food Research International* 62: 1069–1079.
- Shewry P. R., Tatham A. S., Forde J., Kreis M. and Mifflin B. J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science* 4: 97-106.
- Shewry P. R., Halford N. G. and Tatham A. S. 1992. The high molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science* 15: 105-120.
- Shewry P. R. and Tatham A. S. 1997. Disulphide Bonds in Wheat Gluten Proteins. *Journal of Cereal Science* 25: 207-227.
- Shewry P. R., Popineau Y., Lafiandra D., and Belton P. 2001. Wheat glutenin subunits and dough elasticity: findings of the Eurowheat Project. *Trend in Food Science and Technology* 11: 433-441.
- Shewry P. R., Halford N. G. and Lafiandra D. 2003. Genetics of wheat gluten proteins. *Advances in Genetics* 49: 111-184.
- Shewry P. R., Piironen V., Lampi A. M., Edelmann M., Kariluoto S., Nurmi T., Fernandez-Orozco R., Ravel C., Charmet G., Andersson A. M., Aman P., Boros D.,

- Gebruers K., Dornez E., Courtin C. M., Delcour J. A., Rakszegi M., Beso Z. and Ward, J. L. 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.
- Shi Y-C., Seib P. A. and Bernardini J. E. 1994. Effects of temperature during grain-filling on starches from six Wheat cultivars. *Carbohydrate Research* 71(4): 369-383.
- Shiau S.-Y., Wu T.-T. and Liu, Y.-L. 2012. Effect of the Amount and Particle Size of WheatFiber on Textural and Rheological Properties of Raw, Dried and Cooked Noodles. *Journal of Food Quality* 35: 207-216.
- Shibanuma K., Takeda Y., Hizukuri S. and Shibata S. 1994. Molecular structures of some wheat starches. *Carbohydrate Polymers* 25: 111-116.
- Shinde S. V., Nelson J. E. and Huber K. C. 2003. Soft wheat starch pasting behavior in relation to A- and B-type granule content and composition. *Cereal Chemistry* 80: 91-98.
- Shogren R. L. 1992. Effect of moisture content on the melting and subsequent physical aging of cornstarch, *Carbohydrate Polymers* 19: 83-90.
- Siebenmorgen T. J., Grigg B. C. and Lanning S. B. 2013. Impacts of preharvest factors during kernel development on rice quality and functionality. *Annual Review of Food Science and Technology* 4: 101-115.
- Simpson K. M., Morris E. R. and Cook J. D. 1981. The inhibitory effect of bran on ironabsorption in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 34: 1469-1478.
- Singh S., Gupta A. K., Gupta S. K. and Kaur N. 2010. Effect of sowing time on protein quality and starch pasting characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown under irrigated and rain-fed conditions. *Food Chemistry* 122: 559-565.
- Singh N., Singh S., Isono N., Noda T. and Singh A. M. 2009. Diversity in amylopectin structure, thermal and pasting properties of starches from wheat varieties/lines. *International Journal of Biological Macromolecules* 45(3): 298-304.
- Sissons M. J., Egan N. E. and Gianibelli M. C. 2005. New insights into the role of gluten on durum pasta quality using reconstitution method. *Cereal Chemistry* 82: 601-608.
- Sissons M. J. and Fellows C. M. 2014. Sensory, Technological, and Health Aspects of Adding Fiber to Wheat-Based Pasta. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* 211-222.
- Slavin J. 2000. Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 300-307.
- Slavin J. 2003. Why whole grains are protective: biological mechanisms. *The Proceedings of the Nutrition Society* 62(1): 129-34.
- Slavin J. 2004. Whole grains and human health. *Nutrition Research Reviews* 17(1): 99-110.
- 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.
- Soulaka A. B. and Morrison W. R. 1985. The amylose and lipid contents, dimensions, and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A- and B granule fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 709-718.
- Southon S., Fairweather-Tait J. and Hazell T. 1998. Trace element availability from the human diet. *Proceeding Nutrition Society* 47: 27-35.

- Souza E., Kruk M. and Sunderman D. W. 1994. Association of sugarsnap cookie quality with high molecular weight glutenin alleles in soft white spring wheats. *Cereal Chemistry* 71: 601-605.
- Sozer N., Dalgıç A. C. and Kaya A. 2007a. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering* 81(2): 476-484.
- Sozer N., Kaya A. and Dalgic A. C. 2007b. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies* 39: 1-16.
- Sriroth K., Santisopasri V., Petchalanuwat C., Kurotjanawong K., Piyachomkwan K. and Oates C. G. 1999. Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. *Carbohydrate Polymers* 38: 161-170.
- Stipanuk M. H. and Caudill M. A. 2012. *Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition*. 3rd edition. St Louis, MO: Elsevier Saunders.
- Steglich T., Bernin D., Moldin A., Topgaard D. and Langton M. 2015. Bran particle size influence on pasta microstructure, water distribution and sensory properties. *Cereal Chemistry* 92(6): 617-623.
- Stephenson C. 1983. World's best pasta. *Macaroni Journal* 65: 4-8.
- Swain J. H., Newman S. M. and Hunt J. R. 2003. Bioavailability of elemental iron powders to rats is less than bakery-grade ferrous sulfate and predicted by iron solubility and particle surface area. *Journal of Nutrition* 133: 3546-3552.
- Swanston J. S., Smith P. L., Agu R. C., Brosnan J. M., Bringham T. A. and Jack F. R. 2012. Variation, across environments within the UK, in grain protein and grain hardness, in wheat varieties of differing distilling quality. *Field Crops Research* 127: 146-152.
- Talamond P., Doullbeau S., Rochette I., Guyot J. P. and Treche S. 2000. Anion-exchange high-performance liquid chromatography with conductivity detection for the analysis of phytic acid in food. *Journal of Chromatography* 871: 7-12.
- Tanaka K., Yoshida T. and Kasai Z. 1974. Distribution of mineral elements in the outer layer of rice and wheat grains, using electron microprobe x-ray analysis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 87-91.
- Tang C., Hsieh F., Heymann H. and Huff H. E. 1999. Analyzing and correlating instrumental and sensory data: a multivariate study of physical properties of cooked wheat noodles. *Journal of Food Quality* 22: 193-211.
- Tang H., Ando H. and Watanade K. 2000. Some physiological properties of small, medium and large granule starches in fractions of waxy barley grain. *Cereal Chemistry* 77: 27-31.
- Tang J., Zou C., He Z., Shi R., Ortiz-monasterio I., Qu Y. and Zhang Y. 2008. Mineral element distributions in milling fractions of Chinese wheats. *Journal of Cereal Science* 48(3): 821-828.
- Tatham A. and Shewry P. R. 1995. The S-poor prolamins of wheat, barley and rye. *Journal of Cereal Science* 22: 1-16.
- Tatham A. 1995. The structures of wheat protein. En: *Wheat Structure. Biochemistry and Functionality*. Edited por Schofield, *Journal Royal society of Chemistry, England* 53-63.
- Tester R. F. and Morrison W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry* 67: 558-563.

- Tester R. F., Morrisont W. R., Ellis R. H., Piggoitl J. R., Baits G. R., Wheeler T. R. and Ledward, D. A. 1995. Effects of Elevated Growth Temperature and Carbon Dioxide Levels on some Physicochemical Properties of Wheat Starch. *Journal of Cereal Science* 22: 63-71.
- Tester R. F. and Debon S. J. J. 2000. Annealing of starch-A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 27: 1-12.
- Tester R. F. and Karkalas J. 2001. The Effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. *Starch/Staerke* 53: 513-519.
- Thitisaksakul M., Jimenez R. C., Arias M. C. and Beckles D. M. 2012. Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science* 56: 67- 80.
- Thompson D. B. 2000. On the non-random nature of amylopectin branching. *Carbohydrate Polymers* 43: 223-239.
- Thompson L. U. 1994. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34: 473-497.
- Topping D. 2007. Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *Journal of Cereal Science* 46: 220-229.
- Triboi E., Martre P. and Triboi-Blondel A. M. 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 D. A. T., Wolever T. M. S., Leeds A. R., Gassull M. A. and Jenkins D. J. A. 1976. Dietary fiber redefined. *Lancet* 1: 967-967.
- Tudorica C. M., Kuri V. and Brennan C. S. 2002. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 347-356.
- Turgeon S. L. and Rioux L. E. 2011. Food Matrix Impact on Macronutrients Nutritional Properties. *Food Hydrocolloids* 25 (8): 1915–1924.
- UN.A.F.P.A. 2015. Unión de Asociación de Fabricantes de Pastas Alimentarias de la Unión Europea. Publicado en Internet, disponible en <http://www.pasta-unafpa.org/>. Activo noviembre 2007.
- 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.
- van Oort M., van Straaten F. and Laane C. 1995. Pentosans and pentosanases in bread-making. *International Food Ingredients* 2: 23-27.
- Velu G., Guzman C., Mondal S., Autrique J. E., Huerta J. and Singh R. P. 2016. Effect of drought and elevated temperature on grain zinc and iron concentrations in CIMMYT spring wheat. *Journal of Cereal Science* 69: 182-186.
- Veraverbeke W. S. and Delcour J. A. 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *Food Science and Nutrition* 42: 179-208.
- Vitali D., Vedrına Dragojević I. and Šebečić B. 2008. Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from whole grain tea-biscuits: Impact of proteins, phytic acid and polyphenols. *Food Chemistry* 110(1): 62-68.
- Virtucio L. 2003. Oriental noodles, present and future perspectives. *Tecnica Molitoria International* 54: 146-154.

- Wang M., Sapirstein H. D., Machet A.-S. and Dexter J. E. 2006. Composition and distribution of pentosans in millstreams of different hard spring wheats. *Cereal Chemistry* 83: 161-168.
- Welch R. M. and Graham R. D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55: 353-364.
- West R., Seetharaman K. and Duizer L. M. 2013. Effect of drying profile and whole grain content on flavour and texture of pasta. *Journal of Cereal Science* 58(1): 82-88.
- Weightman R. M., Millar S. Alava J., Foulkes M. J., Fish L and Snape J. W. 2008. Effects of drought and the presence of the 1BL/1RS translocation on grain vitreosity, hardness and protein content in winter wheat. *Journal of Cereal Science* 47: 457-468.
- Whilster R. and Daniel J. 1984. Molecular structure of Starch. En: *Starch Chemistry and Technology*. Whilster R., BeMiller J., Paschal E. (eds.). Academic Press. NY. EUA, pp. 153-182.
- White P. J. and Broadley M. R. 2005. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80: 660-667.
- WHO. 2002. *The World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO. 2003. *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a JointFAO/WHO Expert Consultation*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2009. *Progress on the health-related Millennium Development Goals (MDGs)*. FAO/WHO Expert Consultation. Geneva: World Health Organization.
- Wieser H. 2003. The use of redox agents. In: Cauvain, S.P. (Ed.), *Bread Making—Improving Quality*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 424-446.
- Willcox J. K., Ash S. L. and Catignani G. L. 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 275-295.
- Wilson J., Bechtel D., Todd T. and Seib P. 2006. Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology. *Cereal Chemistry* 83(3): 259-68.
- Wolters M. G., Schreuder H. A., van den Heuvel G., van Lonkhuijsen H. J., Hermus R. J. and Voragen A. G. 1993. A continuous in vitro method for estimation of the bioavailability of minerals and trace elements in foods: application to breads varying in phytic acid content. *The British Journal of Nutrition* 69: 849-861.
- Xie F., Yu L., Chen L. and Li L. 2008. A new study of starch gelatinization under shear stress using dynamic mechanical analysis. *Carbohydrate Polymers* 72: 229-234.
- Xue-ke L., Jin-zhi W., Chun-qing W., Chun-hui, Z., Xia L., Chun-hong T. and Xiu-li W. 2016. Effect of dietary phosphorus levels on meat quality and lipid metabolism in broiler chickens. *Food Chemistry* 205: 289-296.
- Yamin F. F., Lee M., Pollak L. M., White P. J. 1999. Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of in bred line B73. *Cereal Chemistry* 76: 175-181.
- Ye E. Q., Chacko S. A., Chou E. L., Kugizaki M. and Liu S. 2012. Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. *Journal of Nutrition* 142: 1304-1313.

- Yin Y. A., Qi J. C., Li W. H., Cao L. P. and Wang Z. B. 2012. Formation and developmental characteristics of A- and B-Type starch granules in wheat endosperm. *Journal of Integrative Agriculture* 11:73-81.
- Yong Z., Zhonghu H., Ye G., Aimin Z. and Van Ginkel M. 2004. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Euphytica* 139(1): 75-83.
- Yu L., Haley S., Perret J. and Harris M. 2002a. Antioxidant properties of hard winter wheat extracts. *Food Chemistry* 78: 457-461.
- Yu L., Haley S., Perret J., Harris M., Wilson J. and Qian M. 2002b. Free radical scavenging properties of wheat extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 1619-1624.
- Yu L. and Zhou K. 2004. Antioxidant properties of bran extracts from 'Platte' wheat grown at different locations. *Food Chemistry* 90: 311-316.
- Yu L., Nanguet A. L. and Beta T. 2013. Comparison of Antioxidant Properties of Refined and Whole Wheat Flour and Bread. *Antioxidants* 2: 370-383.
- Yun-hui C., Zhang W. and Shi-ying X. 2006. Antioxidant properties of wheat germ protein hydrolysates evaluated in vitro. *Journal of Central South University of Technology* 13(2): 160-165.
- Yuryev V. P., Krivandin A. V., Kiseleva V. I., Wasserman L. A., Genkina N. K., Fornal J., Blaszcak W. and Schiraldi A. 2004. Structural parameters of amylopectin clusters and semi-crystalline growth rings in wheat starches with different amylose content. *Carbohydrate Research* 339: 2683-2691.
- Zapata M. E., Rovirosa A. and Carmuega E. Cambios en el patrón de consumo de alimentos y nutrientes en las últimas dos décadas en la Argentina. 2016. En prensa.
- Zarrilli A. G. 2010. Ecología, capitalismo y desarrollo agrario en la región Pampeana (1890-1950). Un enfoque histórico-ecológico de la cuestión agraria. Publicado en Internet, disponible en <http://www.eumed.net/tesis/2010/agz/>. Activo Febrero 2001.
- Zeng M., Morris C. F., Batey I. L. and Wrigley C. W. 1997. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties of wheat. *Cereal Chemistry* 76: 63-71.
- Zhang Q.-J., Qian S.-H., Zang Y., He Z.-H. and Yao D.-N. 2005. Variation of pentosans in Chinese soft wheat cultivars and correlations with cookie quality. (in Chinese/English abstract). *Scientia Agricola* 38: 1734-1738.
- Zhang T., Wang Z., Yin Y., Cai R., Yan S. and Li W. 2010. Starch content and granule size distribution in grains of wheat in relation to post-anthesis water deficits. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196(1): 1-8.
- Zhao F. J., Su Y. H., Dunham S. J., Rakszegi M., Bedo Z., McGrath S. P. and Shewry P. R. 2009. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science* 49(2): 290-295.
- Zheng F. Y., Chen L. H., Li S. X. and Qiu Y. Q. 2013. Effect of Edible Plants Combination on Mineral Bioaccessibility and Bioavailability, Using in Vitro Digestion and Liposome-Affinity Extraction. *Food Research International* 53 (1): 174-179.
- Žilić S., Serpen A., Akillioğlu 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.

- Zimmermann M. B. and Hurrell R. F. 2007. Nutritional iron deficiency. *Lancet* 370: 511-520.
- Zobel R., Wright M. and Gauch H. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.
- Zobel H. F. 1992. Starch granule structure. En: *Developments in Carbohydrate Chemistry*. Alexander R. J. and Zobel H. F. (eds). AACC. St. Paul, MN, pp. 1-36.
- Zohary D. and Hopf M. 2000. *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley*. New York: Oxford University Press, p. 23.