

CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y EN COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TRIGO NACIONAL

Marzo, 2021

**SERIE
FPTA-INIA**
92

CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y EN COMPUESTOS BIOACTIVOS DE TRIGO NACIONAL

PROYECTO FPTA-323.

Caracterización nutricional y en compuestos bioactivos de trigo en Uruguay. Variabilidad de genotipos y ambientes.

Directora del proyecto: Mag. Lic.Nut. Mónica Russo¹

Institución ejecutora: Escuela de Nutrición, Universidad de la República

Instituciones participantes en el proyecto: Escuela de Nutrición, Universidad de la República; Mesa Nacional de Trigo; Facultad de Química, Universidad de la República; Instituto Pasteur de Montevideo; Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Equipo de trabajo: Marta Elichalt ¹
Nahir Urruzola²
Alejandra Medrano²
Mónica Cadenazzi ³
Marcela Godiño ⁴
Carlos Batthyany ⁵
Leonel Malacrida⁶

¹Mag. Lic. Nut., Unidad del Nivel Profesional. Escuela de Nutrición, Universidad de la República.

²Tecnólogo Químico, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Área Evaluación Sensorial. Facultad Química, Universidad de la República.

³Dra. Ing., Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

⁴Ing. Agr., Secretaría Técnica, Mesa de Trigo. INIA

⁵MD, Phd Dr., Instituto Pasteur de Montevideo. Director Ejecutivo. Uruguay

⁶Dr. Lic. en Bioquímica, Departamento de Fisiopatología, Facultad de Medicina, Universidad de la República.

Título: CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y EN COMPUESTOS BIOACTIVOS DE TRIGO NACIONAL

Directora del proyecto: Mag. Lic. Nut. Mónica Russo.

Institución ejecutora: Escuela de Nutrición, Universidad de la República

Instituciones participantes en el proyecto: Escuela de Nutrición, Universidad de la República; Mesa Nacional de Trigo; Facultad de Química, Universidad de la República; Instituto Pasteur de Montevideo; Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Equipo de trabajo: Marta Elichalt, Nahir Urruzola, Alejandra Medrano, Mónica Cadenazzi, Marcela Godiño, Carlos Batthyany, Leonel Malacrida.

e-ISBN: 978-9974-38-455-2

Serie: FPTA N° 92

© 2021, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Avda. Italia 6201, Edificio Los Guayabos, Parque Tecnológico del LATU,
Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.uy>

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

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr. José Bónica - Presidente

Ing. Agr. Walter Baethgen - Vicepresidente



**Ministerio
de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Ing. Agr. Rafael Secco

Ing. Agr. Martín Gortari



Ing. Agr. Alberto Bozzo

Ing. Agr. Alejandro Henry



FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18° de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 40/00 del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.

b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.

c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos. De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.

CONTENIDO

Página

CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y EN COMPUESTOS BIOACTIVOS DE TRIGO NACIONAL	7
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	7
2.1 Composición nutricional de grano de trigo entero y sus fracciones con relación a la salud y nutrición	7
2.2 Compuestos bioactivos en el grano de trigo entero	11
2.3 Recomendaciones en el consumo de granos enteros en las guías alimentarias	14
2.4 Beneficios asociados al consumo de grano entero y mecanismos de acción	15
2.5 Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos antioxidantes del grano de trigo	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Descripción de las muestras	18
3.2 Caracterización nutricional de las muestras de trigo	18
3.3 Caracterización en compuestos bioactivos de las muestras de trigo	19
3.4 Evaluación de la actividad antioxidante "in vivo" en muestras de trigo con alta y baja actividad antioxidante	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 Macronutrientes y cenizas	20
4.2 Compuestos bioactivos	23
4.3 Actividad antioxidante "in vivo"	29
5. CONCLUSIONES	32
6. BIBLIOGRAFÍA	32

ÍNDICE DE GRÁFICOS, CUADROS Y TABLAS

Página

Gráfico 1. Influencia relativa del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, cenizas en muestras de trigo de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	22
Gráfico 2. Influencia relativa del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, cenizas en muestras de trigo de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	23
Gráfico 3. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de alfa-tocoferoles, delta-tocoferoles y beta-tocotrienoles en genotipos de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	27
Gráfico 4. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de alfa-tocoferoles, delta-tocoferoles y beta-tocotrienoles en genotipos de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	27
Gráfico 5. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de zeaxantina (Zea) y luteína (lut), fitoesteroles y compuestos fenólicos totales en genotipos de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	28
Gráfico 6. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de zeaxantina (Zea) y luteína (lut), fitoesteroles y compuestos fenólicos totales en genotipos de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	28
Gráfico 7. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de fibra dietética en genotipos de ciclo largo y ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente	29
Gráfico 8. Capacidad antioxidante (C. Aox) plasmática (μM Tx equivalentes) antes y después de la suplementación con trigos con alta y baja capacidad antioxidante	30
Gráfico 9. Diferencias en la capacidad antioxidante (C. Aox) plasmática (μM Tx equivalentes) de cada ratón antes y después del suplemento con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja actividad antioxidante (LAC)	31
Cuadro 1. Valores típicos de la composición química del grano de trigo entero en porcentaje de dbase seca	8
Cuadro 2. Localización de los principales nutrientes en las fracciones del grano	8
Cuadro 3. Contenido en fibra dietética y sus componentes en variedades de trigo, en porcentaje de base seca	10
Cuadro 4. Genotipos de trigo pan utilizados en las muestras y ciclos	18
Tabla 1. Contenido porcentual (g/100 g) en proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas en granos de trigo de ciclo corto y de ciclo largo en base seca	20
Tabla 2. Contenido en alfa-tocoferoles, gamma-tocoferoles y beta-tocotrienoles y tocoles totales ($\mu\text{g/g}$) en trigos de ciclo corto y ciclo largo	24
Tabla 3. Contenido en luteína y zeaxantina, fitoesteroles, compuestos fenólicos ($\mu\text{g/g}$ equivalentes en ácido gálico) y capacidad antioxidante, en trigo de ciclo corto y de ciclo largo	25
Tabla 4. Contenido porcentual de fibra dietética (g/100g) (en base seca) en trigo de ciclo corto y de ciclo largo	26
Tabla 5. Capacidad antioxidante plasmática (μM Tx equivalentes) antes y después de la suplementación con trigos con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja actividad antioxidante (LAC)	29
Tabla 6. Diferencias en la capacidad antioxidante plasmática (μM Tx equivalentes) en cada ratón antes y después del suplemento con trigos de alta capacidad antioxidante (HAC) y baja capacidad antioxidante (LAP).	32

Caracterización nutricional y en compuestos bioactivos de trigo nacional

Proyecto FPTA 323

Período de Ejecución: Jun 2014-Set 2017

1. INTRODUCCIÓN

El trigo ocupa un lugar de privilegio en la cultura alimentaria nacional y en el equilibrio de la dieta humana. Es el cereal más consumido y constituye la primera fuente de energía alimentaria de la población. Según las hojas de balance de la Food and Agriculture Organization (FAO, 2013), el suministro medio de trigo diario por persona es de 790 kcal, lo cual representa el 33 % de la energía total diaria en una dieta de 2400 kcal/día.

A su vez, el trigo ha sido bastante estudiado en su potencial agronómico, pero poco se conoce a nivel nacional sobre el valor nutricional y en compuestos bioactivos, que son sustancias con potencial efecto beneficioso en la salud. Estos atributos de calidad están siendo ampliamente estudiados en países de la región y a nivel mundial, generando valor agregado con impacto comercial, sin embargo en nuestro país no existen especificaciones de calidad de trigo o productos derivados que a la vez de contemplar el rendimiento, sanidad, funcionalidad, conjuguen el contenido y composición en compuestos bioactivos.

Además, existe un vacío en la información respecto en qué medida los compuestos bioactivos provenientes de trigos cultivados en Uruguay están biodisponibles luego de su consumo. Sobre esta base y en función de lo que ya ha sido demostrado a través de otros estudios internacionales en relación a las diferencias entre la composición nutricional y cantidad de

compuestos bioactivos en diferentes genotipos de trigo cultivados en distintos ambientes, sumado a problemas de salud pública en donde este cereal y sus derivados tienen un potencial aún no explotado, es que surgió el proyecto FPTA 323 «Caracterización nutricional y en compuestos bioactivos del trigo nacional». Este estudio permitió relevar y analizar trigo proveniente de las zafas 2013 y 2015.

En esta publicación se presentan los resultados y conclusiones en relación a la calidad nutricional y en compuestos bioactivos de trigo nacional en diferentes genotipos y ambientes y a su actividad antioxidante en ensayos «in vivo».

2. ANTECEDENTES

2.1 Composición nutricional del grano de trigo entero y sus fracciones con relación a la salud y nutrición

El grano de trigo entero comprende todas las partes comestibles del grano incluyendo el salvado, el germen y el endospermo, en la misma proporción que en el grano original (FDA, 2006).

Los valores típicos de la composición nutricional del grano de trigo entero en macronutrientes, fibra y minerales y su localización en las diversas fracciones del grano se observan en el Cuadro 1 y 2 respectivamente.

La mayor parte del endospermo se compone de carbohidratos (principalmente almidón),

Cuadro 1. Valores típicos de la composición química del grano de trigo entero en porcentaje de base seca.

Constituyente	% de base seca
Proteínas	10,0-16,4
Cenizas	1,2-3,0
Carbohidratos	65,4-78,0
Lípidos	1,5-2,0
Fibra dietética	10,0-13,1

Fuentes: USDA, 2015; Matz y Ensminger citados por OECD, 2003; Belderok, 2000.

Cuadro 2. Localización de los principales nutrientes en las fracciones del grano.

Constituyente	Nutrientes principales
Salvado	Fibra dietética, proteínas, potasio, fósforo, magnesio, hierro, zinc.
Capa de aleurona	Proteínas, niacina, tiamina, folato, minerales: fósforo (como fitatos), potasio, magnesio, hierro y zinc.
Endospermo	Almidón, proteínas y minerales.
Germen	Lípidos, proteínas, azúcares, vitamina B (principalmente tiamina), fósforo.

Fuente: Orth y Shellenberger, 1988.

mientras que el salvado contiene altos niveles de fibra y comparativamente más minerales y grasa que el endospermo. El germen también contiene niveles comparativamente altos de grasa y proteínas (OECD, 2003).

2.1.1 Proteínas

2.1.1.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN

Las proteínas del trigo son complejas y se pueden agrupar según su función biológica en dos categorías: las enzimas biológicamente activas (albúminas y globulinas) y las proteínas de almacenamiento biológicamente inactivas (gliadinas y gluteninas) (Lookhart y Bean, 2000). Las gliadinas y gluteninas en su conjunto, se denominan gluten y están fundamentalmente localizadas en el endospermo del grano, mien-

tras que las albúminas y globulinas están concentradas en la capa de aleurona del salvado y en el germen. Las proteínas del gluten son el componente principal de las propiedades panaderas del trigo (Shewry, 2009).

El contenido en proteínas del grano de trigo es mayor a los de otros cereales y está determinado por factores genéticos y ambientales durante el desarrollo, particularmente por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La información nacional y extranjera es coincidente en cuanto a que con dosis crecientes de fertilizante nitrogenado se tiende a aumentar la proteína acumulada en el grano, independientemente del cultivar, mejorando la aptitud panadera (Shewry y Hey, 2015a; García Lamothe, 2006). Los factores ambientales son determinantes del rendimiento potencial y del requerimiento de nitrógeno, pero además influyen en la eficiencia de la movilización de nitrógeno al grano, en la duración del llenado del grano, en la acumulación de hidratos de carbono y en la mineralización de nitrógeno del suelo, por lo que queda en evidencia la complejidad que implica un uso apropiado de nitrógeno que integre rendimiento y calidad (García Lamothe, 2006).

2.1.1.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN EL GRANO

Las proteínas se distribuyen heterogéneamente en las diferentes fracciones del grano, con valores reportados de 5,7 % en el pericarpio, 22 % en la aleurona, 10,2 % en el endospermo y 34,1 % en el germen. (Jensen y Martens, 1983). Valores similares fueron publicados por otros autores (Bechtel et al., 2009).

2.1.1.3 CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS PROTEÍNAS

Si bien el trigo constituye una fuente significativa de proteínas, la calidad nutricional de las proteínas para los requerimientos humanos es limitada dado que no alcanza a cubrir las cantidades de los diez aminoácidos esenciales necesarios para un adulto. Al comparar los requerimientos de los aminoácidos esenciales para el adulto y las cantidades presentes en el grano de trigo, se observa que solo la lisina es deficiente mientras que el contenido en los otros aminoácidos es adecuado a los requerimientos del adulto (Shewry, 2009; FAO/WHO/UNU, 2007).

2.1.2 Carbohidratos

2.1.2.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN

En el grano de trigo maduro, los carbohidratos representan el 85 % del grano en base seca. La mayoría de ellos, el 80 %, corresponde al almidón, presente únicamente en el endospermo; aproximadamente el 7 % son mono-, di- y oligosacáridos ubicados en la capa de aleurona, en el endospermo y en los tejidos del embrión, y oligofruktanos presentes en el endospermo y en el salvado; el 12 % son polisacáridos no amiláceos que se encuentran en las paredes celulares de todos los tejidos y forman parte de la fibra dietética (Shewry y Hey, 2015a).

Desde el punto de vista nutricional, particularmente el almidón del trigo es un importante macronutriente para la humanidad (Shelton y Lee, 2000), constituye junto a otros cereales la principal fuente de carbohidratos digeribles de la dieta, el componente energético primordial del trigo y el motivo por el cual el trigo fue domesticado (Vázquez, 2009).

La variación en el contenido en carbohidratos digeribles se atribuye a la variedad a las condiciones ambientales donde se desarrolla el cultivo (Becker y Hanners, 1991), y está directamente vinculado con el grado de llenado del grano durante su desarrollo y, por lo tanto, con el rendimiento. Existe, además, una relación inversa entre el contenido de almidón y el de proteínas (Shewry y Hey, 2015a).

Los cereales contienen otros polisacáridos distintos al almidón, que son los constituyentes de la estructura de las paredes celulares y abundan más en las porciones externas que internas del grano (Belitz et al., 2009). A nivel del endospermo su contenido es mucho menor al almidón. Los polisacáridos no amiláceos que se encuentran en mayor proporción en las paredes celulares del trigo son los arabinosilanos (AX), que constituyen aproximadamente el 5-7 % del grano de trigo (Ordaz et al., 2005) y se dividen en AX solubles y AX insolubles según su solubilidad (Shewry y Hey, 2015a; Belitz et al., 2009). En segundo lugar, se encuentran los beta-glucanos (Stone y Morell, 2009) y en menor cantidad se hallan otros compuestos tales como la celulosa y glucomanos, xiloglucanos y pectinas (Palmer et al., 2015; Pellny et al., 2012; Belitz et al., 2009).

Los polisacáridos no amiláceos son el principal componente de la fibra dietética incluida en el grano de trigo (Stone y Morell, 2009).

2.1.3 Fibra dietética

Por fibra dietética se entiende los polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización no inferior a 10, que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado. Puede incluir fracciones de lignina u otros compuestos asociados a los polisacáridos de las paredes celulares vegetales (Codex Alimentarius Commission, 2008).

2.1.3.1 COMPOSICIÓN Y CONTENIDO

Los mayores componentes de la fibra dietética en el grano de trigo son los polisacáridos estructurales que integran las paredes celulares, los polisacáridos no amiláceos no estructurales, tales como los fructanos, el almidón resistente y la lignina. La lignina es un polímero de alcoholes aromáticos que está presente únicamente en la capa de pericarpio del salvado (Stone y Morell, 2009).

El contenido en fibra dietética total y sus componentes, reportado por Andersson et al. (2013) al estudiar 129 variedades de trigo cultivadas en la misma localidad (proyecto Healthgrain¹), y los valores nacionales publicados por Russo et al. (2011) se observan en el Cuadro 3.

A los efectos de estudiar la contribución del ambiente en la variabilidad del contenido de compuestos bioactivos, se realizó en el proyecto Healthgrain un experimento, en el cual se analizaron 26 líneas de trigo cultivadas en un mismo lugar en dos años diferentes y en tres localidades adicionales para un mismo año. A partir de los resultados generados, se analizó en qué proporción contribuyeron el genotipo (G), el ambiente (A) y la interacción del G por el A (G x A) en la variabilidad de los beta-glucanos (en el grano entero) y de los AX (totales, solubles e insolubles en salvado y en harina). Resultó que la proporción de la varianza del G en el total de la varianza fue alta en ambos componentes de la fibra, oscilando entre 0,39 (AX totales del salvado) y 0,56 (beta-glucanos) en el grano entero (Shewry et al., 2010).

¹ Healthgrain, proyecto integrado del Sexto Programa Marco de la Unión Europea 2005-2010 (www.healthgrain.org)

Cuadro 3. Contenido en fibra dietética y sus componentes en variedades de trigo, en % de base seca.

Componentes	Mín.	Máx.	Promedio	Referencias
Fibra dietética total	11,5/11,7	15,5/14,5	13,4/13,6	1, 2
Lignina	0,74	2,03	1,33	1
Arabinosilanos	5,53	7,42	6,49	
Celulosa	1,67	3,05	2,11	
Beta-glucanos	0,51	0,96	0,73	
Fructanos	0,84	1,85	1,28	

Referencias: 1. Andersson et al., 2013; 2. Russo et al., 2011.

La fibra dietética se encuentra en mayor concentración en las capas externas del grano en comparación con las internas (Heiniö et al., 2008; Mattila y Hellstrom, 2005).

2.1.3.2 ROL EN LA NUTRICIÓN Y EN LA SALUD

La fibra dietética es identificada como un componente importante de las dietas saludables. Existen numerosas publicaciones con relación a los efectos beneficiosos de la fibra dietética del trigo en la salud. Recientemente, el Scientific Advisory Committee on Nutrition del Reino Unido (SACN, 2015), ha realizado una revisión sobre las evidencias vinculadas a los efectos de la fibra de trigo en la salud, y sus principales conclusiones fueron que la fibra dietética proveniente del trigo promueve la salud cardiovascular, previene eventos coronarios, accidentes cerebro vasculares y el desarrollo de diabetes tipo 2; tiene, además, un efecto beneficioso a nivel gastrointestinal, previniendo el desarrollo de cáncer colon-rectal y favoreciendo un tránsito intestinal normal.

El efecto beneficioso de la fibra del grano del trigo probablemente se deba a múltiples mecanismos fisiológicos, entre los que se incluyen unión y eliminación del colesterol, modulación de actividad hormonal, estimulación del sistema inmune, estimulación del tránsito intestinal, producción de ácidos grasos de cadena corta, aumento del volumen de los alimentos, disminución del índice glicémico y calórico de los alimentos, aumento de la respuesta a la insulina, secuestro de radicales libres, entre otros (Lafiandra et al., 2014; Brownlee, 2011; Ander-

son et al., 2009; Theuwissen y Mensink, 2008; Liu, 2007; Topping, 2007).

2.1.4 Lípidos

Los lípidos son macronutrientes relativamente menores del grano, sin embargo, comprenden un grupo complejo de compuestos que pueden estar libres o unidos a otros constituyentes de los cereales, incluyendo proteínas y almidón (Hoseney, 1991). Son componentes importantes a nivel nutricional, así como para el almacenamiento y procesamiento de los granos (Davis et al., 1980; Clayton y Morrison, 1972).

2.1.4.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN EN EL GRANO ENTERO

Los lípidos del grano de trigo se clasifican en tres grupos: polares, no polares y ácidos grasos libres. A su vez, la fracción polar se subdivide en fosfolípidos y glicolípidos, y la no polar en mono-, di- y triglicéridos según los grupos hidroxilos presentes en el glicerol estén esterificados con 1, 2 o 3 ácidos grasos.

Los lípidos difieren en su función y localización dentro de la célula. Los polares son componentes de las membranas y los triglicéridos son lípidos de reserva que se ubican en cuerpos grasos intracelulares, fundamentalmente en el embrión y en la capa de aleurona, mientras que en el endospermo su localización no está clara aún (Shewry y Hey, 2015a).

El contenido de lípidos según diferentes autores varía de 1,2 a 3,9 % en b. s., con un valor promedio de 2,63 % (Chung et al., 2009). Según datos nacionales (Russo et al., 2011), el prome-

dio en b. s. es de 2,14 %, con mínimo y máximo de 1,85 % y 2,34 %, respectivamente.

El contenido de lípidos varía principalmente por la variedad, el ambiente y el grado de maduración del grano cuando se cosecha (Chung y Ohm, 2000). Asimismo, la amplia variación en la concentración de lípidos reportada en la literatura probablemente refleje la diversidad de los métodos analíticos utilizados para su determinación más que las genuinas diferencias entre las muestras (Shewry y Hey, 2015a).

2.1.4.2 DISTRIBUCIÓN EN LOS TEJIDOS DEL GRANO

La distribución de los lípidos en los tejidos del grano es heterogénea, concentrándose en el embrión y en la capa de aleurona.

2.1.4.3 ROL EN LA NUTRICIÓN Y EN LA SALUD

El mayor interés en los lípidos del grano de trigo vinculados con la nutrición y la salud es el contenido en ácidos grasos esenciales y la composición en ácidos grasos, particularmente la relación entre los ácidos grasos saturados y los insaturados (relación 0,28). Los ácidos grasos más abundantes en el trigo en orden decreciente son el ácido linoleico (18:2), el ácido palmítico (16:0), el ácido oleico (18:1), el ácido linolénico (18:3) y, por último, el ácido esteárico (18:0) (Shewry y Hey, 2015a; Ruibal et al., 2002). Además, los lípidos incluyen vitaminas liposolubles o sus precursores (carotenoides y tocoferoles) y fitoesteroles.

Los fitoesteroles son compuestos bioactivos presentes en los granos enteros que, según muchos ensayos clínicos, tienen un efecto reductor de los niveles de LDL-colesterol (Sanclemente et al., 2012; Ruibal et al., 2002).

2.1.5 Minerales

Los principales minerales en el grano de trigo son hierro, zinc, manganeso, cobre, magnesio, selenio y fósforo. Un análisis muy utilizado como estimador del contenido total de minerales es el contenido de cenizas.

2.1.5.1 CONTENIDO EN EL GRANO ENTERO

El contenido de cenizas oscila entre 1,17 y 2,96 % del peso del grano (en b. s.) y varía según los diferentes genotipos y en un mismo

cultivar según las condiciones climáticas, fundamentalmente las determinadas por la calidad de suelos, clima y manejos agronómicos (Shewry et al., 2010). Estudios realizados en diferentes cultivares y localidades liberados durante los años 1873 y 2000 mostraron un descenso en el contenido de muchos minerales (zinc, hierro, cobre y magnesio) a partir del año 1960, independientemente de que el contenido de minerales en el suelo aumente o permanezca constante (Zhao et al., 2009; Fan et al., 2008; Garvin et al., 2006). Gooding et al. (2012) sugieren que este descenso resulta de la dilución de los minerales debido al aumento de la masa seca.

En trigos uruguayos, el contenido promedio de cenizas particularmente para las zafas 2011 y 2012 fueron de 1,68 y 1,92 en b. s. respectivamente, según los reportes anuales de caracterización de las zafas de trigo (MGAP/DGSA, 2014).

2.1.5.2 DISTRIBUCIÓN EN LOS TEJIDOS DEL GRANO

Los minerales se distribuyen heterogéneamente en los tejidos del grano: su contenido en el endospermo es mucho menor al 1 %, mientras que en las cubiertas y en el germen constituyen el 7,2 y 4,5 %, respectivamente (Belde-rok, 2000).

2.2 Compuestos bioactivos en el grano de trigo entero

El grano entero, además de nutrientes, provee fitoquímicos, es decir, sustancias químicas que se encuentran únicamente en los tejidos provenientes de las plantas comestibles, las cuales pueden ser ingeridas diariamente por los seres humanos en pequeñas cantidades (gramos) y que exhiben un potencial para modular el metabolismo de modo favorable para prevenir ciertas enfermedades (Bonafine et al., 2006).

Los fitoquímicos y muchas de las vitaminas y minerales presentes en el grano de trigo se incluyen dentro de los denominados compuestos bioactivos.

Los componentes bioactivos son compuestos químicos presentes naturalmente o derivados de una fuente vegetal, animal, que ejerce un

beneficio para la salud, más allá de las consideraciones propias de la nutrición básica. Estos compuestos inducen efectos metabólicos derivados de su actividad biológica constatada en modelos de laboratorio y asociada a efectos beneficiosos sobre la salud humana, como por ejemplo mejoría de funciones fisiológicas o reducción de riesgo de padecer enfermedad (Morales, 2011; Araya y Lutz, 2003).

El grano de trigo entero contiene dos grupos principales de compuestos bioactivos derivados de diferentes rutas biosintéticas: los terpenos o terpenoides (tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides y fitoesteroles) y los compuestos fenólicos (Shewry y Hey, 2015b).

2.2.1 Factores que modifican la concentración de los compuestos bioactivos

Los fitoquímicos, tienen un importante rol estructural y defensivo en los granos. Su concentración está influenciada por la fracción del grano, el genotipo (G) y el ambiente (A), es decir, la combinación de la localidad por el año de producción (Shewry et al., 2010; Liu, 2007). Sin embargo, la magnitud en las variaciones difiere entre los compuestos.

En trabajos realizados a nivel internacional que estudiaron la calidad nutricional, el contenido y la composición de los compuestos bioactivos se observa amplia variación entre los diferentes materiales genéticos estudiados con relación a estos compuestos. El grado de variación depende del tipo de compuesto: abarca desde 1,39 veces para los esteroides y 3,60 veces para los ácidos fenólicos y 1,93 veces para los beta-glucanos (Shewry et al., 2012).

A su vez, la proporción de los efectos del ambiente, el genotipo y la interacción genotipo por ambiente fue variable en los diferentes componentes estudiados. En un estudio realizado en Canadá, la combinación del genotipo y del ambiente explicó desde el 87 % (actividad antioxidante) hasta el 96 % (compuestos fenólicos totales) del total de la variabilidad. En ambos parámetros fue mayor el efecto del ambiente que el del genotipo, con una variación desde el 52 % en los compuestos fenólicos totales hasta el 37 % en la actividad antioxidante. La variabilidad atribuible a la interacción

genotipo por ambiente fue baja en todos los casos, sin que superara el 4 % (Mpfou et al., 2006).

Otro estudio realizado en el proyecto Healthgrain, donde se analizaron 150 líneas de trigo seleccionadas con diferentes características, origen geográfico y época de liberación comercial, cultivadas en un solo sitio (Hungría) y un subconjunto de muestras de trigos crecidos en cuatro países en dos años (Shewry et al., 2010), evidenció que en la variabilidad del contenido de fibra dietética predominó el efecto del genotipo con relación al ambiente y a la interacción genotipo por ambiente, oscilando entre 39 % (arabinoxilanos totales en el salvado) y 71 % (arabinoxilanos totales en la harina). Asimismo, la mayor proporción de la variabilidad se atribuyó al genotipo en el contenido de tocoles y esteroides (77 % y 57 %, respectivamente). En contraste, la menor proporción del total de la variabilidad correspondió al genotipo en los folatos (24 %) y los ácidos fenólicos (5 %).

Además, se encontró que la mayoría de los compuestos estudiados son heredables en las líneas de trigo evaluadas, variando entre un 30 % para los folatos y ácidos fenólicos, aproximadamente 50 % para los tocoferoles y esteroides y 51 % para la fibra (Shewry et al., 2012), por lo tanto, incrementar su contenido en nuevas variedades de trigo podría convertirse en uno de los objetivos seleccionados por los productores, para mejorar la calidad de sus cultivos y potenciar su uso como alimentos funcionales. También se reportó que no hay relación entre la composición de compuestos bioactivos y la época de liberación comercial (año de cruce, origen y variedades de trigos) ni con las propiedades funcionales y agronómicas de los cultivos (Shewry et al., 2012; Garnero et al., 2009). Entonces, en teoría, es posible desarrollar nuevos cultivos con niveles altos de compuestos bioactivos seleccionados, combinados con altos rendimientos, buenas propiedades agronómicas y cualidades tecnológicas.

En este trabajo, se profundizó particularmente en los compuestos fenólicos, tocoferoles y tocotrienoles porque son componentes que tienen efectos beneficiosos en la salud y en la

prevención de enfermedades no transmisibles (ENT), y el grano de trigo es, a su vez, una fuente importante de esos componentes en la dieta (Ward et al., 2008).

2.2.2 Tocoferoles y tocotrienoles

2.2.2.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL GRANO

Los tocoferoles y tocotrienoles son lípidos cuya estructura química consiste en un anillo aromático denominado cromanol, unido a una cadena lateral hidrofóbica. Los tocoferoles tienen una cadena lateral saturada de ácido fítico, mientras que los tocotrienoles tienen una cadena lateral de isoprenoide con tres dobles enlaces (Stone y Papas, 2003; Bramley et al., 2000). Cada tipo existe en cuatro formas, que se diferencian en la posición del grupo metilo en el anillo cromanol y se denominan alfa (5, 7, 8 - trimetil), beta (5, 8 - dimetil), gamma (7, 8 - dimetil) y delta (8 - metil).

En general, la suma de tocoferoles y tocotrienoles, en esencia, el total de tocoles, en el trigo está en el rango de 28 a 80 $\mu\text{g/g}$ en b. s. según los diferentes autores (Stone y Papas, 2003; Bock, 2000; Bramley et al., 2000; Chung y Ohm, 2000; Lampi 2008). Este rango de variación entre el contenido de estos compuestos indica que los diferentes genotipos y las condiciones en que crecen los cultivares tienen un importante efecto en la concentración y el perfil de los tocoles (Lampi et al., 2008).

El perfil de tocoles en los diferentes estudios publicados es estable y revela que las fracciones predominantes fueron el beta-tocotrienol y el alfa-tocoferol, seguidos por el beta-tocoferol y el alfa-tocotrienol. Según Lampi et al. (2008) y Piironen et al. (2009), la proporción promedio de beta-tocotrienol con relación a los tocoles totales es de 50,8 % con un rango de 31,3 a 68,5 % y la de alfa-tocoferol es de 26,8 % con un rango de 12,2 a 40,8 %.

Por su parte, el contenido total de tocotrienoles (alfa y beta) en los granos de trigo es mayor que el de los tocoferoles totales (alfa y beta). Según los diferentes estudios, los tocotrienoles totales representan entre el 59 al 61 % del contenido total de tocoles, con un rango de 40,3 a 81,3 % (Lampi et al., 2008).

2.2.2.2 TOCOFEROLES Y TOCOTRIENOLES EN LAS FRACCIONES DEL GRANO

Los tocoferoles y tocotrienoles se concentran en el germen y en las capas externas del grano, y su contenido es mucho más bajo a nivel del endospermo. En el germen predominan los alfa- y beta-tocoferoles, mientras que el contenido de tocotrienoles es despreciable (Bramley et al., 2000; Chung y Ohm, 2000). En cambio, los tocotrienoles se concentran en el pericarpio y en la aleurona, y su proporción con relación a los tocoles es significativa en el endospermo. Del contenido total de tocotrienoles del grano, el 15 % deriva del endospermo y el 85% de las capas externas (Morrison, 1978).

2.2.3 Compuestos fenólicos

2.2.3.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN

Los compuestos fenólicos son los fitoquímicos más abundantes en el grano de trigo y el mayor grupo de antioxidantes (Shewry y Hey, 2015b).

El término fenólicos abarca una gran cantidad de compuestos, que se caracterizan por presentar uno o más anillos fenólicos (anillos aromáticos) y al menos un grupo hidroxilo (Piironen et al., 2009). En el trigo han sido identificados varios compuestos fenólicos, que incluyen los ácidos fenólicos, alquilresorcinoles, lignanos y flavonoides (Peñalvo et al., 2005; Run et al., 2001). A su vez, los ácidos fenólicos pueden encontrarse en tres formas: como ácidos libres solubles, como conjugados solubles que están esterificados con azúcares y otros componentes de bajo peso molecular y como complejos insolubles unidos a polisacáridos, proteínas o componentes de la pared celular. En el trigo predominan los complejos insolubles, y solo aproximadamente un 15 % está en la forma libre (Piironen et al., 2009). Según Shewry et al. (2010), la proporción de los ácidos fenólicos complejos insolubles constituyeron aproximadamente el 77 % del total de los ácidos fenólicos en las variedades de trigo estudiadas en el proyecto Healthgrain.

El ácido fenólico predominante es el ácido ferúlico, que representa entre el 50 y el 70 % del total de los ácidos fenólicos contenidos en el grano de trigo (Kequan et al., 2005, 2004). En

menor proporción, se encuentran el ácido vanílico, el ácido murámico y el ácido sinérgico (Li et al., 2008).

A su vez, el contenido de ácidos fenólicos del grano de trigo reportado en diferentes investigaciones es variable debido fundamentalmente a la diversidad de métodos de extracción y de análisis utilizados (Piironen et al., 2009), oscilando el contenido promedio entre 580 y 660 µg/g b. s., determinado por HPLC (Shewry et al., 2012; 5. Mpfou et al., 2006)

Según estos últimos autores, el efecto del A en la variabilidad del contenido de compuestos fenólicos es mayor que el efecto del G y la proporción atribuible al A, al G y a la interacción G x A fue de 58 %, 38 % y 3 %, respectivamente.

2.2.3.2 COMPUESTOS FENÓLICOS EN LAS CAPAS DEL GRANO

Debido a su rol en la fisiología celular, la cantidad y la calidad de los compuestos fenólicos son diferentes en las distintas capas del grano. Principalmente se localizan en el salvado y en menor cantidad en el germen (Adom et al., 2005; Zielinski y Kozłowska, 2000). Según Antoine et al. (2004, 2003), existen diferencias en la composición de ácidos fenólicos en los tejidos que constituyen el salvado. Es así que el ácido ferúlico monomérico está fundamentalmente concentrado en la capa de aleurona, mientras que los dímeros y trímeros predominan en el pericarpio.

2.2.4 Selenio

2.2.4.1 CONTENIDO Y COMPOSICIÓN

El selenio es un micronutriente esencial para los humanos, aunque no para las plantas. Los cereales son depósitos efectivos de este mineral en sus cariopsides.

En el grano de trigo se han detectado dos formas químicas de selenio: la orgánica y la inorgánica, siendo la primera la predominante y la de mayor bioactividad. La forma orgánica se halla unida a proteínas, y varios autores reportan que la seleniometionina alcanza entre el 65 y el 87 % del total de las especies presentes en el grano (Lazo-Vélez et al., 2015; Hart et al., 2011).

Su concentración en el grano está fuertemente determinada por la disponibilidad de este

elemento en el suelo en que se desarrolla el cultivo (Lyon et al., 2005a). Otros factores determinantes de la concentración de selenio en el grano son las condiciones climáticas y geoquímicas (Al-Saleh y Al-Doush, 1997) y la disponibilidad de azufre en el suelo. Por lo tanto, el contenido de selenio en los granos varía ampliamente según la localidad donde se desarrollaron los cultivos (Garvin et al., 2011; Hart et al., 2011), abarcando de 10 µg/kg hasta más de 2000 µg/kg (FAO/WHO/UNU, 2001; Combs, 2001).

2.2.4.2 SELENIO EN LAS CAPAS DEL GRANO

Los granos enteros contienen mayor cantidad de selenio comparado con la harina refinada, lo que indica que este mineral está concentrado en los tejidos del salvado, en la capa de aleurona y del germen, estando presente donde se encuentra el azufre (Lazo-Vélez et al., 2015; Fan et al., 2008; Lyons et al., 2005b).

2.2.5 Rol de los compuestos bioactivos en la nutrición y salud

Los tocoferoles, tocotrienoles, compuestos fenólicos y selenio, presentes en el grano de trigo ejercen una importante actividad antioxidante, por lo que posiblemente este sea uno de los mecanismos primordiales a través de los cuales previenen enfermedades en las que el estrés oxidativo juega un rol fisiopatológico (Nelina A, Ruiz F. 2005; Institute of Medicine, 2000).

2.3 Recomendaciones de consumo de granos enteros en las guías alimentarias

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda incrementar el consumo de granos enteros, como estrategia para alcanzar las recomendaciones diarias de fibra, contribuir a una alimentación saludable y prevenir el desarrollo de muchas enfermedades crónicas (OMS, 2003).

A su vez, según las evidencias, los beneficios del consumo de granos enteros son observados aún con un consumo relativamente bajo, 2 o 3 porciones/día (Lang R., 2003). En este sentido, las recomendaciones dietéticas de consumo de granos enteros son muy diversas, van desde

mensajes genéricos, como por ejemplo «comer más frutas, verduras y productos integrales» (CDC, 2013) a otros algo más específicos «comer al menos 30 g de fibra dietética al día especialmente a partir de productos con granos enteros» (Deutsch Nutrition Society, 2010).

En el caso de EEUU, indica la proporción de granos enteros en relación a los refinados «consumir al menos la mitad de todos los granos (cereales) como granos enteros (3 porciones de granos enteros por día o sea 85 g de granos enteros /día para una dieta de 2000 kcal/día»; recomienda además aumentar la ingesta de granos enteros reemplazando los granos refinados (USDA, 2017; European Commission, 2017). Varios países recomiendan el consumo de granos enteros en las guías alimentarias, incluidas Australia, Canadá, Chile, China, Colombia, Dinamarca, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, India, Letonia, México, Omán, Singapur, Suiza, el Reino Unido y los Estados Unidos.

2.4 Beneficios asociados al consumo de grano entero y mecanismos de acción

Existen evidencias científicas que revelan que el consumo regular de alimentos con granos enteros se ha asociado con la reducción de incidencia de enfermedades no transmisibles (ENT) de alta prevalencia en el Uruguay, como enfermedad cardiovascular, diabetes, algunas patologías de carácter inflamatorio y algunos tipos de cáncer (Tang et al., 2015; Bodinham et al., 2011; Gil et al., 2011; Gnagnarella et al., 2008; Mellen et al., 2007; Liu 2007; Mc Keown, 2004; Slavin, 2004; Anderson, 2003; Liu et al., 2003). También contribuyen al mantenimiento de la salud digestiva y del peso corporal (Walter et al., 2013; USDA 2013; Karl y Saltzman, 2012; Satya et al., 2011; Carvalho-Wells et al., 2010; Van de Vijver et al., 2009; Bazzano et al., 2005). Autores como Jones et al., 2016, Aune et al., 2013; Gil et al., 2011; Jensen et al., 2006; Slavin, 2004; Mc Keown, 2004; Smith et al., 2003, Anderson, 2003, entre otros, han publicado revisiones amplias sobre este aspecto, no obstante, aún se requiere profundizar sobre los mecanismos fisiológicos y moleculares que hacen posible los beneficios de los granos enteros (Liu, 2007; Nelina A, Ruiz F, 2005). El estrés oxidativo o la pérdida de balance

que debe de existir en el organismo entre los prooxidantes y antioxidantes ha sido implicado en la fisiopatología de las ENT y otras tales como Parkinson, enfermedad de Alzheimer, cataratas y asma (Nelina, 2005). El status antioxidante del plasma es el resultado concomitante de muchos compuestos e interacciones metabólicas sistémicas (Liu et al., 2004).

En los granos enteros los compuestos bioactivos que han despertado mayor interés con relación a las ENT por su efecto protector son los compuestos fenólicos, los fitoesteroles, los tocoles, los folatos y el selenio, cuya propiedad antioxidante deriva del poder antioxidante sinérgico acumulativo de estos compuestos (Zúñiga, 2007).

2.5 Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos antioxidantes del grano de trigo

Los efectos beneficiosos derivados del consumo de grano entero dependen de la cantidad consumida y de la bioaccesibilidad y biodisponibilidad (Saura-Calixto, 2010) de los compuestos antioxidantes. La bioaccesibilidad se define como la cantidad de un componente del alimento que está presente en el intestino humano, como consecuencia de su liberación de la matriz del alimento y que puede ser capaz de atravesar la barrera intestinal (Shim et al., 2009). La biodisponibilidad se define como la cantidad y velocidad a la que el principio activo se absorbe, llega a la circulación sistémica y desde allí a los lugares de acción (Holst B, Williamson G., 2008; Aggett, 2010). Para que un compuesto sea potencialmente biodisponible, primero debe estar bioaccesible en la matriz del alimento (Tagliazucchi et al., 2010).

En su pasaje por el tubo digestivo, la conformación de los compuestos bioactivos puede ser modificada por enzimas del intestino generando metabolitos que pueden o no ser biodisponibles y en consecuencia poseer o no actividad biológica. Por otra parte, la flora del colon, es considerada también como un sitio importante de metabolización de los compuestos bioactivos, capaz de hidrolizar varias moléculas (incluyendo glicósidos, glucuronidos, sulfatos, amidas, ésteres y lactonas), y de producir la ruptura de moléculas grandes, anillos aromá-

ticos, reducciones, descarboxilaciones y deshidroxilaciones (Lutz, 2013), liberando compuestos más pequeños y simples, muchas de los cuales son biodisponibles. Esto explica, en gran medida, la alta variabilidad observada en los niveles plasmáticos de compuestos bioactivos medidos en sujetos que consumen cantidades estándar de estos compuestos, ya que su metabolismo intestinal es altamente dependiente de su tipo de flora microbiana, generando metabolitos diversos cuya biodisponibilidad es diferente (Scalbert, 2000; Lampe, 2007). En consecuencia, si bien la biodisponibilidad de los compuestos originalmente presentes en el alimento puede ser extremadamente baja, la biodisponibilidad de sus productos de fermentación puede ser muy elevada (Manach C et al., 2005; Verzelloni, 2011).

2.5.1 Factores que condicionan la biodisponibilidad de los compuestos antioxidantes del grano entero de trigo

Los factores que condicionan la biodisponibilidad son de dos tipos: relativos al alimento e inherentes al individuo.

2.5.1.1 ESTRUCTURA QUÍMICA E INTERACCIÓN DE LAS MOLÉCULAS

Un factor condicionante de la biodisponibilidad es la estructura química e interacción entre moléculas.

Los ácidos fenólicos, como ya ha sido explicado, constituyen los principales compuestos bioactivos en el trigo y se pueden presentar en tres formas en relación a su estructura química. El tamaño molecular, el grado de polimerización y si los compuestos fenólicos están conjugados o no condicionan la biodisponibilidad (Bravo, 1998). Es así, que pueden dividirse en dos grupos: biodisponibles en el tracto gastrointestinal humano y no biodisponibles o asociados a la fibra dietética (Saura-Calixto, 2010).

La fibra dietética es un factor condicionante de la biodisponibilidad tanto para los compuestos fenólicos como para los carotenoides (Van Vliet, 1995; Rock, 1992; Bowen, 1993). Esto puede deberse a diferentes mecanismos, incluyendo su menor liberación desde los vegetales que las contienen, por atraparlos durante su paso por la luz intestinal o por la unión a

polisacáridos que requieren de hidrólisis posterior para ser absorbidos (Lutz, 2013).

2.5.1.2. MICROESTRUCTURA DE LOS ALIMENTOS

La microestructura de los alimentos afecta los procesos de bioaccesibilidad y biodisponibilidad de varias sustancias, refiriéndose sobre todo a los compuestos fenólicos (Parada y Aguilera, 2007). En un estudio sobre composición y capacidad antioxidante en grano entero de trigo (Mateo et al., 2008), se ha informado que el ácido ferúlico es el gran contribuyente de la capacidad antioxidante de la aleurona y que reduciendo el tamaño de partícula de la fracción de aleurona, que era $> 180 \mu\text{m}$, podría influir en la bioaccesibilidad de este ácido y de otros compuestos antioxidantes.

2.5.1.3. PROCESOS DE PRODUCCIÓN O ELABORACIÓN PARA EL CONSUMO

Los procesos de producción o elaboración para el consumo pueden incidir en la biodisponibilidad. En el caso de los carotenoides el grado de subdivisión del alimento influye en la solubilización y síntesis de quilomicrones. Otros procesos como la cocción y el tostado pueden aumentar la actividad antioxidante de los granos (Slavin, 2004). Se ha sugerido que los efectos del procesamiento horneado, malteado y fermentación son importantes considerarlos a la hora de definir el alimento como «de grano entero» por las modificaciones de composición nutricional y compuestos bioactivos tras esos procesos (Frølich, 2010). Sin embargo, las investigaciones disponibles sugieren que la frecuencia de consumo y la cantidad de granos enteros ingeridos, más que el tipo de procesamiento, son las consideraciones más importantes al seleccionar una dieta saludable (USDA, 2012).

2.5.1.4. FACTORES FISIOLÓGICOS

La cinética observada en los compuestos antioxidantes depende, en gran medida, de la fisiología del individuo. Factores como la edad, el sexo, la alimentación, el tabaquismo, el consumo de fármacos y/o suplementos alimentarios, el estilo de vida y el perfil genético hacen que el metabolismo de los compuestos bioactivos en el organismo presente un perfil de biodisponibilidad único, diferente al de sujetos semejantes (Lutz, 2013).

En particular la masticación como una etapa de la alimentación, contribuye a la extracción de los compuestos fenólicos de la matriz de los alimentos donde las células se degradan y liberan de las vacuolas y los compuestos fenólicos presentes en las paredes celulares.

2.5.1.5 PERFIL NUTRICIONAL DE LA ALIMENTACIÓN

El perfil nutricional de la alimentación en el que se vehiculizan los compuestos antioxidantes también puede condicionar la biodisponibilidad. En el caso de los carotenoides esto es muy importante ya que la suficiencia en el bulk lipídico (triglicéridos) influye sobre la solubilización de los carotenoides, así como la estimulación de síntesis de quilomicrones. (Van Vliet, 1995; Rock, 1992; Bowen, 1993). El perfil lipídico de la alimentación es un factor condicionante para la biodisponibilidad de los tocoferoles, se observó que los triglicéridos de cadena media incrementan esta absorción mientras que los ácidos grasos poliinsaturados la inhiben (Mataix J, Ochoa J., 2002).

2.5.2 Biodisponibilidad y medición de la actividad antioxidante postconsumo

El perfil metabólico a diferentes niveles (intestino, sangre, orina) proporciona información sobre qué compuestos podrían ser los responsables de la posible actividad beneficiosa para el organismo.

A su vez, se debe considerar que los niveles plasmáticos medidos no necesariamente reflejan la biodisponibilidad real de las moléculas bioactivas, o sea que no existe una relación directa entre el contenido y la biodisponibilidad (Crozier, 2000; Pandey, 2009)

Esto se debe, a que como se expresó, la biodisponibilidad de los compuestos depende de muchos factores y a su vez su vida media puede variar desde media hora a 20 horas según cinética de absorción, metabolismo, distribución y excreción de estos compuestos en el organismo (Mullen, 2006).

En estudios realizados por Benito (2001), se observó ausencia de flavonoides o compuestos conjugados de éstos en el plasma de ratas, sin embargo, se encontró un incremento en la capacidad antioxidante plasmática postconsumo de

vino tinto desalcoholizado. Esto demuestra que los derivados de los flavonoides circulantes en el plasma mantenían su actividad antioxidante. Además, cada antioxidante según la solubilidad tendrá un lugar preferencial de acción en el organismo.

La medición de esta capacidad antioxidante combinada puede ser entonces más relevante que la determinación individual de los compuestos presentes en la sangre. A lo anterior, se suma el hecho que la capacidad antioxidante celular está principalmente determinada por sistemas enzimáticos, mientras que las plasmáticas están asociadas a la concentración de antioxidantes de bajo peso molecular suplementados por la dieta. Estos compuestos son rápidamente ingresados en la ruta metabólica y necesitan ser recambiados para mantener el balance frente a las especies oxidantes.

2.5.3 Estudios de biodisponibilidad de compuestos antioxidantes en fracciones de grano de trigo

Mateo et al. (2008) encontraron que los compuestos bioaccesibles de la aleurona tienen la capacidad antioxidante más alta y prolongada y un efecto antiinflamatorio mayor en comparación con los de salvado y harina, siendo esta última la que tuvo la capacidad antioxidante más baja. Este orden de rango fue similar al reportado en un anterior estudio en el que se midió la capacidad antioxidante en agua de extractos provenientes de la hidrólisis ácida de esas fracciones de trigo (Mateo et al., 2008). Miller et al. (2000) estimaron la ingesta de antioxidantes diarios en alrededor de 1840 mmol de equivalentes de trolox, de los cuales se atribuyó el 26% al consumo de cereales para el desayuno y el resto a la de frutas y vegetales. En el estudio ya referido de Mateo et al. (2008), identificaron que los compuestos de la aleurona son bioaccesibles dentro de un intervalo de tiempo tardío (3-4 h) después de la ingesta y también mostró un significativo efecto antiinflamatorio, mientras que esto no se observó para las fracciones de salvado y harina. La bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en forma tardía, puede indicar que la aleurona sea la fracción más adecuada del trigo para proporcionar una liberación continua de antioxidante y compuestos antiinflamatorios en el tracto gastrointestinal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de las muestras

3.1.1 Material genético

Los materiales genéticos de trigo evaluados fueron cultivares comerciales del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y líneas en evaluación pertenecientes al Programa de Mejoramiento Genético de INIA. Se seleccionaron según su año de comienzo de evaluación y variabilidad genética. Los granos de muestra se conservaron desde su cosecha hasta su molienda en cámara de frío a 6 °C. Se incluyeron 20 genotipos de trigo pan (*Triticum aestivum*): nueve de ciclo largo (CL) y once de ciclo corto (CC) (Cuadro 4).

Las muestras de granos fueron obtenidas de ensayos de la Evaluación Nacional de Cultivares, del convenio entre INIA y el Instituto Nacio-

Cuadro 4. Genotipos de trigo pan utilizados en las muestras y ciclos.

Genotipo	CICLO
LE 2210 (INIA TIJERETA)	LARGO
LE 2245 (INIA GORRION)	LARGO
LE 2359 (GENESIS 2359)	LARGO
LE 2366 (GENESIS 2366)	LARGO
LE 2394 (GENESIS 7.94)	LARGO
LE 2424	LARGO
LE 2425	LARGO
LE 2435	LARGO
LE 2436	LARGO
LE 2415	CORTO
LE 2428	CORTO
LE 2375 (GENESIS 2375)	CORTO
LE 2419	CORTO
LE 2430	CORTO
LE 2420	CORTO
LE 2432	CORTO
LE 2437	CORTO
LE 2387 (GENESIS 6.87)	CORTO
LE 2422	CORTO
LE 2433	CORTO

nal de Semillas (INASE), sembrados en dos localidades, La Estanzuela (Colonia) y Young, y en dos años, 2013 y 2015, con dos repeticiones. Se seleccionó una localidad al norte y otra al sur de la zona de mayor densidad de cultivos de trigo y dos años diferentes para abarcar variedad de condiciones climáticas. Se evaluó un total de 120 muestras. Los ambientes estuvieron definidos por la combinación de localidad, año y período de siembra.

En cada ambiente, el trigo fue sembrado en diseños de bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos agronómicos fueron los protocolizados por la Evaluación Nacional de Cultivares (INASE, 2009).

3.1.2 Preparación de las muestras

Los granos de trigo se molieron usando un molino de laboratorio (Perten, 3100, Suecia). Las muestras molidas se acondicionaron en bolsas de polietileno y se distribuyeron en los laboratorios para realizar las determinaciones analíticas correspondientes.

3.2 Caracterización nutricional de las muestras de trigo

Los métodos utilizados en las determinaciones analíticas de los macronutrientes y cenizas fueron los siguientes:

- Contenido de proteínas: por el método de Kjeldahl (AOAC 955.04), utilizando como factor de conversión de Nitrógeno a proteína 5,83.
- Humedad: por secado en estufa a 130 °C (AOAC 925.10). Las Cenizas mediante método gravimétrico en mufla a 550 °C (AOAC 923.03).
- Lípidos: mediante extracción semicontinua con Soxhlet (AOAC 920.39).
- Carbohidratos totales por diferencia Hidratos de carbono (%) = 100 – (Lípidos + cenizas + proteínas + humedad + fibra dietética), todos expresados como porcentaje.
- Cenizas, por incineración de la muestra fresca en una mufla a 600 °C por 5 horas. Se calculó el contenido de cenizas por diferencia de pesada entre el peso de la muestra

fresca y el peso de la muestra incinerada según técnica 08-01 de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000).

Todas las determinaciones se realizaron en el laboratorio del Dpto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Química de la UDELAR

3.3 Caracterización en compuestos bioactivos de las muestras de trigo

Los métodos utilizados para las determinaciones fueron los siguientes, según el parámetro a evaluar:

- Fibra alimentaria mediante método enzimático AOAC 985.29, en el laboratorio del Dpto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Química de la UDELAR.

Las siguientes determinaciones se realizaron en el laboratorio de Unidad de Bioquímica y Proteómica Analíticas del Instituto Pasteur.

- La luteína y la zexantina coeluyen y la cuantificación fue relativa.
- Los fitoesteroles se identificaron como picos no fluorescentes con máximos de absorbancia a 324 nm de acuerdo con Ziegler et al., 2015.
- Los tocoles y sus fracciones, las determinaciones se realizaron utilizando Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC), a partir de la técnica propuesta por Ziegler et al. (2015) optimizada para tocoferoles y tocotrienoles.
- La capacidad antioxidante de las distintas muestras fue medida a través de la técnica fluorométrica ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) en placas de 96 pocillos y usando el equipo Varioskan LUX (Thermo Fischer Scientific, Waltham, Massachusetts, USA).
- La cuantificación de los compuestos fenólicos totales se hizo según la técnica de Folin Ciocalteu de acuerdo con Sanchez et al. (2013)

3.4 Evaluación de la actividad antioxidante "in vivo" en muestras de trigo con alta y baja actividad antioxidante

3.4.1 Descripción de las muestras

Para seleccionar los trigos a incluir en las dietas de prueba se consideraron los resultados analíticos de las variedades de trigo correspondientes al primer año de estudio (cosecha 2013). Se identificaron 3 genotipos correspondientes al quintil más alto (Q5) y 3 pertenecientes al más bajo (Q1) según la capacidad antioxidante (Aox) de la extracción hidrosoluble de las muestras de trigo. Ambos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). A su vez los 6 genotipos no presentaron diferencias significativas en el contenido de fibra dietética, variable que se controló como componente interferente de la absorción. Los 3 genotipos con menor Aox correspondientes al Q1 fueron: LE 2418 (muestra INIA 059), LE 2332 (INIA Madrugador-muestra INIA 051), LE 2387 (muestra INIA 042) y los 3 genotipos con mayor Aox correspondientes al Q5 fueron: LE 2410 (muestra 084), LE2420 (muestra 122(3568) , LE Génesis 2559 (muestra 096(3477)).

3.4.2 Ensayos «in vivo»

El ensayo se realizó en ratones C57BL/6 y cumplió con las normas descritas por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA). Se usaron 15 ratones machos de 5 meses de edad pertenecientes al Instituto Pasteur donde se realizó el experimento.

Las condiciones ambientales fueron controladas en relación a temperatura y humedad ambiente, con un fotoperiodo de 12/12 horas. Los animales se dividieron en 2 grupos y el ensayo consistió en alimentar un grupo con una dieta conteniendo niveles altos de actividad antioxidante mientras que el otro grupo es alimentado con una dieta conteniendo bajos niveles de actividad antioxidante. Previo a la administración de la dieta se controló el peso de los animales y se extrajo sangre para evaluar la actividad antioxidante plasmática pre-dieta. A partir de este momento, los animales fueron alimentados durante 6 semanas con una dieta,

la cual consistió en suplementar la ración que habitualmente comen los ratones (LabDiet, Nro.catálogo 5k65/66/73) con un mix de trigos homogénea con alta Aox y con baja Aox. La proporción entre la ración habitual y la mezcla de trigos fue 50:50 en todos los casos. Se midió el peso de los animales de los dos grupos en forma semanal a lo largo del ensayo, para controlar el factor consumo con trigos con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja capacidad antioxidante (LAC) como variable. Finalizado el período de 6 semanas, se extrajo plasma de los animales y se determinó la actividad antioxidante por el método ORAC (descrito por Dávalos et al, 2004) y se expresa como micromoles de equivalentes de Trolox (TE) por mg de muestra de plasma.

Para evaluar las diferencias de la capacidad antioxidante plasmática (μM Tx equivalentes) entre el grupo suplementado con trigos con HAC en relación a los alimentados con trigos con LAC se aplicó prueba de ANOVA de una vía ($p < 0,05$). Para comparar las diferencias entre la capacidad antioxidante plasmática de cada ratón antes y después del suplemento con trigos con HAC y LAC se aplicó el test de T de dos colas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Macronutrientes y cenizas

4.1.1 Composición nutricional de proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas

Los resultados obtenidos se describen en la tabla 1.

4.1.1.1 PROTEÍNAS

Los valores promedio, mínimo y máximo de proteínas obtenidos en los cultivares estudiados de ciclo corto (CC) y ciclo largo (CL) son similares a los reportados por Belderok (2000), a los publicados en la base de datos del United States Department of Agriculture (USDA) para la harina de trigo proveniente del grano entero y del trigo tipo Hard Red Spring y a los valores reportados por Vogel et al. (1978) de la colección mundial de trigo de USDA. Sin embargo, al comparar el contenido promedio de proteínas con el de las zafas de trigo nacional 2013 y 2015 (11,9 y 11,0 % en b. s., respectivamente) (MGAP/DGSA, 2014, 2016), los valores de los trigos estudiados fueron algo superiores. Asi-

Tabla 1. Contenido porcentual (g/100 g) en proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas en granos de trigo de ciclo corto y de ciclo largo en base seca.

Componente	A. Trigo de ciclo corto			
	Promedio	DS	Rango	
			Min.	Máx.
Proteínas	14,22	1,25	11,91	17,49
Lípidos	1,87	0,26	1,17	2,53
Carbohidratos	69,28	2,07	63,63	73,38
Cenizas	1,75	0,14	1,32	2,02
B. Trigo de ciclo largo				
Proteínas	15,80	2,5	12,88	20,95
Lípidos	1,86	0,27	1,42	2,36
Carbohidratos	67,21	2,89	61,00	72,21
Cenizas	1,86	0,15	1,43	2,10

Se informa el promedio, desviación estándar (DS), mínimo (mín.) y máximo (máx.).

mismo, el contenido mínimo y máximo de proteínas obtenidos en las muestras de trigos de CC y CL son también algo superiores a los valores característicos de los trigos crecidos en condición de chacra (10-15 % en b. s.) (Shewry y Hey, 2015). En los trigos de CL el valor máximo obtenido alcanza casi al doble del valor mínimo. La variabilidad en el contenido en proteínas del grano de trigo está determinado por factores genéticos y ambientales durante el desarrollo, particularmente por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Shewry y Hey, 2015a; García Lamothe, 2006).

En todos los casos, la proporción de las proteínas de reserva aumenta con el incremento de nitrógeno en la fertilización (Shewry y Hey, 2015; García Lamothe, 2006), por lo tanto, las diferencias encontradas podrían atribuirse a que la disponibilidad de nitrógeno es mayor en los suelos de trigos que se desarrollan en condiciones experimentales con relación a los de trigos crecidos en condición de chacra.

4.1.1.2 LÍPIDOS

Los lípidos son macronutrientes relativamente menores del grano, sin embargo, son componentes importantes nutricionalmente, así como para el almacenamiento y procesamiento de los granos (Davis et al., 1980; Clayton y Morrison, 1972).

El contenido promedio, mínimo y máximo de lípidos en las muestras de trigo evaluadas fueron algo superiores en las variedades de CL con relación a las de CC, con una variación entre 1,7 a 2,1 veces entre los valores máximos y mínimos hallados en los genotipos de CL y CC, respectivamente (Tabla 1).

El contenido promedio de lípidos en las variedades estudiadas es acorde con lo publicado por Belderok (2000) y algo inferior a los datos provenientes de trigos internacionales publicados por Chung et al. (2009), tanto en el valor promedio como en el contenido máximo (promedio 2,63 % y máximo 3,90 % en b. s.).

La concentración de lípidos varía principalmente por la variedad y el ambiente, pero también puede ser por el grado de maduración del grano cuando se cosecha (Chung y Ohm, 2000).

Al comparar los valores obtenidos con datos nacionales de granos de trigo provenientes de

diferentes molinos (Russo et al., 2011) (promedio 2,14 %, mínimo 1,90 % y máximo 2,30 % en b. s.), los contenidos máximos fueron semejantes, sin embargo, el contenido promedio y mínimo fueron inferiores en las muestras evaluadas.

4.1.1.3 CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos constituyen el componente mayoritario del grano de trigo maduro, de los cuales la mayoría corresponde a carbohidratos digeribles, compuestos principalmente por almidón.

Los contenidos promedio y máximo de carbohidratos digeribles fueron similares para trigos de CC y de CL, siendo algo inferior el valor mínimo en trigos de CL (Tabla 1). En los resultados obtenidos se puede observar una relación inversa entre el contenido promedio de proteínas y el valor promedio de carbohidratos digeribles. Este resultado se fundamenta en la relación inversa que existe entre el contenido proteico del grano y su rendimiento (Shewry y Hey, 2015), el cual presenta, en general, una correlación positiva con el grado de llenado y el contenido en carbohidratos del grano (Becker y Hanners, 1991; García Lamothe, 2006). Asimismo, puede atribuirse a que el método que se utilizó para cuantificar los carbohidratos de las muestras fue por diferencia.

El contenido promedio de los materiales genéticos evaluados es similar al publicado en la base de datos USDA (2015) de la harina integral y del trigo tipo Hard Red Spring. No obstante, al compararlo con datos nacionales (Russo et al., 2011), el valor encontrado es algo menor, lo cual puede atribuirse a las variedades de trigo y fundamentalmente a las diferentes condiciones ambientales (Becker y Hanners, 1991), en particular al clima, las enfermedades y su interacción durante los períodos en que se desarrollaron los cultivos de trigo, que son factores determinantes en el llenado del grano (García Lamothe, 2006).

4.1.1.4 CENIZAS

El contenido promedio de cenizas en trigos de CC y de CL varía entre 1,77 y 2,03 % en b. s., siendo acorde con los de las zafras de trigo nacional 2013 y 2015 (1,81 y 1,66 % en b. s., respectivamente) (MGAP/DGSA, 2104, 2016).

El contenido de minerales varía entre diferentes genotipos y en un mismo cultivar según las condiciones ambientales, fundamentalmente las determinadas por la calidad de los suelos, el clima y las prácticas agronómicas (Shewry et al., 2010). A su vez, según Hussain et al. (2010) la localidad tuvo un efecto importante en la concentración de minerales en 321 genotipos de trigos de invierno y de primavera estudiados en varias localidades y años en Suecia.

Por lo tanto, la mayor concentración de cenizas encontrada en este trabajo con relación a las muestras evaluadas en el año 2009 por Russo et al. (2011) podría atribuirse a las diferentes variedades de trigo estudiadas y principalmente a las condiciones climáticas durante el desarrollo de los cultivares y las prácticas agronómicas.

Se puede observar que existe una relación inversa entre los valores promedio de carbohidratos digeribles y cenizas tanto en trigos de CC como en los de CL, lo que se fundamenta en que la concentración de minerales se diluye con el incremento del almidón en el grano (Gooding et al., 2012).

4.1.2 Contribución del genotipo, el ambiente y su interacción en la variabilidad del contenido de los macronutrientes y cenizas

El genotipo (G) del trigo, el ambiente (A) en el que creció y posiblemente la interacción del genotipo por el ambiente (G x A) pueden influenciar fuertemente en la concentración de los nutrientes y compuestos bioactivos. La magnitud de los componentes de varianza del G, el A y la interacción G x A indica su relativa importancia en la variabilidad de los componentes estudiados (Mpfou et al., 2006).

Los resultados obtenidos en los macronutrientes y cenizas en las muestras de trigo de Ciclo largo y de Ciclo corto analizadas se describen en los gráficos 1 y 2 respectivamente.

Los resultados muestran diferencias entre las muestras de trigo de CC y CL excepto para el caso de las cenizas. En el caso de las cenizas la variabilidad en la concentración en las muestras evaluadas se debió en su mayor proporción al A, tanto en los trigos de CC como en los de CL. Estos resultados son acordes con lo esperado, ya que el contenido de cenizas varía entre los diferentes genotipos y en un

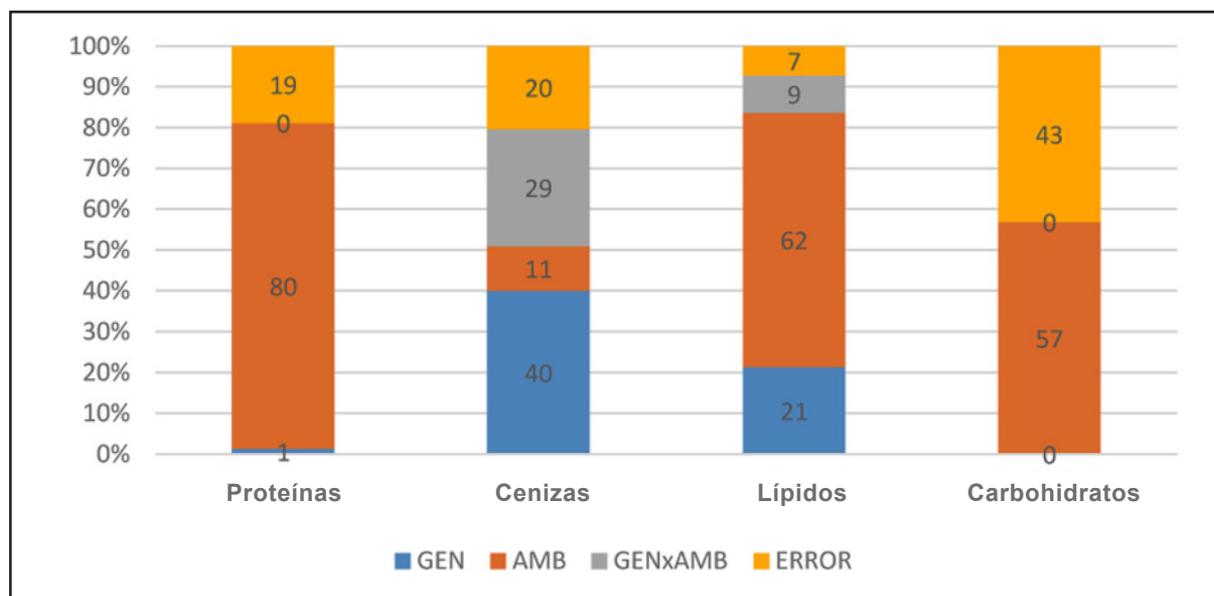


Gráfico 1. Influencia relativa del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, cenizas en muestras de trigo de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

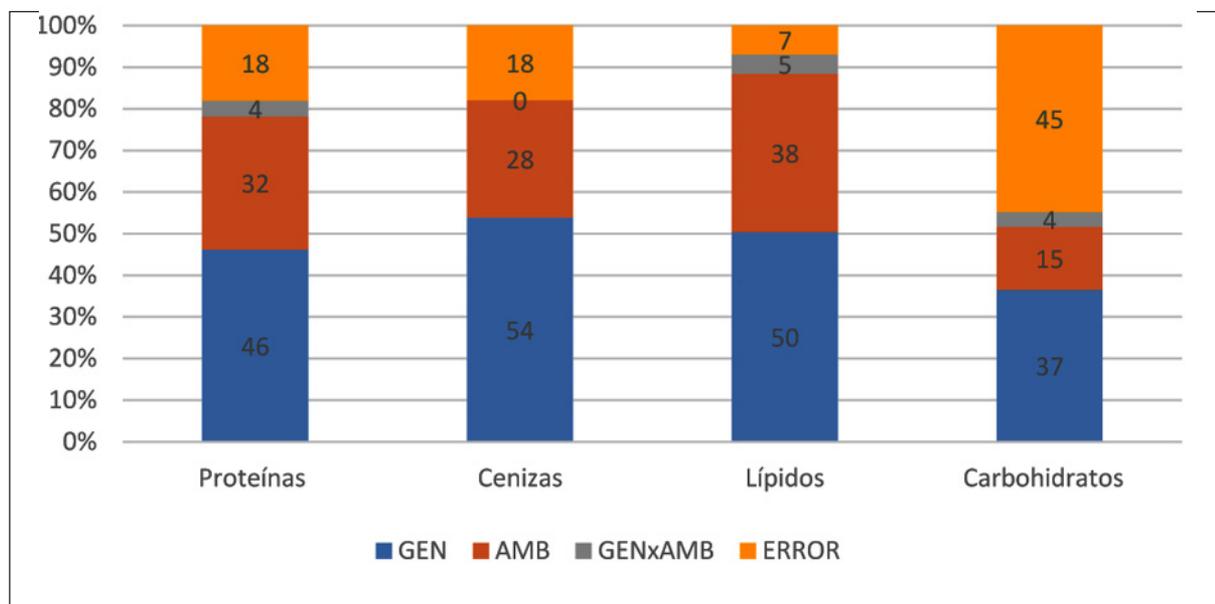


Gráfico 2. Influencia relativa del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, cenizas en muestras de trigo de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

mismo cultivar fundamentalmente por el clima, la calidad de los suelos y el manejo agronómico (Shewry et al., 2010).

En el caso de proteínas, lípidos y carbohidratos, no se evidencia una tendencia clara ya que en los de CC predominó el G alcanzando según el nutriente desde el 37% al 54%, mientras que en los de CL predomina la contribución del A oscilando entre 57% a 80%.

4.2 Compuestos bioactivos

4.2.1 Contenido en tocoles, carotenoides, fitoesteroides, compuestos fenólicos totales, fibra dietética y capacidad antioxidante en las muestras de trigo

Los resultados obtenidos para estos componentes se describen en las tablas 2, 3 y 4.

En las muestras analizadas, al determinar la abundancia absoluta en unidades de área (RFU min) se identificaron cuatro compuestos: alfa-tocoferoles, beta-tocoferoles, gamma-tocoferoles y beta-tocotrienoles. Sin embargo, en el análisis cromatográfico, el beta-tocoferol no se incluyó porque coeluye con el gamma-tocoferol, por lo tanto, en la Tabla 2 se describen los

resultados de las diferentes cantidades de alfa-tocoferoles, gamma-tocoferoles (que incluyen los beta-tocoferoles) y beta-tocotrienoles hallados en trigos de ciclo corto (CC) y de ciclo largo (CL).

Este perfil de compuestos identificados en las muestras evaluadas difiere con el reportado en el proyecto Healthgrain respecto a la fracción de los tocotrienoles. En las muestras evaluadas en el proyecto Healthgrain se detectaron alfa- y beta-tocotrienoles, mientras que en este estudio no se detectaron alfa-tocotrienoles.

El contenido del total de tocoles y de sus fracciones individuales fue similar en las muestras de trigo de CL con relación a las de CC.

En las muestras de los cultivares de ambos ciclos, la concentración promedio de beta-tocotrienol fue la predominante y en segundo lugar le siguió el alfa-tocoferol, coincidiendo estos resultados con lo publicado por Piironen et al. (2009) y Lampi et al. (2008).

La proporción del contenido promedio de beta-tocotrienol en las muestras de trigos de CL y de CC representan con relación al total de tocoles el 88% en ambos, mientras que los alfa-

Tabla 2. Contenido en alfa-tocoferoles, gamma-tocoferoles y beta-tocotrienoles y tocoles totales ($\mu\text{g/g}$) en trigos de ciclo corto y ciclo largo.

A. Trigo de ciclo corto					
Componente	Promedio	DS	Rango		Máx./mín.
			Min.	Máx.	
Alfa-tocoferoles	2,22	1,54	0,09	5,70	63,33
Gamma-tocoferoles	1,03	0,33	0,10	2,12	21,20
Beta-tocotrienoles	24,94	11,82	3,70	59,38	16,04
Tocoles totales	28,20	13,61	3,89	66,26	17,03
B. Trigo de ciclo largo					
Alfa-tocoferoles	1,95	1,75	0,11	6,05	55,00
Gamma-tocoferoles	0,91	0,56	0,04	2,48	62,00
Beta-tocotrienoles	21,58	12,22	3,80	48,76	12,83
Tocoles totales	24,43	14,28	4,02	54,22	13,48

Se informa el promedio, desviación estándar (DS), mínimo (mín.) y máximo (máx.).

tocoferoles alcanzaron una proporción de 8 % en trigos de CL y de CC. Al comparar estos porcentajes con los datos publicados por Lampi et al. (2008) y Piironen et al. (2009), las muestras evaluadas en este trabajo presentan una mayor proporción de beta-tocotrienol y menor porcentaje de alfa-tocoferoles con relación a las otras variedades de trigo. Según lo publicado por estos autores, la proporción promedio de beta-tocotrienol con relación a los tocoles totales es de 50,8 % con un rango de 31,3 a 68,5 % y la de alfa-tocoferol es de 26,8 % con un rango de 12,2 a 40,8 %.

Existe además una amplia variación en la concentración de tocoles y sus fracciones individuales en los materiales estudiados, con una diferencia entre el valor máximo y el mínimo que oscila entre 12,8 y 63,3 veces. En ambos ciclos, la mayor variación la presenta el alfa-tocoferol, a diferencia de lo hallado en las muestras del trigo primavera evaluadas en el proyecto Heathgrain (Lampi et al., 2008), en las cuales la máxima variación estuvo entre la concentraciones máxima y mínima de los beta-tocotrienoles. A pesar de que los tocotrienoles predominan en las capas externas del grano (Bramley et al., 2000; Chung y Ohm, 2000; Morrison, 1978) y consecuentemente cualquier factor que afecte la proporción del salvado (incluido el tamaño del grano) podría afectar la concentración en el grano entero (Shwery et al.,

2010; Belitz et al., 2009), en las muestras estudiadas estos compuestos resultaron tener menor variabilidad en su concentración con relación a los tocoferoles, cuyo contenido predomina en el germen (Bramley et al., 2000; Chung y Ohm, 2000).

La variabilidad entre los valores tiene relación con la diversidad genética y ambiental donde se desarrollan los cultivos (Lampi et al., 2008). Al comparar la diferencia entre los valores máximos y mínimos obtenidos de tocoles en las muestras estudiadas y los reportados por Lampi et al. (2008) para las variedades de trigo primavera, la amplitud del rango fue superior en este trabajo, a pesar de que la diversidad genética de los trigos evaluados en el proyecto Healthgrain fue mayor. Los cultivares de trigo primavera crecieron en un mismo lugar, en cambio las muestras evaluadas en este trabajo se desarrollaron en distintos ambientes, por lo tanto, las diferencias halladas, en parte, podrían explicarse porque las condiciones en que crecen los cultivares tienen un importante efecto en la concentración de los tocoles (Lampi et al., 2008).

Los compuestos fenólicos son los fitoquímicos más abundantes en el grano de trigo y abarcan una gran cantidad de compuestos (Shewry y Hey, 2015), siendo el predominante el ácido ferúlico. El contenido en compuestos fenólicos de los materiales estudiados se resume en la Tabla 3. En las muestras de trigos de

Tabla 3. Contenido en luteína y zeaxantina, fitoesteroles, compuestos fenólicos ($\mu\text{g/g}$ equivalentes en ácido gálico) y capacidad antioxidante, en trigo de ciclo corto y de ciclo largo.

A. Trigo de ciclo corto					
Componente	Promedio	DS	Rango		Máx./mín.
			Min.	Máx.	
Luteína+zeax. (área)	111,21	94,29	15,52	385,90	24,86
Fitoesterol (área)	16,12	16,93	1,80	80,10	44,44
Comp. fenólicos ($\mu\text{g/g}$)	921,12	101,55	692,40	1203,40	1,74
Aox cap (TxE M/g)	111,22	29,85	62,44	195,29	3,13
Aox cap. (TohE mM/g)	18,19	14,16	0,89	57,86	65,01
B. Trigo de ciclo largo					
Luteína+zeax. (área)	94,79	75,78	16,05	270,90	16,88
Fitoesterol (área)	12,22	11,49	1,20	63,23	52,69
Comp. fenólicos $\mu\text{g/g}$	969,63	86,24	772,00	1162,00	1,50
Aox cap (TxE mM/g)	115,25	34,50	54,89	196,02	3,57
Aox cap. (TohE mM/g)	17,18	16,43	1,10	62,55	56,86

Se informa el promedio, desviación estándar (DS), mínimo (mín.) y máximo (máx.).

Ref.: Zeax: zeaxantina; Aox: actividad antioxidante; TxE equivalentes Trolox; TohE: alfa-tocoferol equivalentes.

CC y de CL se obtuvieron valores similares en el contenido promedio, mínimo y máximo.

El valor promedio de los compuestos fenólicos obtenidos en los granos evaluados es inferior al reportado por Shewry et al. (2012) y similares a otros valores publicados por otros autores (Wende et al., 2005; Lachman et al., 2003) para diferentes especies y variedades de trigo. A su vez, al comparar el contenido promedio de compuestos fenólicos en el grano entero (879 $\mu\text{g/g}$ de equivalentes en ácido gálico) a partir de los resultados que obtuvieron Garnero et al. (2009) al estudiar la concentración de compuestos fenólicos en la fracción de salvado de variedades de trigo argentinos con las muestras estudiadas en este trabajo, el valor obtenido por estos autores fue también similar al de las muestras evaluadas.

Para calcular la concentración promedio de compuestos fenólicos en el grano entero a partir de los valores publicados por Garnero et al. (2009) en la fracción del salvado, se consideró que los compuestos fenólicos se concentran en el salvado y que este constituye entre el 13 y el 17 % del grano en b. s. (Vázquez, 2009).

El contenido en compuestos fenólicos cambia entre las variedades y entre cultivos de un mismo genotipo crecidos en diferentes ambientes (Beta et al., 2005). Es bien sabido además que el contenido de los compuestos fenólicos está influenciado por las reacciones defensivas de la planta frente al ataque de patógenos (Mpfou et al., 2006) y por el grado de maduración de la planta. A su vez, los métodos analíticos para su determinación podrían ser en parte responsables de las variaciones en los valores publicados (Piironen et al., 2009).

Corresponde aclarar que si bien los resultados obtenidos en este trabajo se expresan en $\mu\text{g/g}$ (equivalentes en ácido gálico) y la literatura consultada refiere, en general, la concentración en $\mu\text{g/g}$ de compuestos fenólicos totales, los valores pueden ser comparables, ya que según Verma et al. (2008), no hay diferencias sustanciales entre las curvas de calibrado de ácido gálico y ácido ferúlico (el más abundante en trigo).

Los compuestos fenólicos presentaron la menor diferencia entre los valores máximo y mínimo respecto a los otros compuestos bioactivos estudiados. Estos resultados difieren de los valores reportados por Shewry et al.

(2012), en los cuales la relación entre los valores máximo y mínimo alcanzó 3,6 veces. La mayor variabilidad encontrada entre las muestras evaluadas en el proyecto Healthgrain y las analizadas en este trabajo podría atribuirse a que las muestras seleccionadas en el primero abarcan mayor variabilidad de genotipos y, a su vez, su origen geográfico es mucho más diverso que el de las variedades de trigo utilizadas en este trabajo.

El valor promedio de fitoesteroles fue mayor en los trigos de ciclo corto en relación a los de ciclo largo. El valor obtenido al relacionar los contenidos máximos y mínimos entre las muestras estudiadas fue mayor en los fitoesteroles en relación a los carotenoides y a los compuestos fenólicos, alcanzado un valor máximo de 56,86.

Respecto a la capacidad antioxidante, se midió en las muestras de trigo la capacidad antioxidante de los compuestos hidrofílicos y la capacidad antioxidante de los compuestos lipofílicos, expresándolas en trolox equivalentes y alfa-tocoferol equivalentes, respectivamente. Los valores obtenidos para ambos parámetros fueron similares en los trigos de ciclo largo y corto.

En el caso del grano de trigo, los principales componentes hidrofílicos con capacidad antioxidante corresponden a los compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos son los fitoquímicos más abundantes en el grano de trigo y el mayor grupo de antioxidantes (Shewry y Hey, 2015b) y abarca una gran cantidad de compuestos que se caracterizan por presentar uno o más anillos fenólicos (Piironen et al., 2009). En el trigo han sido identificados varios compuestos fenólicos, que incluyen los ácidos

fenólicos, alquilresorcinoles, lignanos y flavonoides (Peñalvo et al., 2005; Run et al., 2001). El ácido fenólico predominante es el ácido ferúlico, que representa entre el 50 y el 70 % del total de los ácidos fenólicos contenidos en el grano de trigo (Kequan et al., 2005, 2004). En menor proporción, se encuentran el ácido vanílico, el ácido murámico y el ácido sinérgico (Li et al., 2008).

Los componentes lipofílicos contenidos en el grano de trigo entero que presentan actividad antioxidante están representados por el grupo de los terpenos o terpenoides, entre los que se incluyen los tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides y fitoesteroles (Shewry y Hey, 2015b).

El contenido promedio, mínimo y máximo de fibra dietética en las muestras de trigo estudiadas fueron similares en ambos ciclos (Tabla 4). Los valores máximos de fibra dietética en trigos de CC y de CL son acordes con los resultados reportados por Andersson et al. (2013) y algo superiores a otros datos nacionales publicados por Russo et al. (2011). La relación entre el valor mínimo y máximo es mayor en los trigos estudiados (1,9 y 2 veces en CL y CC respectivamente) respecto a la relación obtenida en los cultivos analizados en el proyecto Healthgrain (1,3 veces) (Andersson et al., 2013) y en otros cultivos nacionales (1,2 veces) (Russo et al., 2011). El contenido de fibra dietética varía en los diferentes tejidos del grano y se concentra en las capas externas, por lo tanto, cualquier factor que afecte la proporción del salvado (incluido el tamaño) podría afectar la concentración en el grano entero (Shewry et al., 2010; Belitz, 2009).

Tabla 4. Contenido porcentual de fibra dietética (g/100g) (en base seca) en trigo de ciclo corto y de ciclo largo.

A. Trigo de ciclo corto					
Componente	Promedio	DS	Rango		Máx./mín.
			Min.	Máx.	
Fibra dietética	11,70	1,25	8,49	16,27	2,00
B. Trigo de ciclo largo					
Fibra dietética	12,09	1,35	8,44	16,89	1,91

Se informa el promedio, desviación estándar (DS), mínimo (mín.) y máximo (máx.).

4.2.2 Influencia relativa del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de fibra dietética, tocoles, carotenoides, fitoesteroles, compuestos fenólicos totales

La variabilidad en la concentración de los tocoles totales y las fracciones individuales en las muestras evaluadas se debió en su mayor

proporción al A, tanto en los trigos de CC como en los de CL, oscilando entre 45 y 73 %, mientras que la contribución del G varió entre 9 y 33 % (Gráfico 3 y 4).

Estos resultados difieren de los valores reportados por Shewry et al. (2010), al estudiar la magnitud de los componentes de varianza del G, el A y la interacción G x A en 26 líneas de trigo cultivadas en seis ambientes (proyecto

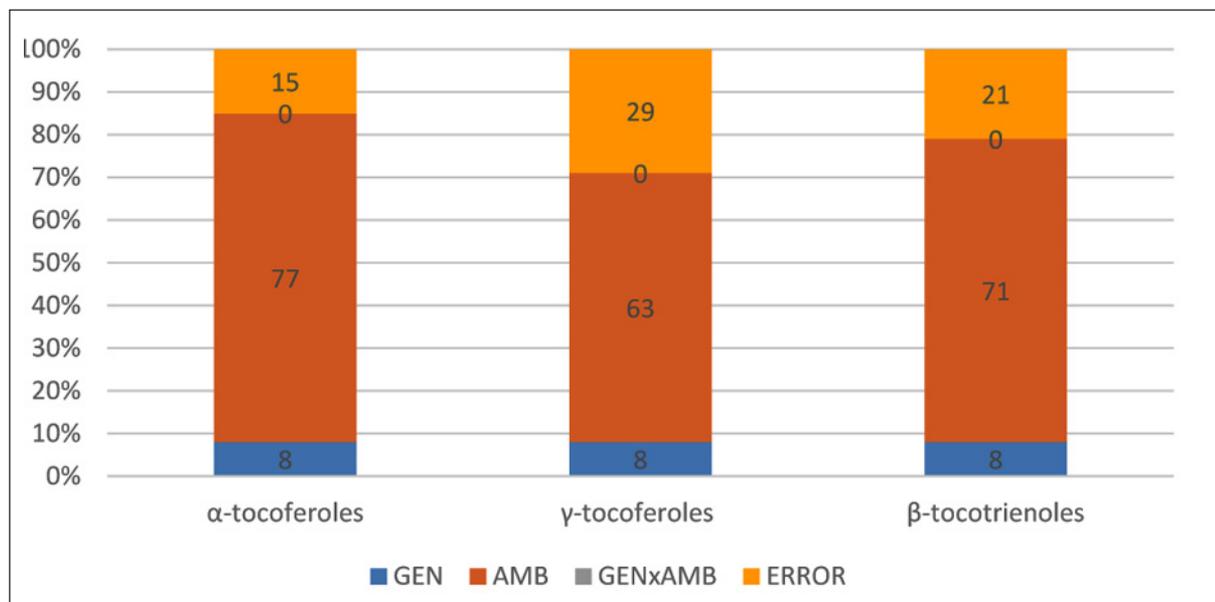


Gráfico 3. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de alfa-tocoferoles, gamma-tocoferoles y beta-tocotrienoles en genotipos de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

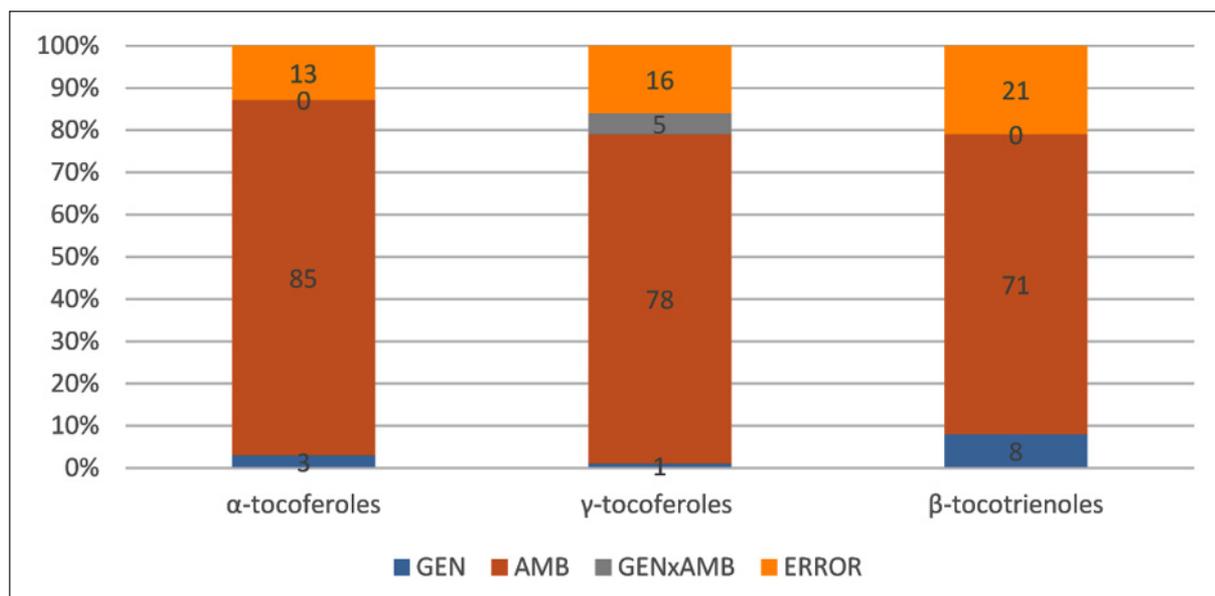


Gráfico 4. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de alfa-tocoferoles, gamma-tocoferoles y beta-tocotrienoles en genotipos de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

Healthgrain). Según estos autores, la proporción atribuible al genotipo fue alta, alcanzando el 77 % del total de la varianza. Si bien los diferentes genotipos y las condiciones en que crecen los cultivares tienen un importante efecto en la concentración y el perfil de los tocoles (Lampi et al., 2008), en los materiales evaluados en este trabajo el principal componente que influyó en la variabilidad de la concentración de los tocoles y las fracciones individuales fue el ambiente.

La contribución del A, el G y su interacción en la variabilidad de la concentración de los otros compuestos fue diferente dependiendo del parámetro estudiado, tal como se observa en los gráficos 5, 6 y 7.

En los carotenoides (luteína y zeaxantina), la variabilidad en su concentración es atribuible fundamentalmente al A (Gráfico 5 y 6).

Sin embargo en la variabilidad de la concentración de fitoesteroles, compuestos fenólicos

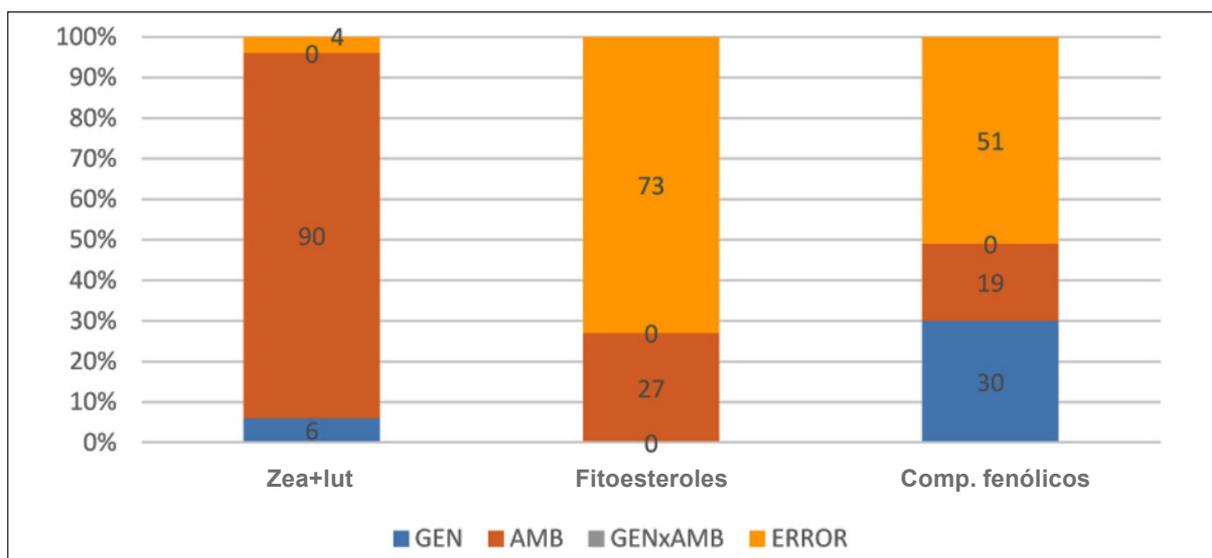


Gráfico 5. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de zeaxantina (Zea) y luteína (lut), fitoesteroles y compuestos fenólicos totales en genotipos de ciclo largo. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

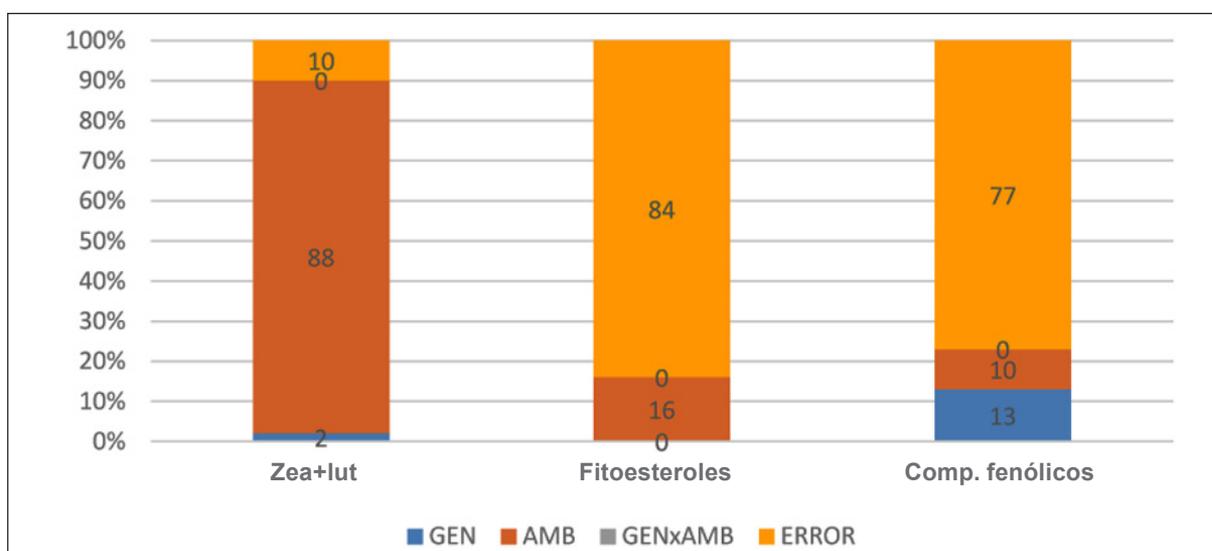


Gráfico 6. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de zeaxantina (Zea) y luteína (lut), fitoesteroles y compuestos fenólicos totales en genotipos de ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

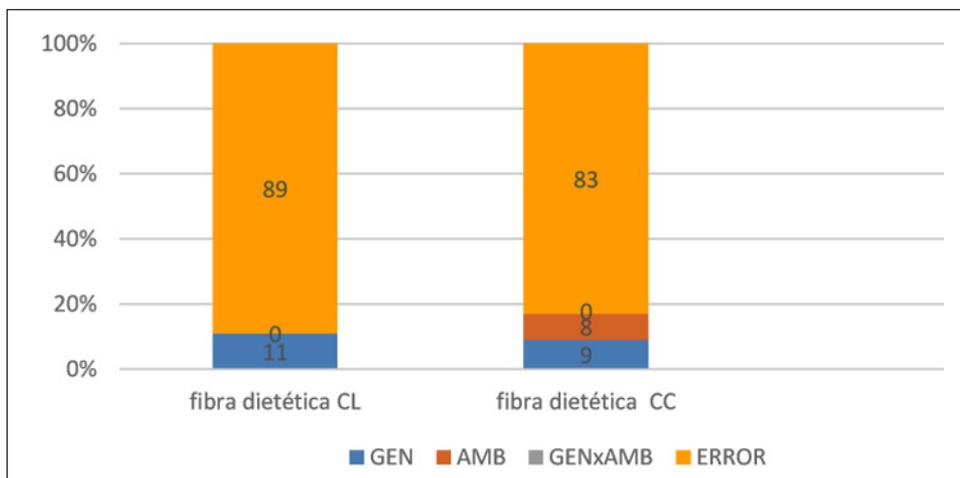


Gráfico 7. Componentes de varianza del genotipo, el ambiente y la interacción genotipo por ambiente en el contenido de fibra dietética en genotipos de ciclo largo y ciclo corto. GEN: genotipo; AMB ambiente; GENxAMB: interacción de genotipo por ambiente.

(Gráfico 5 y 6) y fibra dietética (Gráfico 7) de las muestras estudiadas los resultados no indican una tendencia clara, por lo tanto se requieren más estudios para investigar la contribución del A, el G y la interacción G x A en la variabilidad estos componentes de variedades nacionales.

4.3 Actividad antioxidante "in vivo"

En la tabla 5 se describe la actividad antioxidante evaluada en el plasma de los animales de experimentación antes y después de suplementar la dieta con granos de trigo entero.

Como muestra la Tabla 5, los valores de actividad antioxidante plasmática aumentan después de la suplementación con trigos uruguayos independiente si presentaron HAC o

LAC. Dichos resultados corroboran lo relevado en otros estudios, donde la ingesta de granos enteros y particularmente trigo aumentan la actividad antioxidante plasmática, debido a los compuestos con actividad antioxidante. El grano de trigo entero contiene dos grupos principales de compuestos bioactivos los terpenos o terpenoides (tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides y fitoesteroles) y los compuestos fenólicos (Shewry PR, Hey S., 2015b). Estos compuestos están presentes particularmente en aleurona y germen y son los que mitigan el efecto adverso de las especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno (Institute of Medicine, 2000) y contribuyen al estatus antioxidante del plasma. Los efectos beneficiosos derivados del consumo de grano entero dependen de la cantidad consumida y de la bioaccesibilidad y

Tabla 5. Capacidad antioxidante plasmática ($\mu\text{M Tx}$ equivalentes) antes y después de la suplementación con trigos con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja actividad antioxidante (LAC).

HAC		LAC	
Antes	Después	Antes	Después
323,16	530,66	412,70	600,44
497,24	543,67	355,81	651,17
408,08	791,60	315,39	608,91
428,72	587,05	382,61	555,22
483,23	528,88	368,50	609,09
513,70	509,10	427,44	550,83

biodisponibilidad (Saura-Calixto, 2010) de los compuestos antioxidantes. En consecuencia, la biodisponibilidad de los compuestos originalmente presentes en el alimento puede ser extremadamente baja, pero la biodisponibilidad de sus productos de fermentación puede ser muy elevada. En los estudios de biodisponibilidad es importante considerar que en el colon se producen modificaciones moleculares importantes, entre las cuales es frecuente la ruptura de los anillos aromáticos, como es el caso de los compuestos fenólicos, dando origen a nuevos metabolitos muy distintos a los compuestos originalmente presentes en el alimento, los que pueden ser biodisponibles (Manach, 2005). La biodisponibilidad aparente de la gran mayoría de los fitoquímicos alimentarios es muy limitada, como se observa en los bajos niveles de concentración plasmática y excreción urinaria de las moléculas en relación con la cantidad ingerida (Del Rio, 2010), pero esta situación cambia si se consideran los metabolitos formados por la microflora del colon, algunos de los cuales pueden poseer una alta biodisponibilidad y ejercer acciones saludables en el organismo (Verzelloni, 2011). Un aspecto a considerar es que, aunque la biodisponibilidad de los compuestos originalmente presentes en el ali-

mento puede ser extremadamente baja, la biodisponibilidad de sus productos de fermentación puede ser muy elevada (Manach et al., 2005). La biodisponibilidad de los compuestos fenólicos los cuales están en importante proporción en el grano entero de trigo es dependiente de muchos factores como ya se expresó y en consecuencia los resultados de su medición son muy variables, no existe una relación directa entre el contenido y la biodisponibilidad (Crozier, 2000; Pandey, 2009). Es probable que estas sean algunas de las razones porqué a pesar de partir de trigos con LAC la actividad antioxidante plasmática subió.

En la tabla 5 y en el gráfico 8 se muestra que la capacidad antioxidante plasmática subió luego del periodo de suplementación en la mayoría de los animales de los dos grupos de estudio; sin embargo, las diferencias fueron estadísticamente no significativas para los trigos con HAC vs LAC. Como se ha expresado, la mayor concentración de compuestos antioxidantes y de actividad antioxidante en el alimento no necesariamente son indicadores de mayor actividad antioxidante plasmática. Esto se debe a los múltiples factores que afectan la biodisponibilidad de dichos compuestos. La interacción de la

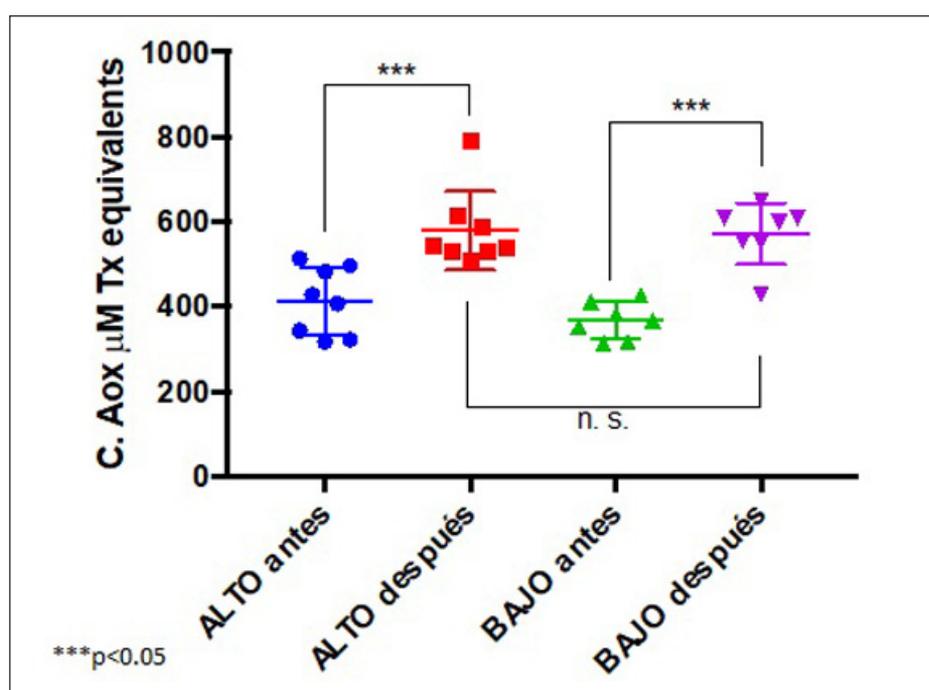


Gráfico 8. Capacidad antioxidante (C. Aox) plasmática (μM Tx equivalentes) antes y después de la suplementación con trigos con alta y baja capacidad antioxidante.

Tabla 6. Diferencias en la capacidad antioxidante plasmática ($\mu\text{M Tx}$ equivalentes) de cada ratón antes y después del suplemento con trigos con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja actividad antioxidante (LAC).

HAC	LAC
207,51	187,75
46,44	295,36
383,51	293,51
158,33	172,61
45, 65	240,60
4,60	123,38
193,89	112,55
294,23	—

Diferencia = Capacidad antioxidante post dieta - capacidad antioxidante pre-dieta

fibra dietética y su potencial interferencia con la biodisponibilidad de compuestos con actividad antioxidante en el grano entero de trigo, es

importante resaltar que fue una variable controlada ya que no había diferencias significativas entre las 3 muestras con HAC que conformaron el suplemento con HAC y las 3 muestras con LAC que integraron ese mix, por lo que probablemente este factor influyó en ambos suplementos de igual forma.

En la Tabla 6, Gráfico 9 se aprecia que la diferencia entre la actividad antioxidante plasmática antes y después de la suplementación tanto con trigos con HAC como con LAC fue positiva en la mayoría de los animales, pero no se aprecian diferencias significativas en la ganancia entre ambos grupos de animales. Probablemente esto sea consecuencia de los factores vinculados a la calidad de la matriz alimentaria (grano entero de trigo) que condicionan la biodisponibilidad de los compuestos con actividad antioxidante. Por lo tanto, las diferencias en la actividad antioxidante del alimento no sería en este caso un buen indicador de la respuesta plasmática post-ingesta.

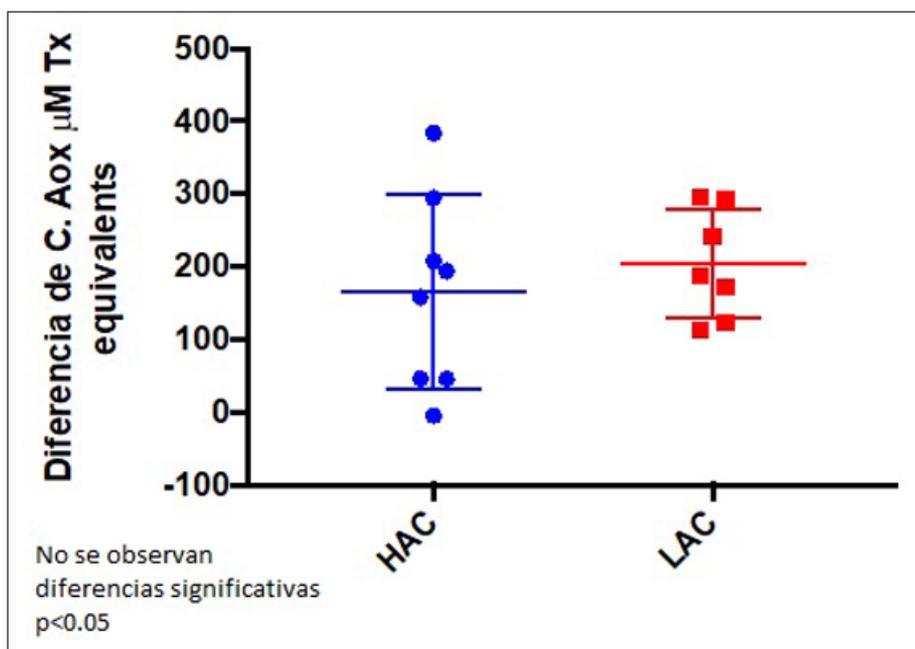


Gráfico 9. Diferencias en la capacidad antioxidante (C. Aox) plasmática ($\mu\text{M Tx}$ equivalentes) de cada ratón antes y después del suplemento con alta capacidad antioxidante (HAC) y baja actividad antioxidante (LAC).

5. CONCLUSIONES

Se concluye que los materiales de trigo evaluados presentaron amplia variabilidad, fundamentalmente en la concentración de los compuestos bioactivos. Los tocoferoles y los tocotrienoles presentaron las máximas diferencias entre los valores máximos y mínimos respecto a los otros compuestos estudiados.

La variabilidad en el contenido de los componentes analizados estuvo determinada en distinta proporción por el genotipo (G), el ambiente (A) y por la interacción genotipo por ambiente (G x A).

La variabilidad de la concentración de las cenizas y de los carotenoides de las muestras evaluadas en ambos ciclos, se debió en su mayor proporción al A, al G y a la interacción del G x A. Sin embargo en la variabilidad de la concentración de los otros parámetros analizados los resultados no indican una tendencia clara en los materiales genéticos estudiados, por lo tanto se requiere de más estudios para investigar la contribución del A, el G y la interacción del G x A en la variabilidad de los compuestos

En los ensayos «in vivo», se observó que las variedades de trigo uruguayo empleadas como suplemento en el ensayo, aumentan la actividad antioxidante plasmática postconsumo. Por lo tanto, los compuestos bioactivos antioxidantes presentes en productos elaborados con harinas de grano de trigo complementan los de los vegetales (verduras y frutas) y otorgan a la alimentación un perfil antioxidante. La actividad antioxidante plasmática aumentó con el suplemento de mix de trigos uruguayos con alta y baja actividad antioxidante y no hubo diferencias estadísticamente significativas en la ganancia en la actividad antioxidante plasmática entre los dos grupos de animales. La biodisponibilidad de los compuestos bioactivos en el trigo, parece ser un factor importante a la hora de considerar el efecto sobre la actividad antioxidante plasmática; mientras que la mayor actividad antioxidante del trigo no asegura mayor efecto a nivel plasmático.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adom KK, Sorrells ME, Liu RH. 2005. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2297-2306.
- Aggett PJ. 2010. Population reference intakes and micronutrient bioavailability: a European perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91: 1433-1437.
- Al-Saleh JA, Al-Doush I. 1997. Selenium levels in wheat grains grown in Saudi Arabia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 590-594.
- Anderson JW, Baird P, Davis RH, Knudtson M, Koraym A. 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67: 188-205.
- Anderson JW. 2003. Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. *Proc Nutr Soc*. 62(1):135-42
- Andersson AA, Andersson R, Piironen V, Lampi AM, Nystrom L, Boros D. 2013. Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen. *Food Chemistry*, 136: 1243-1248.
- Antoine C, Peyron S, Lullien PV, Abecassis J y Rouau X. 2004. Wheat bran tissues fractionation using biochemical markers. *Journal of Cereal Science*, 39: 387-393.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. *Official Methods of Analysis*, 18 th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
- Araya L, Lutz R. 2003. Alimentos funcionales y saludables [en línea]. *Revista Chilena de Nutrición*, 30 (1). Consultado 23 setiembre de 2016. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182003000100001>
- Aune D, Keum N, Giovannucci E, Fadnes LT, Boffetta P, Greenwood DC, Tonstad S, Vatten LJ, Riboli E, Norat T. 2016. Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ* :353:i2716
- Bazzano LA, Song Y, Bubes V, Good CK, Manson JE, Liu S. 2005. Dietary intake of whole and refined grain breakfast cereals and weight gain in men. *Obesity Research Journal*, 13: 1952-1960.
- Bechtel DB, Abecassis J, Shewry PR, Evers AD. 2009. Development structure and mechanical properties of the wheat grain. En: Khalil K y Shewry PR eds.)
- Becker R, Hanners GD. 1991. Carbohydrate composition of cereal grains. En: Lorenz KJ y Kulp K. (eds.). *Handbook of Cereal Science and Technology*. Nueva York: Marcel Dekker Inc. 469-496.

- Belderok B. 2000. The wheat grain. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55: 15-20.
- Belitz HD, Grosh W, Schieberle P. 2009. Cereal and cereals products. En: Belitz HD, Grosh W y Schieberle P. (eds). *Food chemistry*. Heidelberg: Springer 670-770.
- Benito S. 2001. Flavonoids in vascular protection through diet in rats: antioxidant activity and vasor relaxant. Doctoral thesis. Barcelona: Universidad de Barcelona. Departamento de Nutrición y Bromatología de la Facultad de Farmacia (División IV) y Departamento de Fisiología de la Facultad de Biología (División III).
- Beta T, Shin N, Dexter JE, Sapirstein HD. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chemistry*, 82: 390-393.
- Bodinhom CL, Hitchen KL, Youngman PJ, Frost GS, Robertson MD. 2011. Short-term effects of whole-grain wheat on appetite and food intake in healthy adults: a pilot study. *British Journal of Nutrition*, 106: 327-330.
- Bonafine O, Cañizares A, Laverde D. 2006. Importancia de los fitoquímicos en la alimentación. En INIA Divulga 7. Maturín, Venezuela: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas). 9-12. Consultado 30 de julio de 2016. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/inia_divulga/divulga_07/rid7_bonafine_9-12
- Bramley PM, Elmadfa I, Kafatos A, Kelly FJ, Manios Y, Roxborough HE, Schuch W, Sheehy PJ, Wagner KH. 2000. Vitamine E. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 80: 913-938.
- Bravo L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56 (11):317-333.
- Brownlee IA. 2011. The physiological roles of dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 25 (2): 238-250
- Carvalho-Wells AL, Helmolz K, Nodet C, Molzer C, Leonard C, McKeivith B, Thielecke F, Jackson KG, Tuohy KM. 2010. *British Journal of Nutrition*, 104: 1353-1356.
- Centers of disease Control. CDC. Available from: http://www.cdc.gov/healthyweight/healthy_eating/fruits_vegetables.html. Last seen: 9/1/18
- Chung OK, Ohm JB, Ram MS, Park SH, Howitt CA. 2009. Wheat Lipids. En Khan K y Shewry PR (eds.). *Wheat: Chemistry and Technology*, 4.ª ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists. 363-399.
- Chung OK, Ohm J. 2000. Cereals lipids. En: Kulp K y Ponte JG (eds.). *Handbook of Cereal Science and Technology*. Nueva York: Marcel Dekker. 417-477.
- Clayton TA, Morrison WR. 1972. Changes in flour lipids during the storage of wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23: 721-736.
- Codex Alimentarius Commission. 2008. Report of the 30th session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. Ciudad del Cabo, Sudáfrica, 3-7 noviembre. Consultado 21 de julio de 2017. Disponible en: http://www.fao.org/input/download/report/710/al32_26e.pdf
- Combs GF. 2001. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85: 517-547.
- Crozier A, Burns J, Aziz AA, Stewart A, Rabiasz HS, Jenkins GI, et al. 2000. Antioxidant flavonols from fruits, vegetables and beverages: measurements and bioavailability. *Biol Res*. 2000; 33:79-88.
- Davis KR, Litteneker N, Le Tourneau D, Cain F, Peters LJ, Mc Ginnis J. 1980. Evaluation of the nutrient composition of wheat. I. Lipid constituents. *Cereal Chemistry*, 57: 178-184.
- Deutsch Nutrition Society. 10 guidelines of the Deutsch Nutrition Society for a wholesome diet [in German]. Bonn; 2005. Available from: <http://www.dge.de/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=16>. Last seen: 9/1/18
- DeVries J.W. 2004. Dietary fiber: the influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International*. 87(3):682-706.
- European Commission. Joint Research Centre. 2017. Health Promotion and Disease Prevention. Knowledge Gateway. Whole Grain. Available from: http://healthgrain.org/.../EU-JRC-Scientific-brief-on-Whole-Grains_.pdf. Last seen: 10/1/18.
- Fan MS, Zhao FJ, Fairweather-Tait, SJ, Poulton PR, Dunham SJ, Mc Grath SP. 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.
- Faulks R.M. y S. Southon. 2005. Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*. 1740(2):95-100.
- FAO/WHO/UNU (Food and Agriculture Organization / World Health Organization / United Nations University). 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Génova: WHO Press. 265 p. (Technical report n.º 935).
- FAO/WHO/UNU (Food and Agriculture Organization / World Health Organization / United Nations University). 2001. Human vitamin and mineral requirements. En: *Human Energy Requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation*. Roma: FAO. 96 p. (Food and Nutrition Technical Report Series n.º 1).

- FDA (Food and Drug Administration). 2006. Guidance for Industry and FDA Staff. Whole grain label statements [en línea]. Consultado 15 de mayo de 2014. Disponible en: <https://www.fda.gov/ohrms/dockets/98fr/06d-0066-gdl0001.pdf>
- Frølich W, Åman P. 2010. Whole grain for whom and why? *Food Nutr Res.* 2010;54:5056 [PMC free article] [PubMed].
- García Lamothe A. 2006. El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo. En: Jornadas de cultivos de invierno «Trigo: Calidad vs. Rendimiento». La Estanzuela, Colonia, Uruguay: INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 8-21 p. (Serie Actividades de Difusión; n.º 444).
- Garnero S, Caporali V, Carrillo E, Panero M. 2009. Compuestos fenólicos en la fracción de salvado de variedades de trigos argentinos y su actividad antioxidante [en línea]. Córdoba, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Consultado 20 de marzo de 2013. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frm/CyTAL_2012/TF/TF007.pdf
- Garvin DF, Hareland G, Gregoire BR, Finley J. 2011. Impact of wheat grain selenium content variation on milling and bread baking. *Cereal Chemistry*, 88: 195-200.
- Gil A, Ortega RM, Maldonado J. 2011. Wholegrain cereals and bread: a duet of the Mediterranean diet for the prevention of chronic diseases. *Public Health Nutrition*, 14 (12): 2316-2322.
- Gnagnarella P, Gandini S, La Vecchia C, Maisonneuve P. 2008. Glycemic index, glycemic load, and cancer risk: A meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87: 1793-1801
- Gooding MJ, Fan M, McGrath SP, Shewry PR, Zhao FJ. 2012. Contrasting effects of dwarfing alleles and nitrogen availability on mineral concentrations in wheat grain. *Plant Soil*, 360: 93-107.
- Halliwell B, Gutteridge, J.M.C. 1989. Free radicals in biology and medicine, 2da edic., Oxford, London: Clarendon Press.
- Hart D, Fairweather-Tait S, Broadley M, Dickinson S, Foot I, Knott P, McGrath SP, Mowat H, Norman K, Scott P, Stroud J, Tucker M, White P, Zhao F, Hurst R. 2011. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread. Retention of selenium during grain fortification, processing and production of Se-enriched food. *Food Chemistry*, 126: 1771-1778.
- Heiniö RL, Myllymaki O, Pihlava JM, Adlercreutz H, Heinonen SM, Liukkonen KH, Poutanen K. 2008. Quantities of phenolic compounds and their impacts on the perceived flavor attributes of rye grain. *Journal of Cereal Science*, 47: 566-575.
- Holst B, Williamson G. 2008. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*. 2008.19(2):73-82.
- Hussain A, Larsson H, Kuktaite R, Johansson E. 2010. Mineral Composition of organically Grown Wheat Genotypes: Contribution to Daily Minerals Intake.
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). 2009. Evaluación Nacional de Cultivares. Protocolo de Evaluación del trigo (*Triticum aestivum* L) [en línea]. Consultado 6 de marzo de 2016. Disponible en: www.inase.org.uy/files/doc.ashx?id=146ABB03BE80A76E
- Institute of Medicine (US) Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000. Summary. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225478/> Last seen: 9/1/18.
- Jensen MK, Koh-Banerjee P, Franz M. 2006. Whole grains, bran, and germ in relation to homocysteine and markers of glycemic control, lipids, and inflammation. *Am Journal Clinical Nutrition*, 83: 275-283.
- Jones Miller Julie. CODEX-Aligned Dietary Fiber Definitions Help to Bridge the 'Fiber Gap'. *Nutrition Journal*. 2014. Available at: <https://nutritionj.biomedcentral.com/.../1475-2891-1>. Last seen: 11/1/18
- Karl JP, Saltzman E. 2012. The role of whole grains in body weight regulation. *Advances in Nutrition*, 3 (5): 697-707.
- Kequan Z, Jun J, Liangli Y. 2005. Phenolic acid, tocopherol and carotenoide composition and antioxidant functions of hard red winter bran. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 53: 3961-3922.
- Kequan Z, Lan S, Liangli Y. 2004. Phytochemicals and Antioxidant Properties in Wheat Bran. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 52 (20): 6108-6114.
- Lachman J, Dudjak J, Orsak M, Pivec V. 2003. Effect of accelerated ageing on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Plant Soil Environment*, 49: 1-17.
- Lafiandra D, Riccardi G, Shewry PR. 2014. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 59 (3): 312-326.
- Lampe JW, Chang JL. 2007. Interindividual differences in phytochemical metabolism and disposition. *Semin Cancer Biol.* 2007;17: 347-53.
- Lampi AM, Nurmi T, Ollilainen V, Piironen V. 2008. Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal of Agriculture. Food Chemistry*, 56: 9716-9721.
- Lang R, Jebb S. 2003. Who consumes whole grains, and how much? *Proceedings of the Nutrition Society* (2003), 62, 123-127.

- Larrosa M, Luceri C, Vivoli E, Pagliuca C, Lodovici M, Moneti G, et al. 2009. Polyphenol metabolites from colonic microbiota exert anti-inflammatory activity on different inflammation models. *Mol Nutr Food Res*. 2009; 53:1044-54.
- Laurin, D.; Masaki, K.-H.; Foley, D.J.; White, L.R. & Launer, L.J. 2004. «Midlife dietary intake of antioxidants and risk of late-life incident dementia: the Honolulu-Asia aging study», in *American Journal of Epidemiology* 159, pp.959-967.
- Lazo-Vélez MA, Chávez-Santoscoy A, Serna-Saldivar SO. 2015. Selenium-Enriched Breads and Their Benefits in Human Nutrition and Health as Affected by Agronomic, Milling, and Baking Factors. *Cereal Chemistry*, 92 (2): 134-144.
- Li L, Sewry P, Ward J. 2008. Phenolic Acids in Wheat varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 9732-9739.
- Liu L, Zubik L, Collins FW, Marko M, Meydani M. 2004. The antiatherogenic potential of oat phenolic compounds. *Atherosclerosis*, 175 (1): 39-49.
- Liu RH. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Science*, 46: 207-219.
- Liu S, Manson JE, Willet WC, Hu FB, Rosner F, Colditz G. 2003. Relation between changes in intakes of dietary fiber and grain products changes in weight and development of obesity among middle age women. *Journal Clinical Nutrition*, 78: 920-927
- Lookhart G, Bean S. 2000. Cereal proteins: composition of their major fractions and methods for identification. En: Kulp Ky Ponte JG Jr. (eds.). *Handbook of Cereal Science and Technology*, 2.ª ed. Nuev York: Marcel Dekker Inc. 363-383.
- Lutz M, Castro E, García L, Henríquez C. Bioavailability of phenolic compounds from grape juice 2013. cv Autumn Royal. *J Food CyTA*. 2013. doi: 10.1080/19476337.2013.793213.
- Lyons GH, Ortiz-Monasterio I, Stanqoulis J, Graham RD. 2005a. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant Soil*, 269: 369-380.
- Lyons GH, Genc Y, Stanqoulis J, Palmer LT, Graham RD. 2005b. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. *Biological Trace Element Research*, 103 (2): 155-168.
- Manach C, Williamson G, Morand C, Scalbert A, Remesy C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *Am J Clin Nutr*. 2005;81:230S-42S.
- MGAP-INIA-CIPU-LATU-UDELAR- Mesa Nacional del trigo. 2016. Informe de la calidad e inocuidad de trigo uruguayo [en línea]. Montevideo, Uruguay. 17 p. Consultado 3 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Mesa%20de%20Trigo/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20trigo%20de%20la%20zafra%2015%2016.pdf>
- MGAP-INIA-CIPU-LATU-UDELAR- Mesa Nacional del trigo. 2014. Informe de la calidad e inocuidad de trigo uruguayo [en línea]. Montevideo, Uruguay. 20p. Consultado 3 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Mesa%20de%20Trigo/caracterizacion%20calidad%20zafra%201314.pdf>
- Mateo Nuria et al. 2010. Antioxidant and anti-inflammatory capacity of bioaccessible compound from wheat fractions after gastrointestinal digestion. *Journal of Cereal Science* 51 (2010) 110–114.
- Mateo Anson N, van den Berg R, Havenaar R, Bast A, Haenen GR. 2008. Ferulic acid from aleurone determines the antioxidant potency of wheat grain (*Triticum aestivum* L.) *J Agric Food Chem*. 2008 Jul 23; 56(14):5589-94. doi: 10.1021/jf800445k. Epub 2008 Jun 18.
- Mataix J, Ochoa J. 2002. Vitaminas, en Mataix Verdú J. (Ed.) *Nutrición y Alimentación Humana*, 137-203. Ergon, Majadahonda (Madrid).
- Mc Keown NM. 2004. Whole grain intake and insulin sensitivity: evidence from observational studies. *Nutrition Reviews*, 62: 286-291.
- Mellen P, Walsh T, Herrington D. 2007. Whole grain intakes and cardiovascular - disease: a meta-analysis. *Nutrition Metabolism Cardiovascular Disease*, 18 (4): 283-290.
- Metzler B., R. Mosenthin. 2008. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Aust. Journal of Animal Science*. 21(4):603-615.
- Meydani M. 2001. Vitamin E and Atherosclerosis: Beyond Prevention of LDL Oxidation. *The Journal of Nutrition*, Volume 131, Issue 2, 1 February 2001, pp 366S–368S.
- MGAP/DGSA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca / Dirección General de Servicios Agrícolas). 2014. Caracterización de la zafra de trigo 2012-2013 [en línea]. Consultado 5 de marzo de 2015. Disponible en: www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Mesa%20de%20Trigo/caracterizacion%20calidad%20zafra%201213.pdf
- Miller HE, Rigelhof F, Marquart L, Prakash A, Kanter M. 2000. Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *J Am Coll Nutr*. 2000 Jun; 19 (3 Suppl):312S-319S.

- Morales P. 2011. Vegetales silvestres de uso alimentario: determinación de compuestos bioactivos y valoración de la capacidad antioxidante. Tesis doctoral. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacología, Departamento de Nutrición y Bromatología. 359 p.
- Morrison WR. 1978. Wheat Lipid Composition. *Cereal Chemistry*, 55 (5): 548-558.
- Mpfou A, Sapirstein H, Beta T. 2006. Genotype and environmental variation in phenolics content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 1265-1270.
- Mullen W, Edwards CA, Crozier A. 2006. Absorption, excretion and metabolite profiling of methyl-, glucuronyl-, glucosyl- and sulpho- conjugates of quercetin in human plasma and urine after ingestion of onions. *Br J Nutr*. 2006; 96:107-16.
- Nelina A., Ruiz F. 2005. Beneficial effects of a diet rich in whole grains. Escuela de Bioanálisis, Facultad de Ciencias de la Salud y Centro de Investigaciones en Nutrición, Universidad de Carabobo, Venezuela. *Rev Chil Nutr Vol.* 32, No 3, Diciembre 2005.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2003. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Bread Wheat (*Triticum aestivum*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Toxicants. Paris: Head of Publications Service, OECD. 38 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Informe de una consulta mixta FAO/OMS. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 151 p. (Serie de Informes Técnicos 916).
- Ordaz JJ, Devaux MF, Saulnier L. 2005. Classification of wheat endoxylanase treatment of flour grain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53: 8349-8356.
- Orth RA, Shellenberger JA. 1988. Origin, production, and utilization of wheat. En: Pomeranz Y. (ed). *Wheat Chemistry and Technology*, 3.^a ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists. 1-14.
- Palafox-Carlos H, Ayala-Zavala JF, González-Aguilar GA. 2011. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *J Food Sci*. 2011;76:R6-R15.
- Palmer R, Cornuault V, Marcus SE, Knox JP, Shewry PR, Tosi P. 2015. Comparative in situ analyses of cell wall matrix polysaccharide dynamics in developing rice and wheat grain. *Planta*, 241 (3): 669-685.
- Pandey KB, Rizvi SI. 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev*. 2009; 2:270-78.
- Parada J. y J. Aguilera. 2007. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*. 72(2):21-32.
- Pellny TK, Lovegrove A, Freeman J, Tosi P, Love CG, Knox JP, Shewry PR, Mitchell RA. 2012. Cell walls of developing wheat starchy endosperm: comparison of composition and RNA-Seq transcriptome. *Plant Physiology*, 158: (2) 612-627.
- Pérez-Jiménez J., Serrano M., Tabernerero, S., Arranz, M.E. Díaz-Rubio, L. García-Diz, I., Goñi y F. Saura-Calixto. 2009. Bioavailability of phenolic antioxidants associated with dietary fiber: plasma antioxidant capacity after acute and long-term intake in humans. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*. 64(2):102-107.
- Piironen V, Lampi AM, Ekholm P, Salmenkallio M, Liukkonen KH. 2009. Micronutrients and phytochemicals in wheat grain. En: Khan K y Shewry PR (eds.). *Wheat: chemistry and technology*, 4.^a ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists. 179-222.
- Peñalvo JL, Aldercreutz H, Haajanen KM, Botting N. 2005. Quantification of lignanin in food using isotope dilution gas chromatography / mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 9342-9347.
- Porrini M., P. Riso, M. Cantile, G. Schiavo, L. Terracciano, C. Cillo, F. Rubba, A. Mattiello, P. Chiodini y E. Celentano. 2008. Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: a critical appraisal. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases (NMCD)*. 18 (10):647-706.
- Rock CL, Swendseid ME, Jacob RA, McKee RW. 1992. Plasma carotenoid levels in human subjects fed a low carotenoid diet. *J Nutr* 1992; 122: 96-100.
- Ruibal LN, Delacroix DL, Meurens M. 2002. A Comparative Analysis of Free, Bound and Total Lipid Content on Spelt and Winter Wheat Wholemeal. *Journal of Cereal Science*, 35 (3): 337-342.
- Run CS, Xiao FS, Shi HZ. 2001. Quantitative determination of hydrocinamic in wheat, rice, rye, and barley straws, maize stems, oil palm frond fiber, and fast-growing poplar wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 5122-5129.
- Russo M, Elichalt M, Vázquez D, Suburú G, Gioscia D, Gilardi V, Almandos V, Obregón P, Tihista H, Godiño M. 2011. Nutritional composition of wheat products in Uruguay. En: Conferencia Latinoamericana de Cereales: «Key for cereal chain innovation» (2, 2011, Santiago, Chile). Santiago, Chile: Granotec. 70 p.
- SACN (Scientific Advisory Committee on Nutrition). 2015. Dietary Fibre. En: *Carbohydrates and Health* [en línea]. Londres: The Stationery Office. 104-143. Consultado 1.º de julio de 2017. Disponible en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/445503/SACN_Carbohydrates_and_Health.pdf

- Sánchez-Rangel JC, Benavides J, Heredia, JB, Cisneros-Zevallos L and Jacobo-Vázquez DA, *Anal. Methods*, 2013, DOI: 10.1039/C3AY41125G.
- Sanclemente T, Márques I, Fajó M, Puzo J. 2012. Beneficios dietéticos asociados a la ingesta habitual de dosis moderada de fitoesteroles presentes de forma natural en los alimentos. *Clinica e Investigación en Ateroesclerosis*, 24 (1): 21-29.
- Saura-Calixto F. 2010. Dietary Fiber as a Carrier of Dietary Antioxidants: An Essential Physiological Function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1):43-49.
- Satya SJ, Harnack L, Liu RH, McKeown N, Seal C, Liu S, Fahey GC. 2011. 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: 1011S-1022S.
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr*, 2000;130:2073S-85S.
- Serrano, Puupponen-Pimiä, Dauer, Aura, et al. 2009. Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition & Food Research* 2009,53, 310–329.
- Shewry PR, Hey S. 2015a. Improving Wheat Grain Quality for Health and Processing (Strategic Objectives 1 and 4 (also 9). Report funded by Wheat CRP Competitive Partner Grants 241p.
- Shewry PR, Hey S. 2015b. The contribution of wheat to human diet and health security [en línea]. *Food and Energy Security*, 4 (3): 178-202. Consultado 20 de octubre de 2016. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fes3.64/pdf>. Last seen: 10/1/18.
- Shewry PR, Charmet G, Branlard G, Lafandra D, Gergely S, Sago A, Sauliner L, Bedó Z, Clare EN, Ward J. 2012. Developing new types of wheat with enhanced health benefits. *Trends in Food Science and Technology*, 25 (2): 70-77.
- Shewry PR, Piironen V, Lampi AM, Edelman M, Kariluoto S, Nurmi T, Orozco R, Ravle C, Charmet G, Adersson AM, Aman P, Boros D, Gerbiers K, Dornmeiz E, Courtin C, Delcour J, Rakszegi M, Bedo Z, Ward J. 2010. The HEALTHGRAIN Wheat Diversity Screen: Effects of genotype and Environment on Phytochemical and Dietary Fiber Components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 9291-9298.
- Shewry PR. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60 (6): 1537-1553.
- Shim S.M., M.G. Ferruzzi, Y.C. Kim, E.M. Janle y C.R. Santerre. 2009. Impact of phytochemical-rich foods on bioaccessibility of mercury from fish. *Food Chemistry*, 112(1):46-50.
- Slavin J. 2004. Whole grains and human health. *Nutr Res Rev.*;17(1):99-110. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19079919>. Last seen: 10/1/18.
- Smith AT, Kuznesof S, Richardson DP, Seal CJ. 2003. Behavioural, attitudinal and dietary responses to the consumption of wholegrain foods. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62 (2): 455-467.
- Stevenson DE, Hurst RD. 2007. Polyphenolic phytochemicals – just antioxidants or much more? 2007. *Cell Mol Life Sci.*; 64: 2900-16.
- Stone B, Morell MK. 2009. Carbohydrates. En: Khan K y Shewry PR (eds.). *Wheat Chemistry and Technology*, 4.ª ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists. 299-362.
- Stone WL, Papas A. 2003. Tocopherols, tocotrienols and vitamin E. En: Gunstone FD (ed.). *Lipids for Functional Food and Nutraceuticals*. Bridgewater: The Oil Press. 53-72.
- Tagliazucchi D., Verzelloni, D. Bertolini y A. Conte. 2010. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2):599-606.
- Tang G, Wang D, Long J, Yang F, Si L. 2015. Meta-Analysis of the association between whole-grain intake and coronary heart disease risk. *American Journal of Cardiology*, 115 (5): 625-629.
- Theuwissen E, Mensink RP. 2008. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & Behavior*, 94: 285-292.
- Topping D. 2007. Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *Journal of Cereal Science*, 46: 220-229
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015. 2015-2020 Dietary Guidelines for Americans, 8.ª ed. [en línea]. Consultado 8 de julio de 2017. Disponible en: <http://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines>.
- Vázquez D. 2009. Aptitud industrial del trigo. Montevideo: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 37 p. (Serie técnica n.º 177).
- Van de Vijver LP, Van den Bosch LM, Van den Brandt PA, Goldbohm RA. 2009. Whole-grain consumption, dietary fibre intake and body mass index in the Netherlands cohort study. *Euro-pean Journal of Clinical Nutrition*, 63 (1): 31-38.
- Van Vliet T, Schreurs WH, van den Berg H. 1995. Intestinal beta-carotene absorption and cleavage in men: response of beta-carotene and retinyl esters in the triglyceride-rich lipoprotein fraction after a single oral dose of beta-carotene. 1995 *Am J Clin Nutr.*; 62(1):110-6.
- Verma B, Hucl P, Chibber R. 2008. Phenolic Content and Antioxidant properties of bran in 51-wheat cultivar. *Cereal Chemistry*, 85: 544-549.

- Verzelloni E, Pellacani C, Tagliazucchi D, Tagliaferri S, Calani L, Costa LG, et al. 2011. Antiglycative and neuroprotective activity of colon derived polyphenol catabolites. *Mol Nutr Food Res.*,55:S35-43.
- Vogel KP, Johnson VA, Mattern PJ. 1978. Protein and lysine contents of endosperm and bran of the parents and progenies of crosses of common wheat. *Crop Science*, 18: 751-754.
- Walter J, Martínez I, Rose DJ. 2013. *Gut Microbes*, 4: 340-346.
- Ward JL, Poutanen K, Gebruers K, Piironen V, Lampi AM, Nystrom L, Andersson AM, Aman P, Boreos D, Rakszegi M, Bedo Z, Shewry PR. 2008. The HEALTHGRAIN cereal diversity screen. Concept, results and prospects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 9699-9709.
- Whole Grains Council. Definition of whole grains. Available from: <http://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/definition-of-whole-grains>. Last seen: 10/1/18
- Wende L, Fang S, Shancheng S, Corke H, Beta T. 2005. Free radical scavenging properties and phenolic content of Chinese black-grained wheat. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53: 8533-8536.
- Zhou K, Lau J. L, Yu L. 2004. Comparison of Swiss Red Wheat Grain and Fractions for Their Antioxidant Properties. Department of Nutrition and Food Science, University of Maryland, College Park, Maryland 20742, and New Business Development, Bühler AG, CH-9240 Uzwil, Switzerland. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, 52 (5), pp 1118–1123. DOI: 10.1021/jf030640w.
- Ziegler JU, Schweiggert RM, and Carle R. A method for the simultaneous extraction and quantitation of lipophilic antioxidants in *Triticum sp.* by HPLC-DAD/FLD-MS n. *Journal of Food Composition and Analysis* 2015.
- Zúñiga J. 2007. Trigo Blanco. Valor natural y potencial. Inia Tierra adentro. Especial Cereales. Mayo-junio 2007 Available from www2.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR34251.pdf. Last seen: 9/1/18
- Zielinski H, Kozłowska H. 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *Journal of Agriculture*, 48 (6): 2008-2016.

INIA Dirección Nacional
Avenida Italia 6201,
Ed. Los Guayabos,
Parque Tecnológico LATU.
Montevideo
Tel.: 2605 6021
inia@inia.org.uy

INIA La Estanzuela
Ruta 50, Km 11
Colonia
Tel.: 598 4574 8000
Fax: 598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas
Ruta 48, Km 10
Canelones
Tel.: 598 2367 7641
Fax: 598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande
Camino al Terrible
Salto
Tel.: 598 4733 5156
Fax: 598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó
Ruta 5, Km 386
Tacuarembó
Tel.: 598 4632 2407
Fax: 598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres
Ruta 8, Km 281
Treinta y Tres
Tel.: 598 4452 2023
Fax: 598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy

www.inia.uy