



*Efecto de aditivos sobre el  
comportamiento tecnológico en  
trigos de diferentes calidades*

*Ing. Agr. Anabella Elisabet Gallardo*

*DIRECTOR: Mg. Carlos Alberto Osella*

Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad  
Nacional del Litoral, para la obtención del Grado Académico de:  
*Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*

*Jurados:*

*Dr. Norberto Gariglio*

*Dr. Sergio L. Lassaga*

*Dra. Roxana A. Verdini*



---

*“Efecto de aditivos sobre el  
comportamiento tecnológico en  
trigos de diferentes calidades”*

---

---

*“...La paciencia todo lo alcanza.  
Quien a Dios tiene nada le falta,  
sólo Dios basta...”*

*Santa Teresita del Niño Jesús*

---

*Dedicada a mi querida familia.*

*En memoria de mi mamá Coty*

*Mathieu de Gallardo.*



## Agradecimientos

A Dios y a la Virgen del Huerto por guiar mi vida y darme las fuerzas necesarias para afrontar los desafíos de cada día.

A mis queridos papás Héctor y Coty, ella desde el cielo, por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para que pueda llegar a esta instancia. Por darme la oportunidad de elegir mi profesión, educarme y acompañarme en cada una de mis elecciones.

A mis hermanas Lorena y Maricel, por su apoyo incondicional y a mis hermanos del corazón Gabriel y Rodolfo por estar siempre conmigo.

A mis sobrinos Bianca, Joaquina, Tobías, Brunella, Benicio, Ernestina, Martiniano, Federico y Felipe, por su amor puro.

A mi abuelito y padrino Pepe por animarme siempre, y a mi madrina y madre del corazón Estela.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por haberme otorgado la beca que me permitió realizar este trabajo.

A mis directores, Ing. Hugo D. Sánchez y Mg. Carlos A. Osella, por haber confiado en mí. Gracias por haberme dirigido y ayudado en el desarrollo de esta tesis.

Al Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA), en especial al Laboratorio de Panificación por haberme brindado el lugar de trabajo para el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros del Laboratorio de Panificación Marisa, Melina, Carlitos y Hugo, por su ayuda y momentos compartidos.





A mis compañeros del ITA.

A Francisco Ocampo por su colaboración y apoyo, como profesional y persona.

Al Dr. Abel Farroni. También al Ing.Agr. J. Motta por el aporte de muestras.

A *Erasmus mundus* por la beca otorgada que me permitió realizar la estadía en Portugal y de la misma manera a Olivia Pinho, Inés Barbosa, Melina Erben y demás compañeros de Laboratorio en la Universidad de Porto – Portugal.

A mi hermanita Maricel, con quien la vida me ha regalado largas horas de estudio compartidas, sacrificio y consejos. Gracias por ser siempre mi compañera y amiga incondicional, dándome el aliento para seguir adelante. También como profesional, Dra. M. Gallardo, por su colaboración.

A mis amigas de siempre: Maruix, Gi, Mar, Berni, Ana, Geor, Ago y Viky, por animarme y acompañarme en esta etapa.

A la educación Pública y Gratuita, en particular a la Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química y al Instituto de Tecnología de Alimentos por la calidad de la enseñanza recibida y la posibilidad de continuar mi formación.

Y a todos los que me acompañaron de una u otra manera en esta etapa,  
infinitas gracias!!!



# RESUMEN





## RESUMEN

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) es la especie de trigo más cultivada en el mundo. Evolucionó como una especie hexaploide (hace aproximadamente 2000 años) después del cruce natural de *Triticum turgidum* y *Aegilops taushii*. Es un poliploide estable.

Es una gramínea, cultivada especialmente en las altas latitudes de ambos hemisferios, siendo la Unión Europea y China los mayores productores mundiales. Es de gran importancia por su destino para la elaboración de pan y otros productos.

El objetivo de este trabajo fue el estudio de aditivos para el mejoramiento del comportamiento tecnológico de las harinas obtenidas de variedades de trigos comerciales.

En una primera etapa, se realizó un estudio de las harinas existentes en el mercado minorista. Se hicieron análisis físicos y químicos, así como ensayos de panificación.

En una segunda etapa, se seleccionaron ocho variedades de trigo utilizadas por los productores para siembra y/o que son parte de la Red de Ensayos de Trigo (RET) – INASE.

A los granos se les determinaron: peso de 1000, humedad, peso hectolítrico e índice de Pelshenke. Luego se procedió a la molienda de cada variedad de trigo, utilizando el diagrama de molienda (ITA-FIQ-UNL) para escala piloto. Una vez obtenidas las harinas se les realizaron análisis físico-químico, como también se estudió su comportamiento reológico mediante ensayos farinográficos y alveográficos.

Posteriormente, se seleccionaron tres aditivos y dos dosis para cada uno de ellos: xilanasa ( $60 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $160 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ácido ascórbico ( $75 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y azodicarbonamida ( $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $80 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). A continuación, se realizaron los ensayos de panificación utilizando la metodología propuesta por Sánchez *et al.* (1983). Se elaboraron panes utilizando las dosis establecidas para cada aditivo y los panes testigos correspondientes para cada harina. Se determinaron volumen específico y análisis sensorial para establecer los efectos de los aditivos sobre los panes.





En la tercera y última etapa, se utilizó una premezcla comercial (de origen portugués) para la realización de panes en máquinas hogareñas. Se probó en este caso, la adición de  $\beta$ -glucanos obtenidos de residuos de la industria cervecera, los cuales fueron cuantificados. Se utilizaron dos tipos de máquinas de pan: con una y con dos paletas de mezclado. Los panes se realizaron en iguales condiciones de amasado y cocción en ambas máquinas. Luego se determinaron volumen específico, color, textura y análisis sensorial para determinar el efecto de la adición de los  $\beta$ -glucanos.

Como resultado de la primera etapa, se estableció que la mayoría de las marcas comerciales seleccionadas para este estudio, no respetan los estándares de calidad del CAA para la calificación de tipos de harinas.

En la segunda etapa, se concluyó que la mayoría de las variedades estudiadas no presentaron un comportamiento conforme a la caracterización industrial de cada variedad de trigo, por lo que indicaría la existencia del efecto del ambiente y de la interacción genotipo-ambiente sobre la expresión de las características de los granos y las masas. También, el uso de los aditivos probados produjo un efecto mejorador tanto en el volumen específico como en la *performance* tecnológica, particularmente en las harinas con menores cualidades iniciales para elaborar pan; pero se debe tener presente que no siempre el aumento de la concentración de aditivos agregada produce una mejora importante.

En la tercera etapa y última etapa, se determinó que los  $\beta$ -glucanos obtenidos a partir de la levadura, pueden ser utilizados en el pan para aumentar la ingesta de cromo y vitaminas del grupo B, sin comprometer características sensoriales del pan elaborado.

Finalmente, se concluye que la incorporación de aditivos sería conveniente en dosis adecuadas para mejorar la *performance* tecnológica de las harinas, como también realizar aportes nutricionales, dependiendo del aditivo.





**La presente tesis dio lugar a las siguientes presentaciones a reuniones científicas, publicaciones y notas de difusión:**

✓ **Resúmenes presentados en reuniones científicas**

Gallardo, A.E; Osella, C.A., Sánchez, H.D. “*Utilización de Análisis de Componentes Principales (PCA) para evaluar la relación entre propiedades de harina de trigo*”. Modalidad: Póster. Publicado en “Libro Actas -V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba, 2014” (ISSN/ISBN: 978-987-45738-5-8). V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Noviembre de 2014. Córdoba, Argentina.

Gallardo, A.E; Farroni, A., Gallardo, M., Osella, C.A., Sánchez, H.D. “*Evaluación tecnológica y bioquímica de variedades de trigo para producción de pan francés*”. Modalidad: Póster. Publicado en “Libro Actas -V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba, 2014” (ISSN/ISBN: 978-987-45738-5-8). V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC). Noviembre de 2014. Córdoba, Argentina.

Gallardo, A.E. “*Efecto de Xilanasa sobre performance tecnológica de harinas obtenidas de variedades de trigos comerciales*”. Modalidad: Oral. XVIII Encuentro de Jóvenes Investigadores UNL. Universidad Nacional del Litoral. Septiembre de 2014. Santa Fe, Argentina.

Gallardo, A.E.; Barbosa, I; Erben, M.; Ferreira, Isabel M.P.L.V.O. and O. Pinho. “*Efecto de  $\beta$ -glucanos sobre la textura y el color del pan hecho en casa*”. IVX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL). Organizado por la Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios. Modalidad: Poster. 23 y 25 de Octubre de 2013, Rosario, Santa Fe, Argentina.



---



Barbosa, I.; Gallardo, A.E.; Erben, M.; Ferreira, Isabel M.P.L.V.O. and O. Pinho. *“Influence of  $\beta$ -glucans addition on texture and color of homemade bread”*. Publicado en “Book of Abstracts IJUP’13 - 6th Meeting of Young Researchers of University of Porto”, pp.108 (ISSN/ISBN: 978-989-746-006-7). IJUP ’13 - 6th Meeting of Young Researchers of University of Porto. 13 -15 de Febrero de 2013. Porto- Portugal.

Erben, M.; Gallardo, A.E. y de la Torre, M.A.G. *“Calidad de harinas de trigo comercializadas en supermercados”*. Modalidad: Póster. Publicado en libro: “IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba/Argentina 2012: Actas” (ISSN/ISBN: 978-987-28845-0-5). Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba. Octubre 2012. Córdoba, Argentina.

Gallardo, A.E., Erben, M. *“Relevamiento de calidad de harinas de trigo comerciales: Aspectos Químicos”*. Modalidad: Póster. XV Encuentro de Jóvenes Investigadores de la UNL, VI Encuentro de Jóvenes Investigadores de Universidades de Santa Fe. Modalidad: póster. 12 y 13 de Octubre de 2011, Santa Fe, Argentina.

✓ **Publicaciones en revistas científicas**

Gallardo, A.E.; Sánchez, H.D.; Osella, C.A. *“Relationship between wheat flour properties and french bread characteristics using principal component analysis”*. Accounts of Biotechnology Research 2 (2): 037:044. Trade Science Inc. Abril 2015.

*“Effect of spent yeast fortification on physical parameters, volatiles and sensorial characteristics of home-made bread”*. Martins, Z.E.; Erben, M., Gallardo, A.E.; Silva, R., Barbosa, I., Pinho, O., Ferreira, I.M. P. L. V. O. International Journal of Food Science and Technology (ISSN 0950-5423). Wiley-Blackwell Publishing, Inc. Abril 2015.





✓ **Extensión y difusión**

Gallardo, A. y Erben, M. “Las harinas sacan “cero” en confianza” – Nota periodística en Panaderos Argentinos”. Año 7- N°37- pp.18. Febrero 2012.

Gallardo, A. y Erben, M. “Las harinas sacan “cero” en confianza”. Nota periodística en Diario El Litoral. pp.15. 29 de Diciembre de 2011.



# INDICE DE CONTENIDOS





## Índice de Contenidos

Resumen.....	iii
Índice de Contenidos.....	viii
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Figuras.....	xvii
Abreviaturas y Símbolos.....	xxiv
<b>Capítulo I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
I.1. CEREALES Y SU PRODUCCIÓN.....	1
I.2. TRIGO.....	4
I.2.1. Origen y descripción.....	4
I.2.2. Grano de trigo.....	9
I.2.2.1. Descripción de la estructura y composición del grano.....	9
I.2.3. Trigo en el mundo.....	15
I.2.4. El trigo en Argentina.....	18
I.2.4.1. Áreas de cultivo.....	19
I.2.4.2. Genotipos, calidad y comercialización de trigo.....	20
I.2.4.3. Producción nacional y su destino.....	21
I.3. MOLIENDA DE TRIGO.....	25
I.4. HARINAS.....	27
I.4.1. Componentes.....	28
I.4.2. Gliadinas y gluteninas.....	29



---



I.4.2.1. Gliadinas.....	32
I.4.2.2. Gluteninas.....	33
I.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE HARINAS.....	41
I.6. ADITIVOS.....	43
I.6.1. Oxidantes.....	46
I.6.1.1. Ácido Ascórbico.....	46
I.6.1.2. Azodicarbonamida.....	47
I.6.2. Enzimas.....	47
I.6.2.1. Xilanasas.....	49
I.6.3. Naturales.....	52
I.6.3.1. $\beta$ -glucanos.....	52
I.7. PANIFICACIÓN.....	54
I.7.1. Proceso de panificación con harina de trigo.....	55
I.7.1.1. Formación de masa.....	55
I.7.1.2. Fermentación de la masa.....	56
I.7.1.3. Cocción de la masa.....	58
I.7.2. Calidad de pan.....	59
<b>Capítulo II. OBJETIVOS.....</b>	<b>60</b>
II.1. Objetivos generales.....	60
II.2. Objetivos específicos.....	60

---





---

III.7.1.2. Pan tipo Molde.....	85
III.7.1.3. Pan a partir de premezcla.....	85
III.7.2. Evaluación de calidad del pan.....	87
III.7.2.1. Panes tipo Francés y tipo Molde.....	87
III.7.2.2. Pan a partir de premezcla.....	88
III .8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	95
<b>Capítulo IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>96</b>
<i>IV.1. SECCIÓN I: Estudio fisicoquímico, reológico y tecnológico de las harinas existentes en el mercado minorista.....</i>	<i>96</i>
<i>IV.2. SECCIÓN II: Estudio fisicoquímico, reológico y tecnológico de las harinas obtenidas de trigos de variedades comerciales.....</i>	<i>101</i>
IV.2.1. Análisis de proteínas formadoras de gluten de las harinas obtenidas:	
Gliadinas y Gluteninas.....	104
IV.2.1.1. Gliadinas.....	104
IV.2.1.2. Gluteninas.....	108
IV.2.2. Análisis de la <i>performance</i> tecnológica de los panes tipo Francés y tipo Molde.....	110
IV.2.3. Relación entre las propiedades de las harinas de trigo y las características del pan francés utilizando PCA (Análisis de Componentes Principales).....	118

---



<i>IV.3. SECCIÓN III: Estudio de la influencia de aditivos en el pan.....</i>	<i>122</i>
IV.3.1. Respuesta de las harinas varietales a la aplicación de aditivos en panificación.....	122
<b>Capítulo V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>141</b>
<b>Capítulo VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>145</b>
<b>Capítulo VII. ANEXOS .....</b>	<b>182</b>



# INDICE DE TABLAS





## Índice de Tablas

<b>TABLA I.1.</b>	Composición química del grano de trigo.....	10
<b>TABLA I.2.</b>	Composición de las principales partes morfológicas del grano de trigo.....	11
<b>TABLA I.3.</b>	Composición mineral del trigo.....	12
<b>TABLA I.4.</b>	Vitaminas en el grano de trigo.....	15
<b>TABLA I.5.</b>	Área sembrada, rendimiento y producción de trigo en la campañas 2013/14 y 2014/15.....	22
<b>TABLA I.6.</b>	Evolución del consumo de harina de trigo en Argentina (2002-2010).....	24
<b>TABLA I.7.</b>	Especificación para harinas.....	27
<b>TABLA I.8.</b>	Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.....	28
<b>TABLA I.9 (a).</b>	Clasificación de las proteínas de la harina de trigo según su funcionalidad.....	29
<b>TABLA I.9 (b).</b>	Clasificación de las proteínas del gluten en función de sus pesos moleculares.....	29
<b>TABLA I.10.</b>	Composición mineral de la harina de trigo.....	34
<b>TABLA I.11.</b>	Características de la amilosa y la amilopectina.....	38
<b>TABLA I.12.</b>	Azúcares presentes en endospermo y capa de aleurona en especies de trigo y cebada.....	41
<b>TABLA I.13.</b>	Enzimas sugeridas para mejorar harinas y productos panificados.....	48
<b>TABLA III.14.</b>	Características de variedades de trigos comerciales.....	61



---



<b>TABLA III.15.</b>	Tipificación de harinas considerando su contenido de humedad.....	66
<b>TABLA III.16.</b>	Tipificación de harinas considerando su contenido de cenizas.....	67
<b>TABLA III.17.</b>	Puntajes correspondientes a las diferentes características tenidas en cuenta por el panel de expertos.....	87
<b>TABLA III.18.</b>	Calificaciones de los panes.....	88
<b>TABLA III.19.</b>	Preparación de muestras de pan de referencia para entrenamiento de panelistas sobre atributos y sus escalas....	94
<b>TABLA IV.20.</b>	Composición química de harinas comerciales.....	96
<b>TABLA IV.21.</b>	Ensayo farinográfico y alveográfico de harinas comerciales...	98
<b>TABLA IV.22.</b>	Evaluación sensorial y volumen específico del pan elaborado con harinas comerciales.....	99
<b>TABLA IV.23.</b>	Valores de relación P/L y volumen específico del pan elaborado con harinas comerciales.....	100
<b>TABLA IV.24 (a).</b>	Parámetros de calidad del grano.....	101
<b>TABLA IV.24 (b).</b>	Características fisicoquímica de harinas de trigos varietales comerciales.....	103
<b>TABLA IV.25.</b>	Composición de HMW-GS, volumen de SDS y volumen específico de pan tipo Francés y pan tipo Molde.....	109
<b>TABLA IV.26.</b>	Resultado del análisis de variancia (ANOVA) para los panes tipo Francés y Molde obtenidos de los trigos de variedades comerciales.....	112

---



---

<b>TABLA IV.27.</b>	Medias y rangos de contenido de gluten húmedo, las propiedades físicas y tecnológicas de las harinas.....	118
<b>TABLA IV.28.</b>	ANOVA de volumen específico y puntaje total de pan Francés con agregado de xilanasas .....	122
<b>TABLA IV.29.</b>	ANOVA de volumen específico y puntaje total de pan Francés con agregado de ácido ascórbico .....	128
<b>TABLA IV.30.</b>	ANOVA de ensayos de pan Francés con agregado de azodicarbonamida .....	131
<b>TABLA IV.31.</b>	Valores de media y desvío estándar (DE) de los parámetros de textura y color en miga y corteza, en panes testigos y aditivados.....	138
<b>TABLA VII.32.</b>	Valores promedio de contenido de gluten húmedo, parámetros farinográficos y farinogramas de harinas varietales.....	183
<b>TABLA VII.33.</b>	Valores promedios y desvíos estándar de los valores de parámetros alveográficos y alveogramas de harinas varietales.....	184
<b>TABLA VII.34.</b>	Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés y pan de Molde elaborado a partir de harinas varietales.....	185
<b>TABLA VII.35.</b>	Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborado a partir de harinas varietales con agregado de xilanasas,.....	186
<b>TABLA VII.36.</b>	Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborados a partir de harinas varietales con agregado de AA.....	187

---

---



<b>TABLA VII.37.</b>	Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborado a partir de harinas varietales con agregado de ADA.....	188
<b>TABLA VII.38.</b>	ANOVA Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de XI (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 60 mg.kg <sup>-1</sup> y 160 mg.kg <sup>-1</sup> ).....	189
<b>TABLA VII.39.</b>	ANOVA Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de XI (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 60 mg.kg <sup>-1</sup> y 160 mg.kg <sup>-1</sup> ).....	190
<b>TABLA VII.40.</b>	ANOVA Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de AA (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 75 mg.kg <sup>-1</sup> y 150 mg.kg <sup>-1</sup> ).....	191
<b>TABLA VII.41.</b>	ANOVA Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de AA (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 75 mg.kg <sup>-1</sup> y 150 mg.kg <sup>-1</sup> ).....	192
<b>TABLA VII.42.</b>	ANOVA Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de ADA (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 40 mg.kg <sup>-1</sup> y 80 mg.kg <sup>-1</sup> ).....	193
<b>TABLA VII.43.</b>	ANOVA Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de ADA (0 mg.kg <sup>-1</sup> , 40 mg.kg <sup>-1</sup> y 80 mg.kg <sup>-1</sup> ) .....	194



# INDICE DE FIGURAS





## Índice de Figuras

<b>FIGURA I.1.</b>	Granos de cereales: mijo, centeno, cebada, alpiste, sorgo granífero, avena y trigo.....	1
<b>FIGURA I.2.</b>	Producción, utilización y existencia de cereales en el mundo.....	2
<b>FIGURA I.3.</b>	Rendimiento de cereales en el mundo entre los años 2005 y 2014 (kg.ha <sup>-1</sup> ).....	3
<b>FIGURA I.4.</b>	Producción mundial de cereales según especies en miles de toneladas.....	3
<b>FIGURA I.5.</b>	Piedras que eran utilizadas como morteros para moler el trigo.....	4
<b>FIGURA I.6.</b>	Distribución mundial del trigo y taxonomía.....	5
<b>FIGURA I.7.</b>	Morfología de la planta de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ).....	6
<b>FIGURA I.8.</b>	Morfología de la hoja de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ).....	6
<b>FIGURA I.9.</b>	Inflorescencia de la planta de trigo.....	7
<b>FIGURA I.10.</b>	Etapas fenológicas del cultivo de trigo y determinación del rendimiento.....	8
<b>FIGURA I.11.</b>	Estructura del grano de trigo.....	9
<b>FIGURA I.12.</b>	Estructura química del almidón.....	13



---

<b>FIGURA I.13.</b>	Formación de la miga del pan durante el tiempo de cocción.....	14
<b>FIGURA I.14.</b>	Tierras cultivadas y principales cultivos y alimentos.....	16
<b>FIGURA I.15.</b>	Principales productores mundiales de trigo (Campañas 2009/2010 a 2012/2013).....	17
<b>FIGURA I.16.</b>	Área cosechada de principales cultivos en Sudamérica durante el período 1990-2009.....	18
<b>FIGURA I.17.</b>	Mapa de regiones trigueras en Argentina.....	19
<b>FIGURA I.18.</b>	Superficie argentina sembrada con trigo durante los últimos 100 años.....	22
<b>FIGURA I.19.</b>	Tipos de trigo en función de los productos finales. Clasificación de trigos por producto final.....	23
<b>FIGURA I.20.</b>	Destino de la producción nacional de harina de trigo.....	25
<b>FIGURA I.21.</b>	Participación por provincia en la molienda de trigo pan (Período 2008-2013).....	26
<b>FIGURA I.22.</b>	Composición del gluten de trigo.....	30
<b>FIGURA I.23.</b>	Formación del gluten.....	30
<b>FIGURA I.24.</b>	Localización cromosómica de los loci de gluteninas y gliadinas en trigo hexaploide.....	31
<b>FIGURA I.25.</b>	Estructura de Gliadinas.....	32

---

---



<b>FIGURA I.26.</b>	Gluteninas: relacionadas con la fuerza y elasticidad de la masa.....	33
<b>FIGURA I.27.</b>	Estructura química del almidón.....	35
<b>FIGURA I.28.</b>	Estructura del gránulo de almidón y organización molecular de los componentes del gránulo de almidón.....	36
<b>FIGURA I.29.</b>	Difractograma de: almidones de diferentes fuentes botánicas de cereales (A), tubérculos (B), raíces y semillas (C). Patrón característico que se da en un complejo inclusión o clatrato formado en el interior de la hélice de la amilosa (V).....	37
<b>FIGURA I.30.</b>	Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua .....	39
<b>FIGURA I.31.</b>	Reacción del ácido ascórbico durante el amasado.....	46
<b>FIGURA I.32.</b>	Estructura química de ADA (Azodicarbonamida) .....	47
<b>FIGURA I.33.</b>	Estructura tridimensional de la xilanasa A de <i>Bacillus circulans</i> ....	49
<b>FIGURA I.34.</b>	Estructura tridimensional de xilano.....	50
<b>FIGURA I.35.</b>	Representación de la acción de la enzima xilanasa sobre los enlaces del xilano de la hemicelulosa .....	51
<b>FIGURA I.36.</b>	Mecanismos de acción de las endoxilanasas durante la panificación.....	51
<b>FIGURA I.37.</b>	Estructura tridimensional de $\beta$ -glucanos.....	53

---



---

<b>FIGURA I.38.</b>	Etapas de la elaboración de los panes tipo Francés y de Molde.....	55
<b>FIGURA I.39.</b>	Proceso de fermentación de la masa elaborada en base de harina de trigo .....	57
<b>FIGURA III.40.</b>	Higrómetro DELVER Modelo HD 1000D .....	62
<b>FIGURA III.41.</b>	Muestras de trigo en proceso de microfermentación.....	63
<b>FIGURA III.42.</b>	Molino experimental Buhler Miag tipo MLGV Variosthul.....	64
<b>FIGURA III.43.</b>	Diagrama de molienda de molino experimental II: R1, R2, R3, R4, R5 y R6 cilindros ranurados (6,4 por cm) con velocidades de 420 y 168 rpm.....	65
<b>FIGURA III.44.</b>	Plansifter Buhler Rotostar Tipo MPAR –H.....	65
<b>FIGURA III.45</b>	Probeta con muestra de harina, agua y azul de bromofenol.....	71
<b>FIGURA III.46.</b>	Tubos con muestras en proceso de drenaje.....	72
<b>FIGURA III.47.</b>	Proceso de medición del <i>Falling Number</i> .....	73
<b>FIGURA III.48.</b>	Tubo viscosimétrico en el equipo de medición de <i>Falling Number</i>	73
<b>FIGURA III.49.</b>	Desnaturalización de las gluteninas.....	76
<b>FIGURA III.50.</b>	Geles y electroforesis.....	76
<b>FIGURA III.51.</b>	Farinógrafo Brabender.....	78
<b>FIGURA III.52.</b>	Farinograma típico de harina.....	79

---

---

<b>FIGURA III.53.</b>	Burbuja de masa en el alveógrafo.....	80
<b>FIGURA III.54.</b>	Curva alveográfica tipo con parámetros más usados: P (tenacidad); L (extensibilidad); W (fuerza alveográfica) .....	80
<b>FIGURA III.55.</b>	Alveogramas típicos de harinas de trigo con diferentes características .....	81
<b>FIGURA III.56.</b>	Preparación de levadura seca obtenida ( $\beta$ -glucanos) .....	83
<b>FIGURA III.57.</b>	Envase de premezcla comercial y máquinas hogareñas para la fabricación de pan utilizadas en la presente Tesis.....	86
<b>FIGURA III.58.</b>	Medición del volumen del pan mediante el desplazamiento de semillas.....	89
<b>FIGURA III.59.</b>	Analizador de textura.....	89
<b>FIGURA III.60.</b>	Curva de análisis de perfil de textura (TPA) típica, con dos ciclos de compresión. ....	91
<b>FIGURA III.61.</b>	Captura de pantalla de gráfica de medición de textura.....	92
<b>FIGURA III.62.</b>	Colorímetro Minolta CR-300 .....	92
<b>FIGURA III.63.</b>	Sistema de medición de color CIELab .....	93
<b>FIGURA IV.64.</b>	Relación entre proteínas totales y gluten húmedo.....	98
<b>FIGURA IV.65.</b>	Relación entre volumen específico y W.....	100

---

---

<b>FIGURA IV.66.</b>	Cromatogramas de las variedades de harinas de trigos en estudio...	105
<b>FIGURA IV.67.</b>	Pico 1, 2 y N de gliadinas.....	106
<b>FIGURA IV.68.</b>	Áreas de los picos 1 + 2 y N en función del volumen específico para el tipo de pan Francés.....	107
<b>FIGURA IV.69</b>	Correlaciones entre las áreas de los picos 1 + 2 y N en función del volumen específico para el tipo de pan de Molde.....	108
<b>FIGURA IV.70.</b>	Box-plot correspondiente a volúmenes específicos de pan tipo Francés y pan de Molde.....	111
<b>FIGURA IV.71.</b>	Curva de llenado de grano de trigo y la acumulación de proteínas...	115
<b>FIGURA IV.72.</b>	PCA para gluten húmedo, propiedades físicas de la masa y calidad de pan.....	120
<b>FIGURA IV.73.</b>	Volumen específico de pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con xilanasa.....	125
<b>FIGURA IV.74.</b>	Puntaje total de pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con xilanasa .....	127
<b>FIGURA IV.75.</b>	Volumen específico del pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con azodicarbonamida.....	133
<b>FIGURA IV.76.</b>	Puntaje Total otorgado al pan francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con azodicarbonamida .....	134

---

---



<b>FIGURA IV.77.</b>	Diagrama de araña con representación de las características sensoriales evaluadas.....	139
<b>FIGURA VII.78.</b>	Relación entre el rendimiento en grano y contenido de proteínas según disponibilidad de N edáfico.....	182





## Abreviaturas y Símbolos

**AWRC:** *Alkaline Water Retention Capacity* (Retención de agua alcalina)

**bh:** base húmeda

**bs:** base seca

**CAA:** Código Alimentario Argentino

**CH:** carbohidratos

**CONASE:** Comisión Nacional de Semillas

**DE:** desvío estándar

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**GH:** gluten húmedo

**Gli:** Gliadinas

**Gli / Glu:** relación Gliadinas / Gluteninas

**Glu:** Gluteninas

**GP:** Grupo de calidad panadera

**INASE:** Instituto Nacional de Semillas

**L:** extensibilidad

**N:** Nitrógeno

**P/L:** relación entre tenacidad y extensibilidad

**P:** tenacidad

**PH:** peso hectolítrico

**SAGPYA:** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación

**TPA:** *Texture Profile Analysis* (Análisis de Perfil de Textura)

**UB:** unidades Brabender





**UF:** unidades farinográficas

**USDA:** *U.S. Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura de Estados Unidos)

**W:** fuerza panadera

**WE-AX:** arabinosilanos solubles en agua

**WU-AX:** arabinosilanos insolubles en agua



# INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I





# Capítulo I. INTRODUCCIÓN

## I.1. CEREALES Y SU PRODUCCIÓN

Los cereales (proveniente del latín *Ceres*, que significa diosa de la agricultura) son gramíneas cuyos frutos son consideradas base de la alimentación. Los granos enteros tienen una capa externa que es dura y fibrosa llamada salvado, que protege el interior. El interior está principalmente compuesto por el endospermo amiláceo que se encuentra recubierto por una capa rica en proteínas. La función del endospermo es proporcionar energía almacenada para el germen. El germen es el núcleo reproductivo de la semilla y está ubicado en uno de sus extremos, el cual es sumamente rico en vitaminas (vitaminas del grupo B y E son las principales), minerales y aceites dependiendo de la especie.

Los cereales incluyen a trigo, arroz, maíz, cebada, avena, centeno, mijo, sorgo, entre otros (**FIGURA I.1**). Constituyen, desde hace millones de años, la fuente principal de alimentos para el ser humano, por eso su gran importancia a nivel mundial. La finalidad de su industrialización, es obtener alimentos básicos para la dieta humana como son el pan, las pastas y otros no tan básicos, pero no por eso menos importantes, como la bollería, pastelería, entre otros. El trigo y el arroz constituyen la alimentación básica de aproximadamente el 80% de la población mundial.

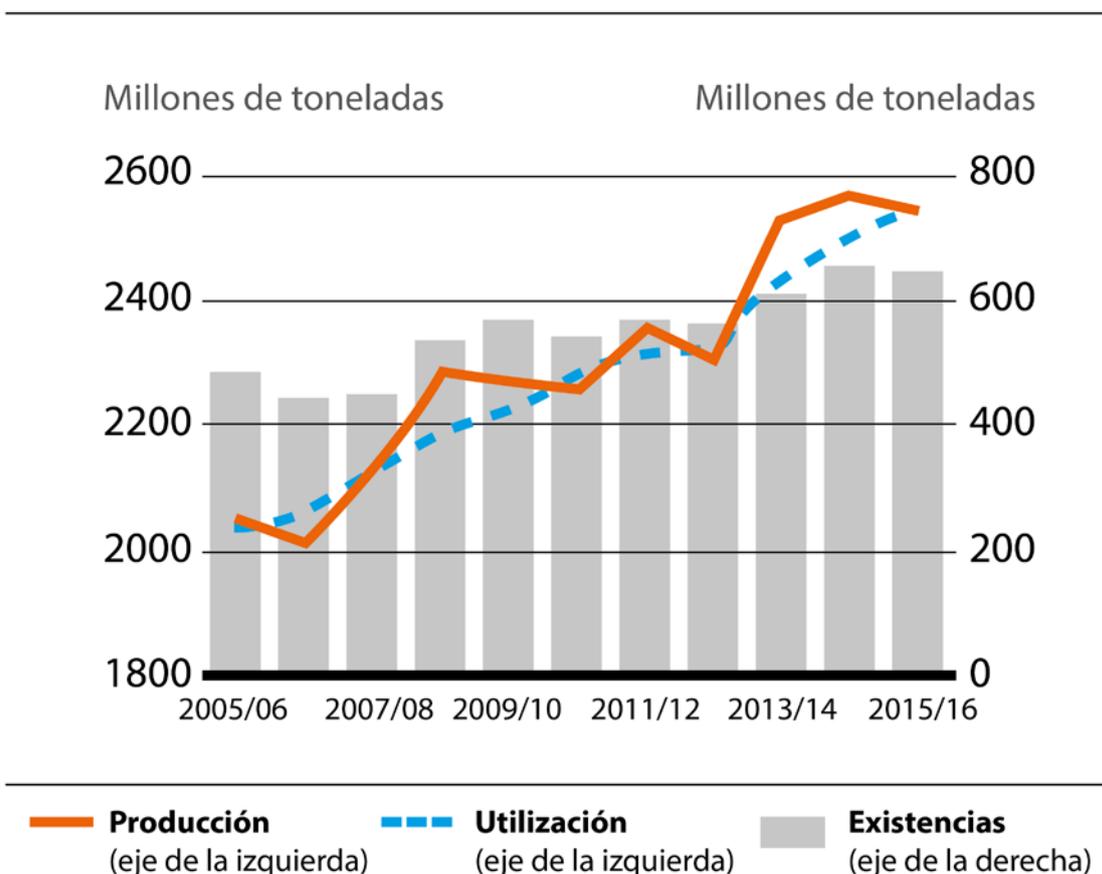


**FIGURA I.1.** Granos de cereales: mijo, centeno, cebada, alpiste, sorgo granífero, avena y trigo.

Fuente: Universidad Nacional de Córdoba (2015)



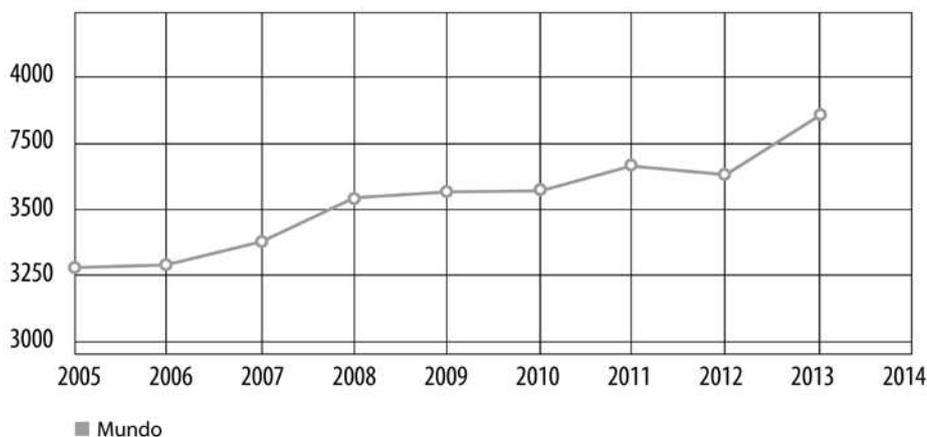
La existencia, producción y utilización de estos granos, han presentado la misma tendencia creciente a nivel mundial en la última década (**Figura I.2**). Los datos de producción de cereales se relacionan con los cultivos cosechados para granos secos únicamente. Se excluyen los cultivos de cereales destinados a heno o que se cosechan verdes para alimento, pienso o ensilaje y los que se utilizan para pastoreo.



**FIGURA I.2.** Producción, utilización y existencia de cereales en el mundo

Fuente: FAO (2015)

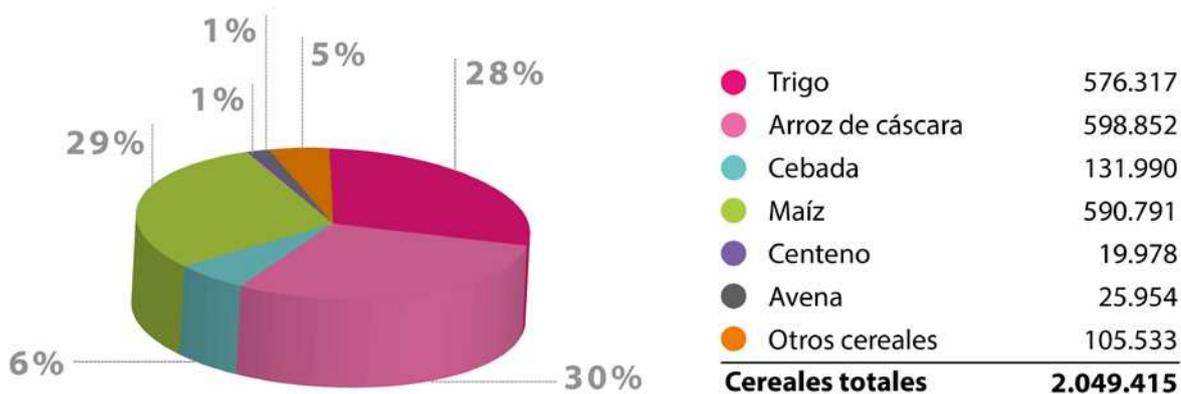
Por otro lado, se puede ver que el rendimiento de cereales a nivel mundial presenta un notorio crecimiento (**Figura I.3**) en la última década según el Banco Mundial (2015).



**FIGURA I.3.** Rendimiento de cereales en el mundo entre los años 2005 y 2014 (kg.ha<sup>-1</sup>)

Fuente: Banco Mundial (2015)

El consumo de cereales por habitante del mundo es de 186,2 kg.hab<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (FAO, 2000) y los más importantes en cuanto a producción son el trigo, arroz, cebada y maíz, que suman el 75 % de la producción total (**Figura I.4**).



**FIGURA I.4.** Producción mundial de cereales según especies en miles de toneladas

Fuente: FAO (2000)



## I.2. TRIGO

### I.2.1. Origen y descripción

El trigo es uno de los cereales más antiguos conocidos por el hombre y sus granos eran triturados con piedras que hacían las veces de morteros (Evans & Peacock, 1981) (**Figura I.5**).



**FIGURA I.5.** Piedras que eran utilizadas como morteros para moler el trigo.

Fuente: Agerpublicus (2013)

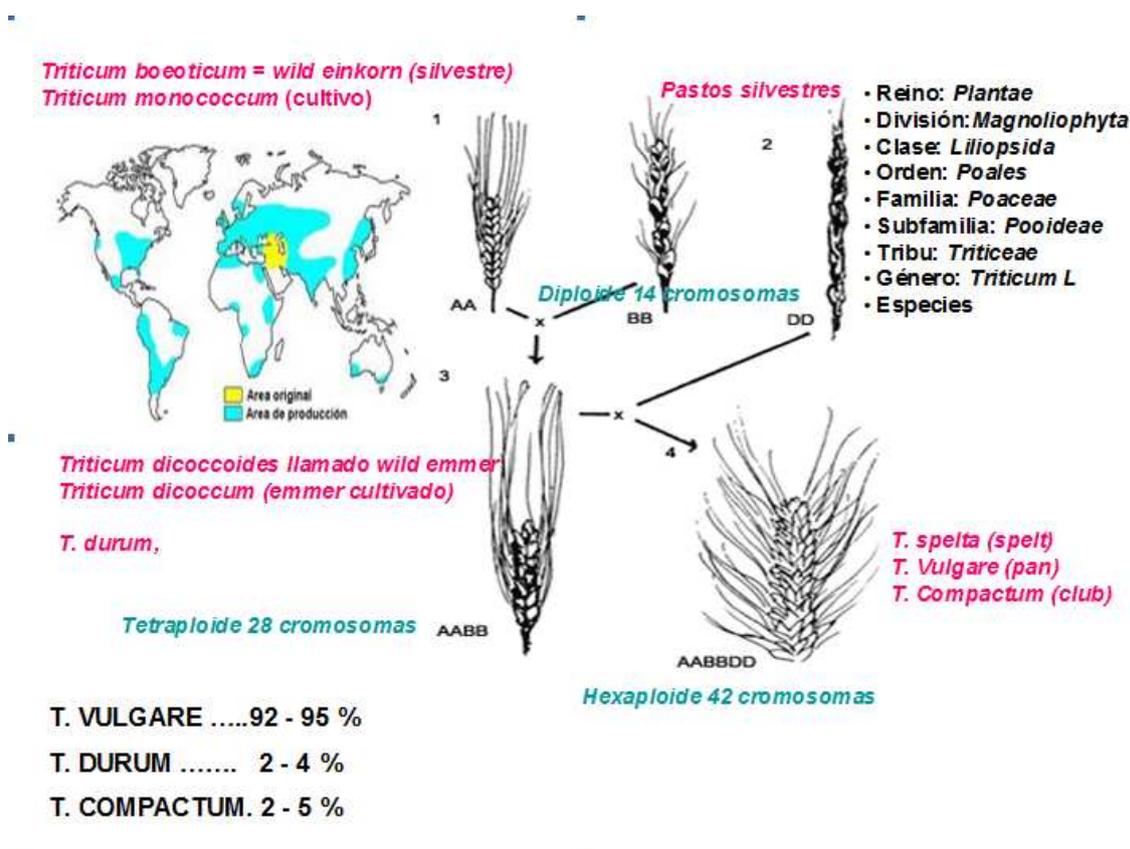
Tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las primeras evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía, Israel e Irak.

Hace alrededor de 8 milenios, una mutación o una hibridación ocurrieron en el trigo silvestre. Esto dio por resultado una planta tetraploide con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento.

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) evolucionó como una especie hexaploide hace aproximadamente 2000 años, después del cruzamiento natural de *Triticum turgidum* y *Aegilops taushii*. La genética del trigo es más complicada que la de la mayoría de las otras especies de plantas domesticadas. La especie del trigo es un poliploide estable, que tiene más de dos conjuntos de siete cromosomas.



En la **Figura I.6**, se muestra un mapa con la zona originaria del trigo coloreada en amarillo. En color celeste se indica la amplia distribución actual de este cultivo utilizado a nivel mundial. Además, se ilustran algunos de los cruzamientos que ocurrieron hasta llegar a los trigos actuales y se detalla la taxonomía del género *Triticum*.

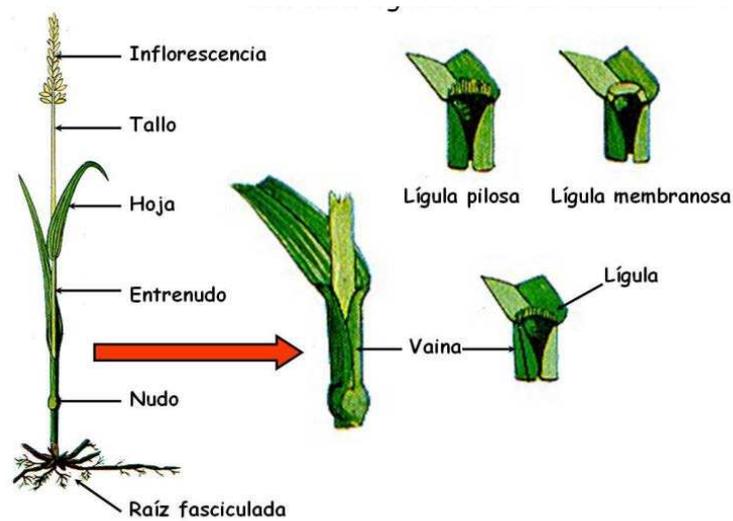


**FIGURA I.6.** Distribución mundial del trigo y taxonomía.

Fuente: Mangelsdorf (1953) y Slideshare (2014)

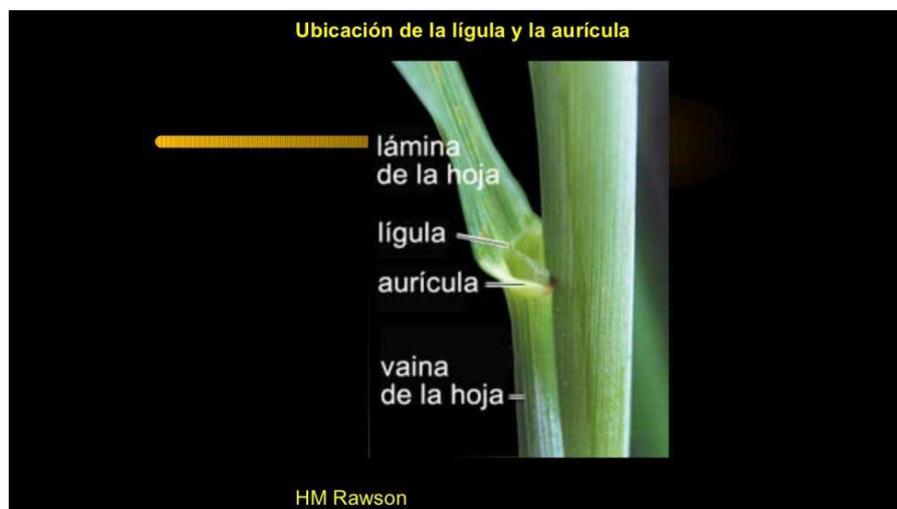
*Triticum aestivum*, trigo pan, es el que mayormente se siembra en el mundo debido a su amplio uso para elaborar pan, entre otros productos. Y una minoría es sembrada con *T. durum* y *T. compactum*.

La morfología de la planta de trigo se puede describir de la siguiente manera (**Figuras I.7 y I.8**): su una raíz es fasciculada. Posee la capacidad de macollar. Su tallo es una caña hueca con nudos, cuyos entrenudos se alargan hacia la parte superior, al igual que ocurre en las especies pertenecientes a la Familia de las gramíneas.



**FIGURA I.7.** Morfología de la planta de trigo (*Triticum aestivum*).

Fuente: La gastronomía de José Soler (2015)



**FIGURA I.8.** Morfología de la hoja de trigo (*Triticum aestivum*).

Fuente: Slideshare (2015)

Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, liguilla y aurículas bien definidas.

La inflorescencia (**Figura I.9**) es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas de 20 a 30

espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales abortan, rodeadas por glumas, glumillas o glumelas, lodículas o glomélulas.



**Inflorescencia: Espiga dística**

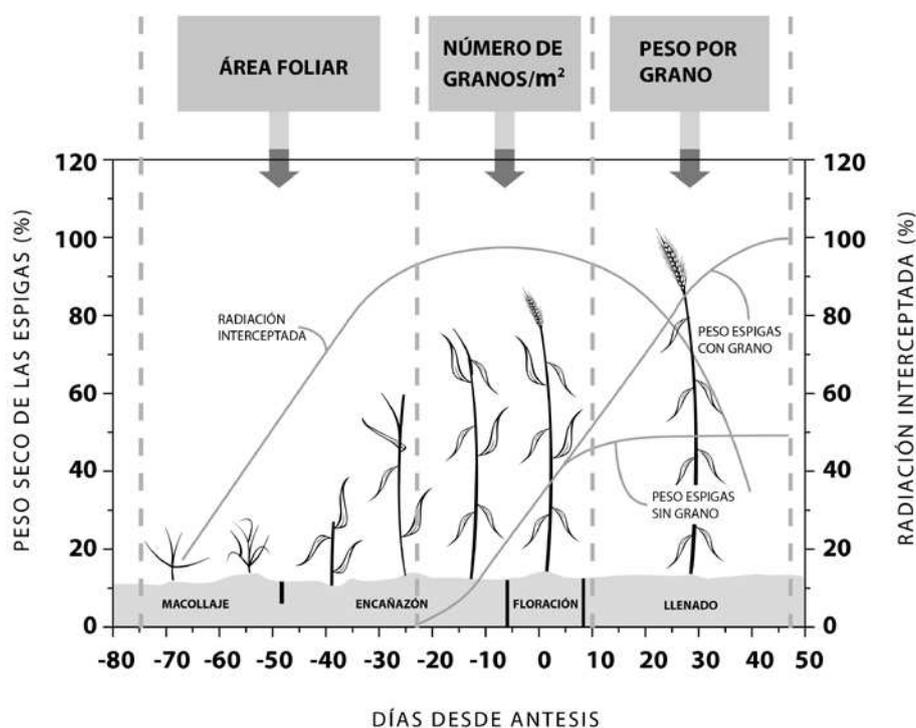


**FIGURA I.9.** Inflorescencia de la planta de trigo

Fuente: Universidad Nacional de Córdoba (2015)

Los rendimientos de trigo son fuertemente asociados a variables climáticas, en particular en las zonas subhúmedas. La magnitud y la distribución de las lluvias, como las características de suelo de las diferentes regiones imponen límites ecológicos. Sin embargo, a través de variables asociadas al manejo del trigo se puede contribuir a modificar el balance de agua de los cultivos y a aumentar los rendimientos o a reducir sus variaciones.

Desde etapas tempranas el trigo comienza a definir los subcomponentes del número de granos por unidad de superficie que alcanzará el cultivo (**Figura I.10**).



**FIGURA I.10.** Etapas fenológicas del cultivo de trigo y determinación del rendimiento.

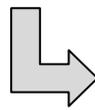
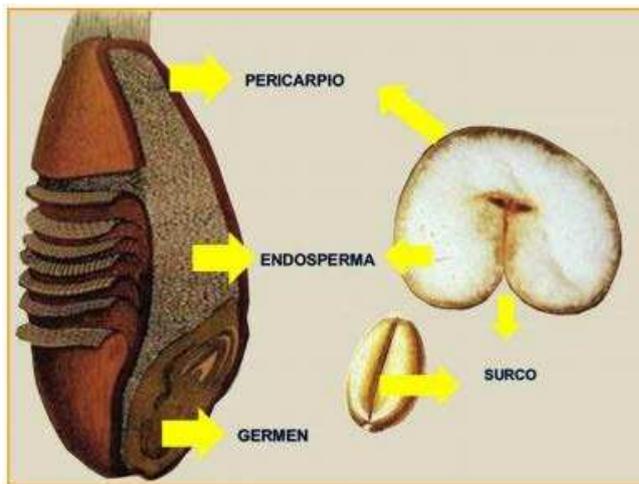
Fuente: Agrobot (2014)

Una vez establecido el *stand* de plantas por metro cuadrado, el inicio de macollaje marcará el comienzo de generación de nuevos vástagos que alcanzará el máximo de producción cerca de los inicios de la encañazón y se establecerá el número final de vástagos fértiles en floración (número de espigas por metro cuadrado). El número de granos por espigas se conformará en función del número de espiguillas por espigas (definido entre el estado de “doble arruga” y la aparición de la espiguilla terminal) y del número de granos por espiguilla (que se define entre el estado de “doble arruga” y el cuaje de los granos). El período crítico para la definición del número de granos está entre 20 días de prefloración y 10 días de postfloración. No obstante, las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrolla este cultivo fluctúan notablemente, lo que da lugar a variaciones en la producción y productividad (Rubianes Manzano, 2007).

## I.2.2. Grano de trigo

### I.2.2.1. Descripción de la estructura y composición del grano

Los granos son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados (**Figura I.11**). Entre los carbohidratos presentes, el almidón es el principal componente del grano de trigo.



**FIGURA I.11.** Estructura del grano de trigo.

Fuente: Seghezzo (2015)



El germen sobresale en uno de los extremos, contiene lípidos en proporción variable (de esta parte del grano se realiza la extracción de aceite de ciertos cereales) y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la capa de aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. La semilla está envuelta por una cáscara formada sobre todo por la celulosa, componente fundamental de la fibra dietética. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo (Dimitri y Orfila, 1985).

En las siguientes tablas se observan: la composición química (**Tabla I.1**) (Quaglia, 1991) y la composición de las principales partes morfológicas del grano de trigo (**Tabla I.2**).

**TABLA I.1.** Composición química del grano de trigo.

	Mínimo	Máximo
<b>Humedad (g/100 g)</b>	8,0	18,0
<b>Proteínas (N x 5,7) (g/100 g)</b>	7,0	18,0
<b>Minerales (Cenizas) (g/100 g)</b>	1,5	2,0
<b>Lípidos (g/100 g)</b>	1,5	2,0
<b>Hidratos de Carbono (g/100 g)</b>		
Almidón (g/100 g)	60,0	68,0
Pentosas (g/100 g)	6,2	8,0
Sacarosa (g/100 g)	0,2	0,6
Maltosa (g/100 g)	0,6	4,3
Celulosa (g/100 g)	1,9	5,0





**TABLA I.2.** Composición de las principales partes morfológicas del grano de trigo.

	<b>Pericarpio</b>	<b>Germen</b>	<b>Endospermo</b>
<b>Humedad (g/100 g)</b>	10,0	11,0	14,0
<b>Proteínas (g/100 g)</b>	16,0	23,0	11,0
<b>Minerales (Cenizas) (g/100 g)</b>	5,80	4,2	0,5-0,6
<b>Lípidos (g/100 g)</b>	4,25	10,0	1,0
<b>Hidratos de carbono (g/100 g)</b>	64,5	52,0	72,0
Fibra cruda (g/100 g)	42,8	13,0	1-2
Mono y disacáridos (g/100 g)			1-2

Fuente: Osella (2015)

## **PROTEÍNAS**

Componen el grano de trigo en un 8-12%.

Las proteínas pueden dividirse en las de almacenamiento (gluten), que se hallan principalmente en el endospermo, en las que predominan las glutaminas y la prolina. El otro grupo de proteínas son las que no forman el gluten, donde se agrupan la mayoría de las enzimas. Éstas se hallan en el germen, salvado, capa de aleurona y en menor proporción en el endospermo, teniendo un buen balance de aminoácidos (Dupont & Altenbach, 2003).

Del total de las proteínas presentes, en el caso del trigo, una prolamina (la gliadina) representa el 44% y una glutelina (la glutenina) constituye el 40%. Las dos fracciones insolubles en agua (gliadinas y gluteninas) tienen una gran importancia tecnológica porque en contacto con el agua y por la acción mecánica se unen con enlaces intermoleculares, formando el gluten. Éste, confiere resistencia y elasticidad a la masa





obtenida a partir de la harina y del agua (Hoseney *et al.*, 1969), fundamentales en la elaboración de productos panificados, ya que posee la capacidad de retener el dióxido de carbono proveniente de la fermentación.

En el germen encontraremos, en pequeñas cantidades albúmina y globulina.

Las proteínas de los cereales son deficientes en aminoácidos esenciales como la lisina (Torres-González *et al.*, 2014).

## MINERALES

En la **Tabla I.3**, se encuentra la composición mineral del trigo según Pyler (1973b).

**TABLA I.3.** Composición mineral del trigo.

Cenizas	K	P	Mg	Ca	Na	Zn	Fe	Mn	Cu	Mo	Co
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg.kg <sup>-1</sup> )						
1,96	0,46	0,38	0,17	0,05	12,8	31,0	37,3	49,0	4,0	0,33	0,02

Fuente: Pyler (1973b)

## LÍPIDOS

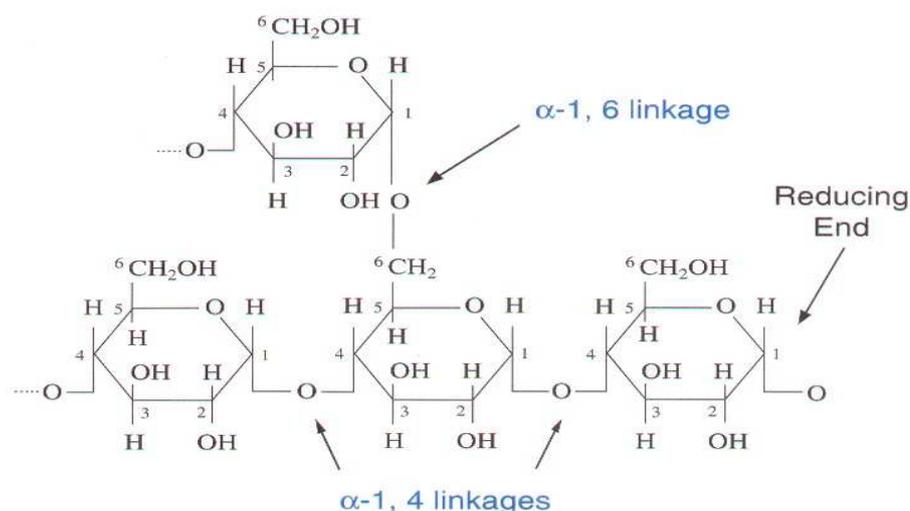
Los lípidos componen entre 1,5% y 2% del grano de trigo, hallándose mayoritariamente en el germen. Consisten en cantidades iguales de lípidos polares y no polares, siendo los triglicéridos, los que se encuentran en mayor cantidad dentro de los no polares. El ácido graso predominante es el linoleico, el cual es esencial, seguido del oleico y del palmítico. Por otro lado fosfatidil colina, lisofosfatidil colina y digalactosil



diglicéridos se destacan dentro de los polares.

## CARBOHIDRATOS

**Almidón:** representa el 60-70% del peso del grano. Es básicamente un polímero de D-glucopiranososa unida por enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 (Figura I.12).



**FIGURA I.12.** Estructura química del almidón.

Fuente: La guía – Sección Química (2015)

El almidón es insoluble en agua fría, y por calentamiento sufrirá cambios. Estos cambios empiezan con la penetración del agua lo que produce una desestabilización en la zona amorfa, en este momento se liberan al líquido moléculas de amilosa. Con el aumento de temperatura se produce la pérdida de la zona cristalina. La pérdida de la estructura cristalina se conoce como “gelatinización”. En el proceso de enfriamiento hay un reordenamiento de las moléculas de amilosa a través de uniones puente hidrógeno que causa la formación de un gel. Este fenómeno se denomina “retrogradación”. Estos eventos son de suma importancia en la formación de la miga del pan. En la **Figura I.13**, se presenta la formación de la miga en diferentes momentos de cocción de la masa.



**FIGURA I.13.** Formación de la miga del pan durante el tiempo de cocción.

Fuente: Chang (2005)

***Polisacáridos no almidón:***

Los cereales poseen polisacáridos diferentes al almidón. Éstos son constituyentes primarios de las paredes celulares y son más abundantes en las capas externas que en las internas del grano. Entre los polisacáridos no almidón se pueden citar hemicelulosas, pentosanos, celulosa,  $\beta$ -glucofructanos (Belitz & Grosch, 1988).

La celulosa es el polisacárido estructural más importante de las plantas. Es un homopolisacárido lineal de unidades de D-glucopiranosas, pero difiere de la amilosa en que los monómeros poseen enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4. Su gran resistencia mecánica y química se debe a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas. Tiene zonas cristalinas y amorfas: las primeras se producen cuando las moléculas se enlazan con alto ordenamiento, mientras que en las zonas amorfas no existe este orden alguno. Posee muchos hidroxilos libres, pero a pesar



de esto, es muy poco soluble en agua debido a que estos grupos no se hidratan por estar actuando entre sí (Badui Dergal, 1999). En el endospermo se encuentra baja cantidad de celulosa (0,3%) debido a que está presente mayoritariamente como componente del salvado.

Los demás polisacáridos se discutirán en la sección referida a la Harina.

## VITAMINAS

Las vitaminas corresponden en su mayoría al complejo B y también al complejo E, las restantes se hallan en cantidades trazas. En general, se localizan en las capas externas del grano y del germen (**Tabla I.4**). Comparando los niveles de vitaminas de los granos de trigo respecto a las harinas obtenidas, se reconoce una disminución de su contenido luego del proceso de molienda (Pylar, 1973a).

**TABLA I.4.** Vitaminas en el grano de trigo.

<b>Vitamina</b>	<b>mg/ 100 g de peso seco</b>
Tiamina (B1)	0,400
Riboflavina (B2)	0,160
Niacina (B3)	6,950
Biotina (B8)	0,016
Colina (B7)	216,000
Acido Pantoténico (B5)	1,370
Ácido Fólico (B9)	0,049
Ácido Aminobenzoico	0,510

Fuente: Pylar (1973a).

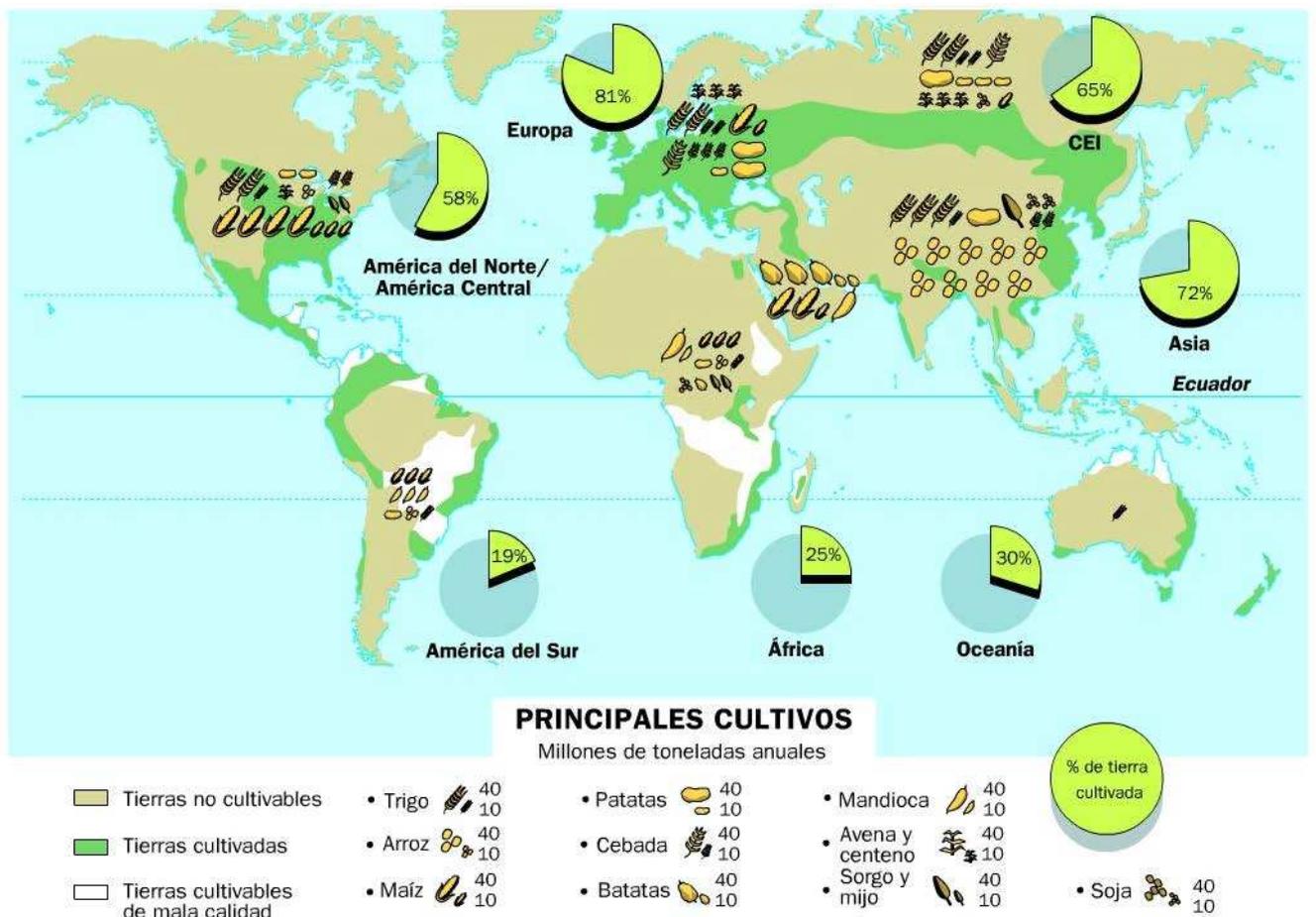
### I.2.3. Trigo en el mundo

Durante la Campaña 14/15, la producción en el mundo fue de 726,45 millones de toneladas, con una demanda de 715,46 millones de toneladas (USDA, 2015).



Se observa en la **Figura I.14** que la producción de trigo a nivel mundial se encuentra mucho menos concentrada que la de soja, al igual que su producción.

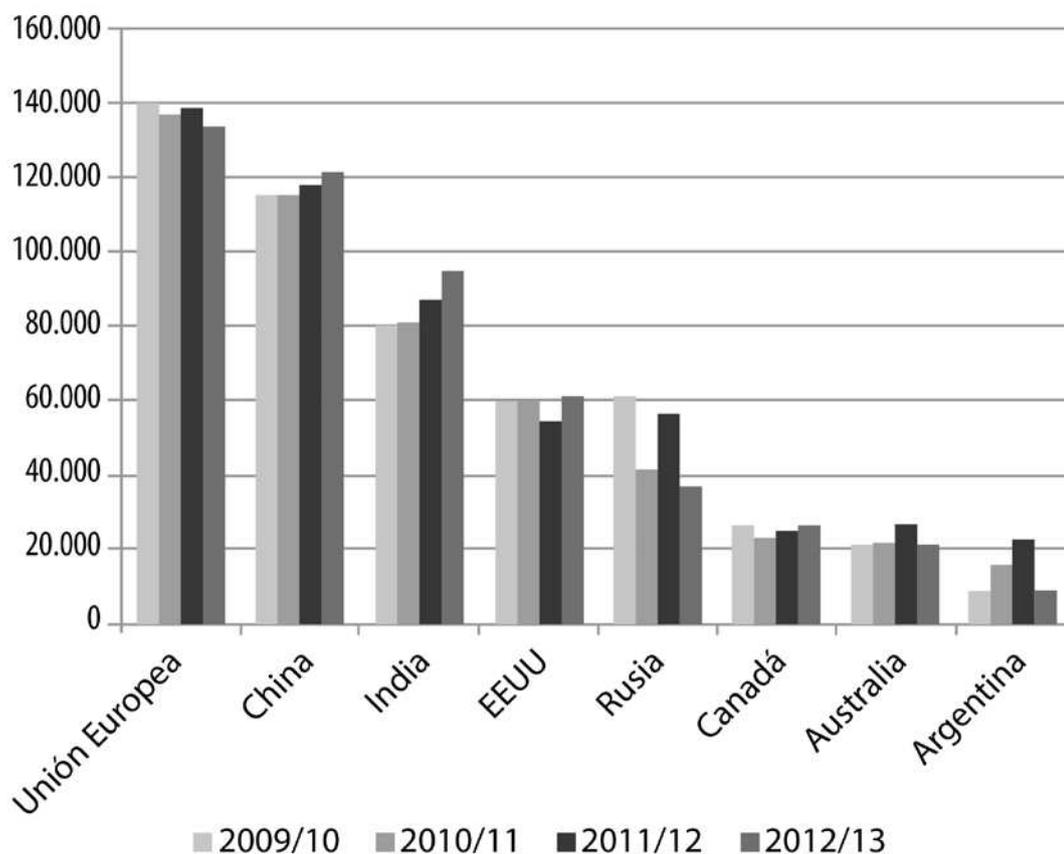
Para el caso del trigo, los tres países que más producen representan alrededor del 50% de la producción mundial, mientras que en soja los tres principales dan cuenta del 80% de la producción global.



**FIGURA I.14.** Tierras cultivadas y principales cultivos y alimentos (2014).

Fuente: Editorial SM (2015)

La **Figura I.15** presenta las cosechas obtenidas por los más importantes productores de trigo en las 4 campañas, entre 2009 / 2010 y 2012 / 2013.



**FIGURA I.15.** Principales productores mundiales de trigo  
(Campañas 2009/2010 a 2012/2013).

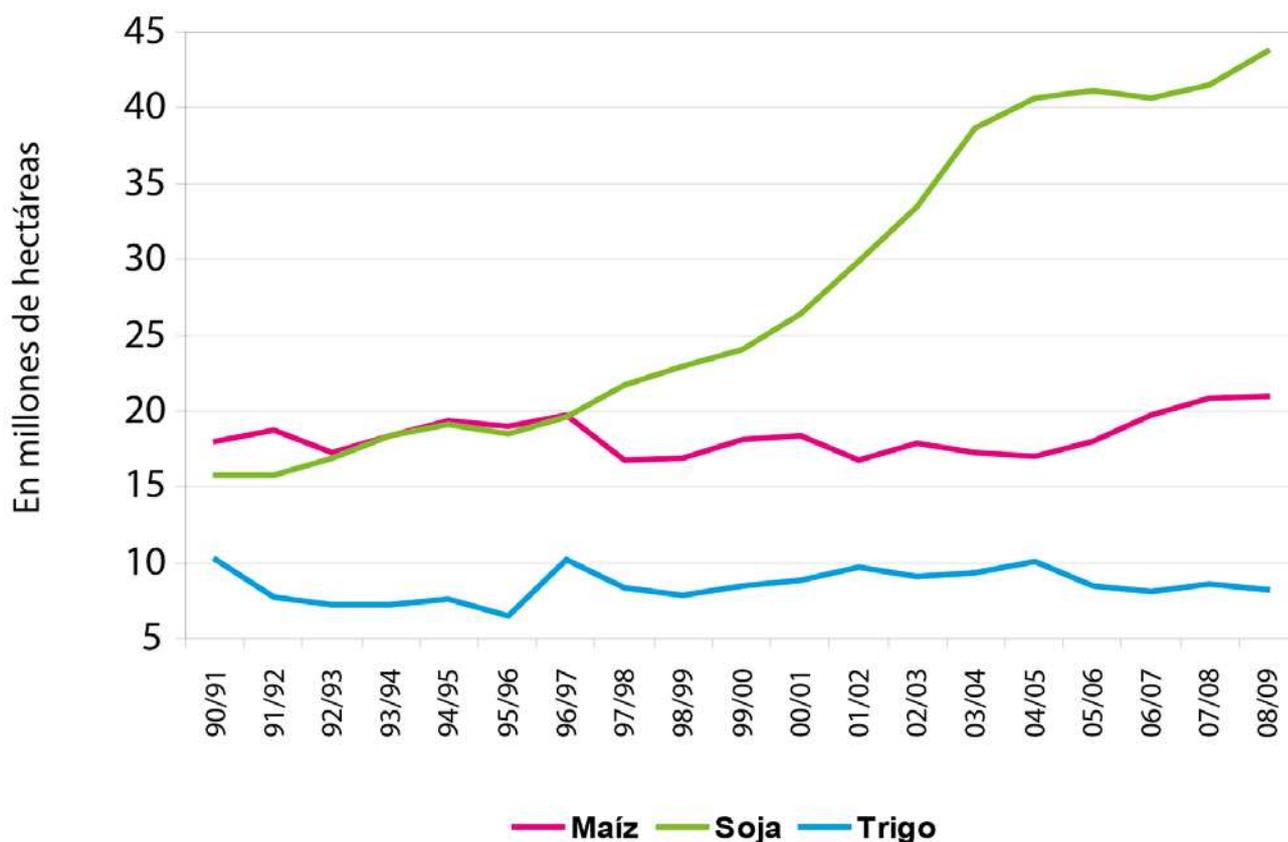
Fuente: FAO (2014)

Al descomponer la producción global por países, los principales productores son la Unión Europea como bloque, seguida por China e India, que en conjunto son responsables en un 53% en promedio de la producción global, le sigue Estados Unidos con el 9,4% (FAO, 2014).

Según la fuente citada, Argentina está en el octavo puesto a nivel mundial en producción durante las últimas campañas.

La producción de trigo y maíz ha sido relativamente estable en América del Sur durante el período entre 1990 y 2009, a diferencia del cultivo de soja que ha presentado un marcado crecimiento de la producción en la citada área geográfica (**Figura I.16**).





**FIGURA I.16.** Área cosechada de principales cultivos en Sudamérica durante el período 1990-2009.

Fuente: USDA (2011).

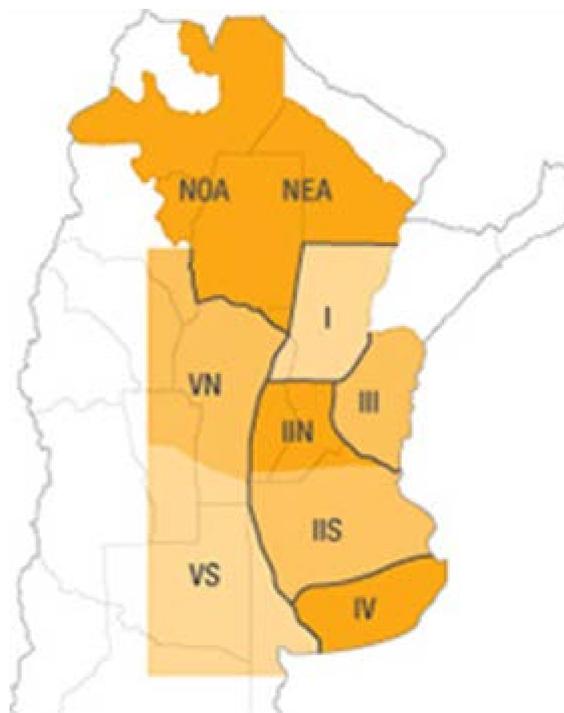
### I.2.4. El trigo en Argentina

En Argentina, el cultivo se realiza en una amplia zona entre 30-40° de latitud sur y 57-68° de longitud oeste. Existen 5 subregiones trigueras y algunas de ellas presentan subdivisiones que responden a diferentes características agroecológicas.

Las harinas obtenidas de los trigos cultivados en nuestro país difieren notablemente en su calidad industrial, según la zona de donde el cereal proceda.

### I.2.4.1. Áreas de cultivo

Se cultiva en numerosas provincias argentinas y se dividen en 5 subregiones trigueras: I y II (norte y sur), III, IV, V (norte y sur) (**Figura I.17**).



**FIGURA I.17.** Mapa de las regiones trigueras en Argentina.

Fuente: Agrobit (2014)

Las harinas provenientes de trigos cultivados en Argentina difieren notablemente en calidad industrial según la zona de procedencia de este cereal. La mitad de la producción proviene de las zonas IV y V sur, que se caracterizan por tener trigos de fuerza, con altos valores de trabajo de deformación ( $W$  alveográfico  $> 280$ ), relación P/L entre 0,8 - 1,1, alta estabilidad farinográfica ( $> 13$  minutos) pero con bajo contenido proteico, en consecuencia con bajo contenido de gluten húmedo ( $> 24\%$ ). El resto de las zonas, que aportan la otra mitad de la producción, si bien presentan alto contenido proteico son trigos más débiles, con baja estabilidad farinográfica ( $< 10$  minutos) y bajos valores alveográficos ( $W < 250$ ) y relación P/L  $< 0,6$ . Estas diferencias de calidad tan marcadas se deben a diversas razones genéticas y ambientales, interrelacionadas.



#### I.2.4.2. Genotipos, calidad y comercialización de trigo

Para los investigadores de cereales, son de interés tanto los cultivares de trigos y los efectos del año de cosecha. Es bien sabido que la calidad del uso final de trigo depende sobre todo de genoma del trigo y que el manejo del cultivo (tratamiento agrícola), así como el clima durante cada año de cosecha provoca una fluctuación en la calidad del trigo (Švec *et al.*, 2007). La información sobre la diversidad del germoplasma y las relaciones genéticas entre cultivares son críticos en la mejora de trigo. Similitudes genéticas pueden ser evaluados por medio de análisis de *pedigree* o mediante la evaluación de los rasgos morfológicos como así también bioquímicos, y más recientemente, a través de los marcadores de ADN (Altintas *et al.*, 2008).

La calidad tecnológica de trigo depende de las propiedades del endospermo del grano. Estas características son de importancia en la posterior elaboración a partir de esas harinas de varios tipos de productos horneados tales como pan, galletitas dulces y saladas (Osella *et al.*, 2008).

A nivel internacional, el trigo es comercializado por su calidad. Tienen un precio diferencial por el costo de aplicar una adecuada tecnología y manejo de la producción para lograr que llegue a la industria y exportación con la calidad que ha sido generado (Cuniberti, 2004).

Nuestro país, a lo largo de los años ha ubicado su saldo exportable no por su calidad, sino por sus precios bajos. Actualmente, la demanda por parte de los compradores finales de trigo es la calidad que presentan los granos (homogeneidad y consistencia) (Celantano & Montero, 2004). Esto puede deberse a que determinadas industrias son exigentes respecto a las características de las harinas que serán utilizadas para la elaboración de ciertos productos, ya que de ellas depende la calidad final y la mayor conformidad por parte del consumidor. Una correcta sistematización de la clasificación de los granos de trigo, podría transformar al comercio triguero argentino de ser clasificado como *commodities* a *specialities*, dando un valor agregado a los mismos y mejorado la competitividad.

Las variedades de trigo se pueden dividir en tres grandes grupos: 1, 2 y 3. Cada grupo posee diferentes composiciones bioquímicas de las fracciones proteicas, por lo que





no todos los genotipos pueden adaptarse a los diferentes productos y procesos (Brach, 2013).

Debido a lo planteado, en el año 2003 el gobierno argentino, a través de la Resolución N° 334/2003 de la SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca), ha decidido apoyar y promover la clasificación del trigo argentino a través del Programa Nacional de Calidad de Trigo (PRONACATRI) y que contempla tres Clases de trigo:

TDA1 Superior (Trigo Duro Argentino 1 Superior): se define como integrantes de esta clase a las variedades del GRUPO 1 de Calidad con 3 bandas de proteína entre 10,5% - 11,5%, 11,6% - 12,5% y más de 12,5%; TDA2 Especial (Trigo Duro Argentino 2 Especial): clase formada por las variedades del GRUPO 1 y 2, con las siguientes bandas de proteína: 10% a 11%, 11,1% a 12% y más de 12%; TDA3 Standard (Trigo Duro Argentino 3 Standard): clase integrada por las variedades del GRUPO 3 con dos bandas de proteína: 10% - 11% y más 11% (Futuro y Opciones, 2003).

Posteriormente en el mismo año, se pone en marcha la Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo (RET), con el fin de continuar los lineamientos de clasificación por calidad de los trigos producidos en Argentina (García, 2004).

La clasificación de la producción de trigo en Argentina, tanto por proteínas como por variedades y grupos de calidad, contribuiría a las clases trigueras a mejorar la rentabilidad del productor y acopiador. Además, permitiría satisfacer la demanda de la industria y de la exportación, aumentando la credibilidad y confiabilidad de la Argentina en el comercio mundial de trigo como país exportador de este cereal.

#### **I.2.4.3. Producción nacional y su destino**

La última campaña triguera 2014/2015, otorgó una producción de 12,1 millones de toneladas en el país. El área sembrada fue de 4,4 millones de hectáreas (ha), con un rendimiento de 28,5 qq.ha<sup>-1</sup>, superando levemente a las estadísticas de la campaña anterior (**Tabla I.5**).





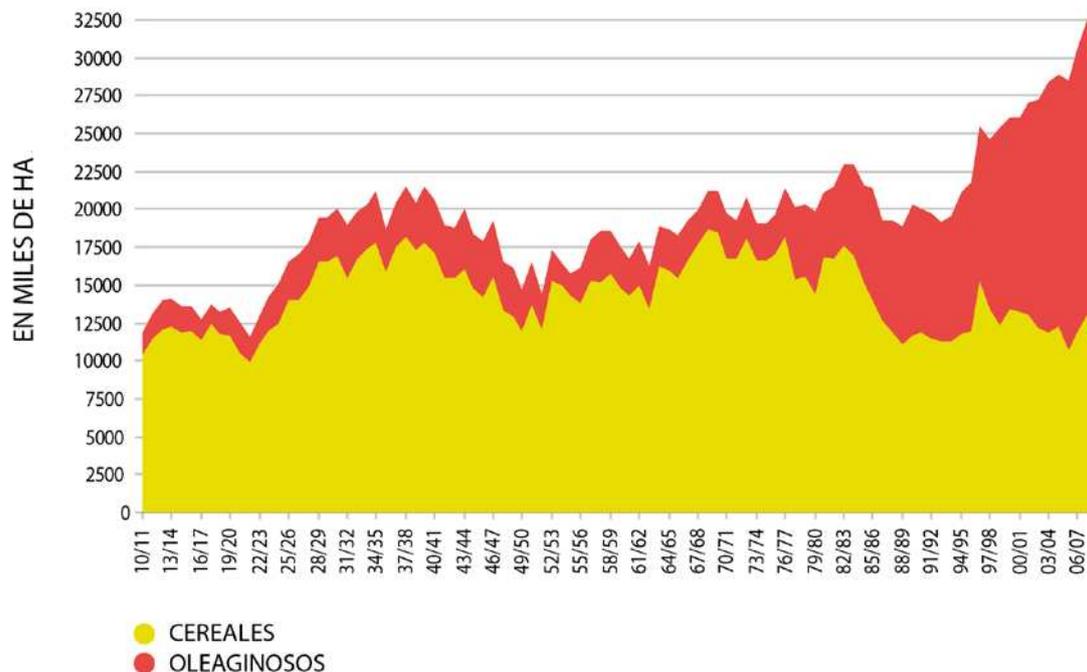
**TABLA I.5.** Área sembrada, rendimiento y producción de trigo en la campañas 2013/14 y 2014/15.

 TRIGO	<b>2014/15</b>					
	ÁREA SEMBRADA	<b>4,4</b>	RINDE	<b>28,5</b>	PRODUCCIÓN	<b>12,1</b>
	MILLONES HA		QQ/HA		MILLONES TN	
<b>2013/14</b>						
ÁREA SEMBRADA	<b>3,7</b>	RINDE	<b>26,8</b>	PRODUCCIÓN	<b>9,5</b>	
MILLONES HA		QQ/HA		MILLONES TN		

Fuente: Bolsa de Cereales de Rosario (2015)

Argentina es el sexto exportador mundial de trigo (Bolsa de Cereales de Rosario, 2015).

En la **Figura I.18**, se observa el área sembrada con cereales y oleaginosas durante los últimos 100 años en Argentina, donde se observa una importante tendencia creciente en la superficie ocupada con oleaginosas. Esto explicaría la disminución de la producción de trigo durante los últimos años en nuestro país.



**FIGURA I.18.** Superficie argentina sembrada con trigo durante los últimos 100 años.

Fuente: Nóvitas (2009)



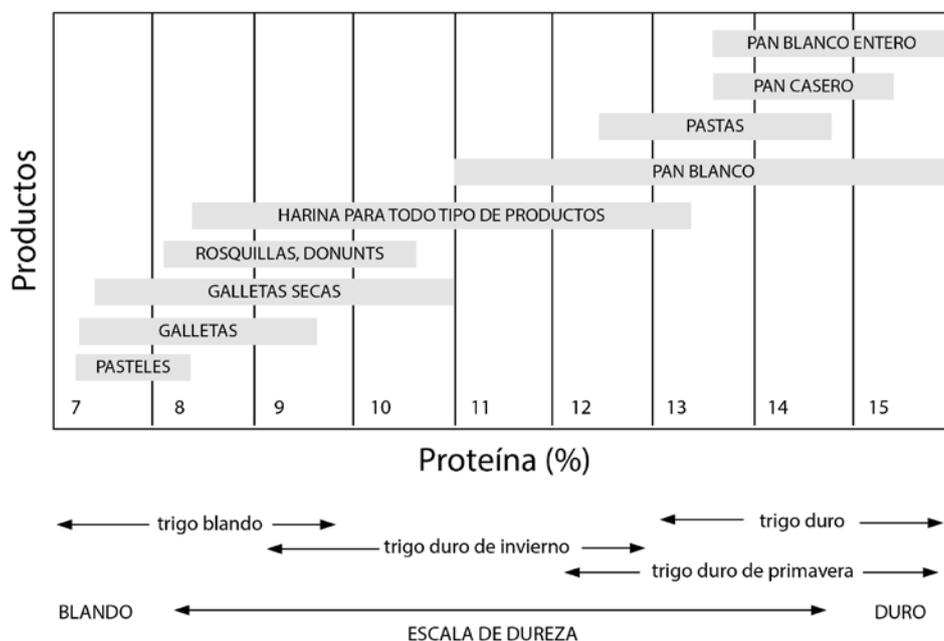
En nuestro país, la demanda de harina de trigo se presenta en diferentes formas: pan industrial, pan de panadería, galletitas, pastas o harina fraccionada en envases de un kilogramo para el consumo hogareño, entre otros.

El Artículo 657 del Código Alimentario Argentino clasifica a los granos de trigo en dos tipos, según las distintas variedades (*Triticum vulgare* L. y *Triticum durum*):

1) *Triticum vulgare* o trigo pan: grano de forma elíptica más o menos redondeado; de color rojizo-amarillento, grisáceo y combinaciones de estos colores; de aspecto opaco; fractura almidonosa, no quebradizo; de gluten húmedo elástico y extensible; con buen o muy buen valor panadero; con un peso de 30-40 g los 1000 granos.

2) *Triticum durum* (Candeal y Taganrock) o trigo fideo: grano de forma elíptica sensiblemente alargado; de color ámbar claro; aspecto traslúcido, fractura vítrea y gran friabilidad; con gluten húmedo, corto y duro; no apto para panificación con un peso de 50-60 g los 1000 granos.

Las variedades de *T. durum* se derivan a la industria de pastas mientras que las de *T. vulgare* lo son a la industria de panificados (**Figura I.19**).



**FIGURA I.19.** Tipos de trigo en función de los productos finales. Clasificación de trigos por producto final.

Fuente: Tecnología de Granos y Semillas (2014)



En Argentina, el consumo interno de harina de trigo es de aproximadamente 80 kg per cápita.

Entre los años 2002 y 2010, el consumo aparente de harina de trigo, definido como disponibilidad de un producto para una población en un tiempo dado, creció un 23%. Por su parte, el consumo per cápita lo hizo en un 13,9%. A lo largo de todo el período bajo análisis se registra una tendencia general creciente para ambos indicadores (**Tabla I.6**).

**TABLA I.6.** Evolución del consumo de harina de trigo en Argentina  
(2002-2010).

Año	Consumo aparente	Consumo <i>per capita</i>	Variación interanual del Consumo	
	Miles toneladas	kg/hab/año	(% aparente)	(% <i>per capita</i> )
2002**	3.119,2	83,1	-	-
2003**	3.200,6	84,5	2,6%	1,7%
2004	3.295,9	86,2	3,0%	2,0%
2005	3.298,5	85,5	0,1%	-0,9%
2006	3.256,5	83,6	-1,3%	-2,2%
2007	3.383,5	86,0	3,9%	2,9%
2008	3.598,6	90,5	6,4%	5,3%
2009	3.553,7	88,5	-1,2%	-2,2%
2010	3.837,2	94,7	8,0%	7,0%
E- jul 2010	2.195,0	-	-	-
E- Jul 2011	2.307,9	-	5,1%	-

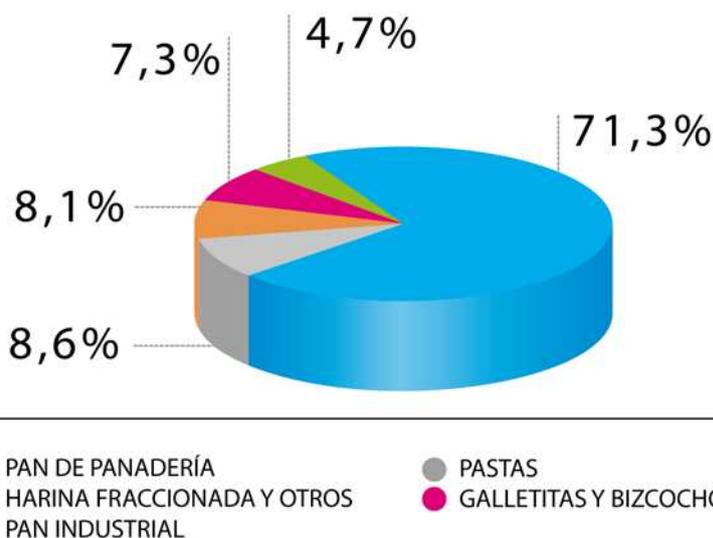
\*Los datos de comercio exterior incluyen a las premezclas.

\*\*Producción de harina estimada en base a un rendimiento del 75% de la molienda.

Fuente: Dirección Nacional Transformación y Comercialización de Productos Agrícolas y Forestales – Dirección de Mercados Agroalimentarios e INDEC (2011)

Gran parte de la producción de harina de trigo, se industrializa y se consume de diferentes maneras (**Figura I.20**).





**FIGURA I.20.** Destino de la producción nacional de harina de trigo.

Fuente: Dirección de Industria Alimentaria con datos de FAIM (2007).

### I.3. MOLIENDA DE TRIGO

Comercialmente se habla de dos tipos básicos de harina a partir del grano de trigo:

1) Harina blanca, elaborada únicamente con el endospermo, por su parte el salvado y el germen se remueven como subproductos.

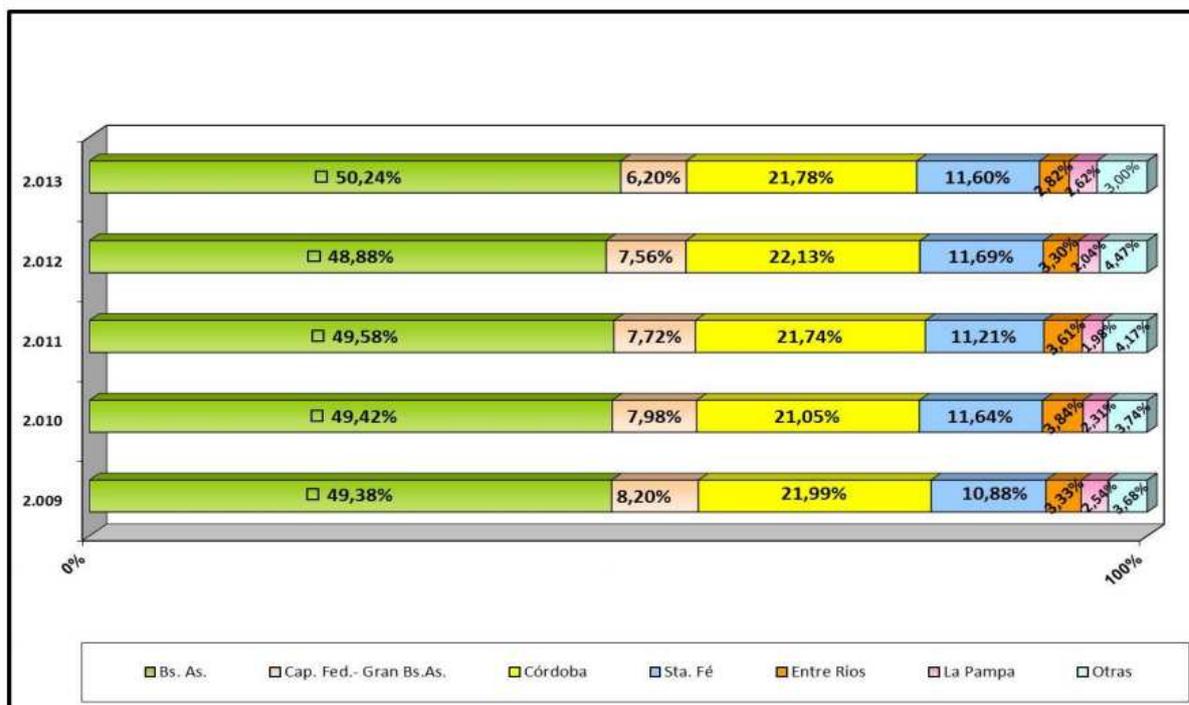
2) Harina integral, que contiene todos los componentes del grano limpio del trigo, así la harina de grano entero o integral tiene exactamente la misma composición que el trigo del cual fue obtenida. Los nuevos lanzamientos de alimentos que declaran ser de “grano entero” han tenido un importante crecimiento desde el año 2000, aumentando en el año 2010 en casi veinte veces respecto al año 2000 (Lezcano, 2012).

Las harinas comerciales se tipifican en distintas categorías: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0), medio cero (medio 0), según el contenido de humedad, cenizas, absorción de agua y volumen generado de pan. Aproximadamente el

75% del mercado es abarcado por harina tipo 000 y su distribución mayorista, usualmente, se realiza en bolsas de 50 kg. El otro 25% se distribuye en los mercados minoristas, tales como supermercados, autoservicios y comercios de pequeña escala (AACREA, 2005).

En promedio los molinos de harina de trigo obtienen cada 100 kg de trigo: 50 kg de harina “000” y 25 kg de harina “0000”, de mayor valor por contener menos cenizas que la primera. Es decir, que el rendimiento teórico de la operación de molienda se estima en un 75% (ONCCA, 2011).

La molienda de trigo pan se concentra mayoritariamente en Buenos Aires y desde el año 2002 su participación anual ha sido alrededor del 50%. Entre los años 2009 y 2013, el porcentaje no ha presentado grandes variaciones, al igual que el mantenimiento de la gran brecha que plantea la diferencia con la participación de las otras provincias. En la **Figura I.21** se representa la distribución de molienda de trigo por provincia y por año, durante el período de 2008 a 2013.



**FIGURA I.21.** Participación por provincia en la molienda de trigo pan .  
(Período 2008-2013).  
Fuente: FAIM (2014)

Entre los años 2007 y 2011, el sector molinero nacional ha incrementado el volumen de trigo pan molturado, con lo cual, se puede inferir que ha mejorado la utilización de su capacidad instalada (ONCCA, 2011). Se puede agregar también, que a lo largo del año se registran fluctuaciones en la molienda de trigo pan que tienen que ver, básicamente, con la disponibilidad del cereal en el mercado.

#### I.4. HARINAS

En el Capítulo IX del CAA se define y detallan las exigencias para harinas comerciales:

Art 661 - (Res 167, 26.1.82): "Con la denominación de Harina, sin otro calificativo, se entiende el producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo que responda a las exigencias de éste. Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0), medio cero (medio 0), Harinilla de primera y Harinilla segunda, corresponderán a los productos que se obtienen de la molienda gradual y metódica del endospermo en cantidad de 70-80% del grano limpio. A los efectos de la ejecución del análisis de la harina tipo 000, se admitirá una tolerancia del 3% en más de la cifra de contenido de cenizas precedentemente establecida."

Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos anteriormente mencionados deberán responder a las siguientes características (**Tabla I.7**):

**TABLA I.7.** Especificación para harinas.

<i>Harina tipo</i>	<i>Humedad g/100 g (Máximo)</i>	<i>Cenizas g/100 g (Máximo)</i>	<i>Absorción g/100 g</i>	<i>Volumen pan (Mínimo)</i>
0000	15,0	0,492	56-62	550
000	15,0	0,65	57-63	520
00	14,7	0,678	58-65	500
0	14,7	0,873	60-67	475
½ 0	14,5	1,350	-	-

Fuente: CAA (Código Alimentario Argentino)



## I.4.1. Componentes

### HUMEDAD

La humedad varía alrededor de 12 a 14%, es deseable que no supere el 15% para asegurar una adecuada conservación desde la perspectiva microbiológica.

### PROTEÍNAS

La clasificación de las proteínas de la harina de trigo puede basarse en: solubilidad y funcionalidad.

#### 1. Solubilidad

La presente clasificación fue realizada por Osborne (1924) (**Tabla I.8**) y consiste en una serie de extracciones consecutivas con: agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos.

**TABLA I.8.** Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.

Fración Osborne	Comportamiento en Solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Fuente: Goesaert *et al.* (2005)

La propuesta de Osborne no provee una separación clara entre las proteínas para diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan. En la actualidad, los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/funcional de las proteínas. Asimismo, debido a que este método de separación es relativamente simple, frecuentemente es muy utilizado





como una etapa de separación inicial para obtener fracciones semipuras de proteína (Goesaert *et al.*, 2005).

## 2. Funcionalidad

Existen dos grupos de proteínas de gluten que son funcionalmente distintos: gliadinas (monoméricas) y gluteninas (poliméricas). Estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles. La **Tabla I.9 (a)**, muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

**TABLA I.9 (a).** Clasificación de las proteínas de la harina de trigo según su funcionalidad.

Clasificación de acuerdo a su funcionalidad	Ubicación en el grano	% en la harina de trigo	Proteínas monoméricas	Proteínas poliméricas
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15–20 %	Albúminas Globulinas	Triticinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80–85 %	Gliadinas	Gluteninas

Fuente: de la Vega Ruiz (2009)

En la **Tabla I.9 (b)** se muestra los tipos de gliadinas y globulinas, en función de sus pesos moleculares.

**TABLA I.9 (b).** Clasificación de las proteínas del gluten en función de sus pesos moleculares.

Proteínas del gluten	Rango pesos moleculares	Subunidades de gluteninas extraíbles	Tipos
Gliadinas	30,000–80 000		$\alpha$ $\gamma$ $\omega$
Gluteninas	80,000–varios millones	Alto peso molecular	B
		Bajo peso molecular	C D

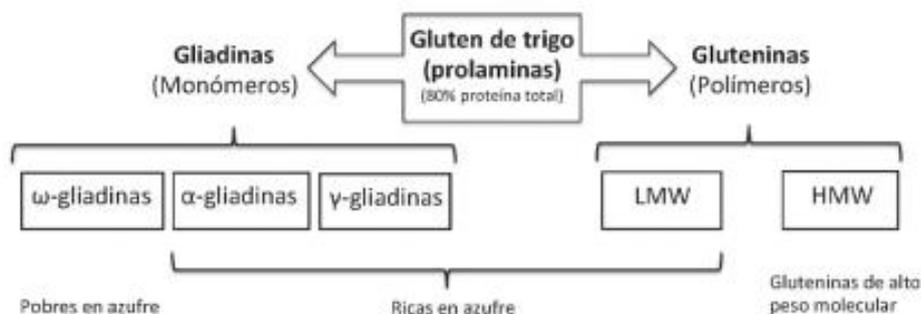
Fuente: de la Vega Ruiz (2009)

## I.4.2. Gliadinas y gluteninas

El gluten es el subproducto más importante de la industria del almidón de trigo. Esta fracción se compone en su mayoría de las principales proteínas de almacenamiento



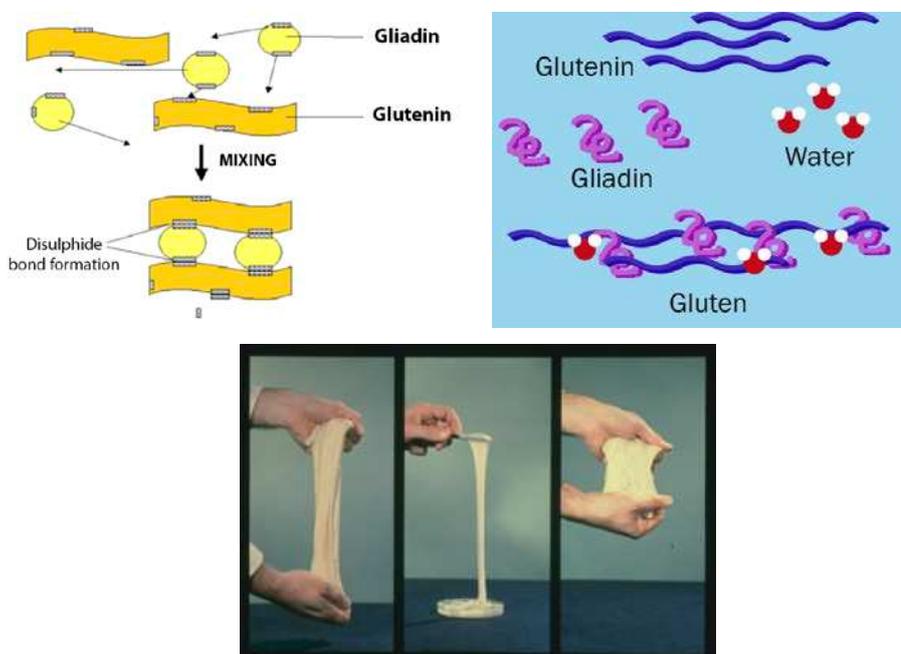
de trigo, gliadinas y gluteninas (Schofield & Booth, 1983). Estas proteínas de reserva representan el 80% de las proteínas del trigo (Wrigley & Bietz, 1988) (**Figura I.22**).



**FIGURA I.22.** Composición del gluten de trigo.

Fuente: Shewry *et al.* (1986)

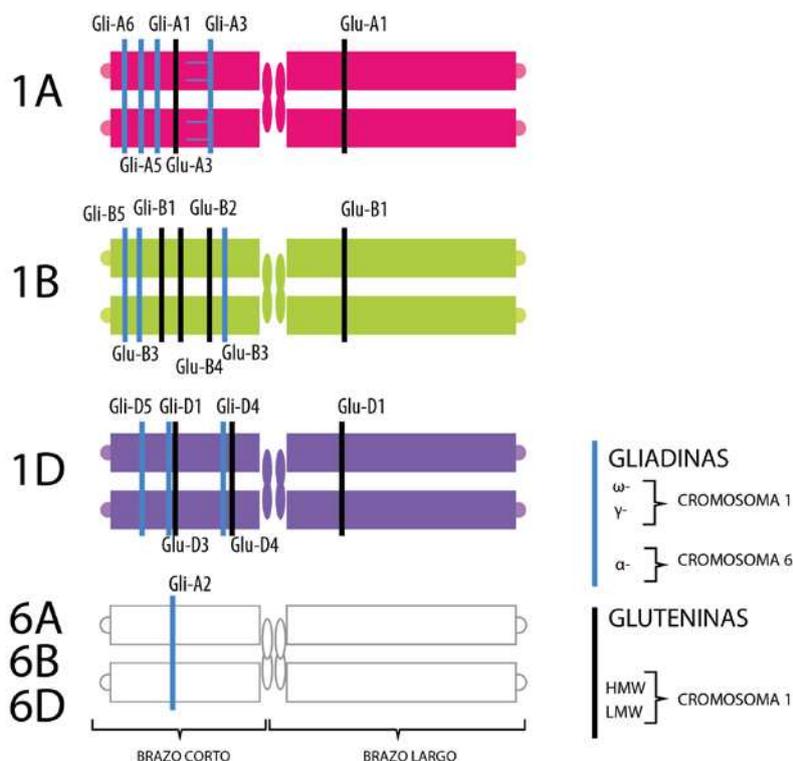
El balance entre gluteninas y gliadinas ha demostrado ser, junto con el contenido total de proteínas, un factor de gran importancia que influye en las propiedades de panificación y calidad de cocción (Gaido & Dubois, 2008). Tras la hidratación y la mezcla de la harina de trigo, las proteínas del gluten se aglomeran para formar una red fuerte, cohesionada y viscoelástica responsable del desarrollo de la masa (Auger *et al.*, 2009) (**Figura I.23**).



**FIGURA I.23.** Formación del gluten

Fuente: Slideshare (2013)

A las proteínas componentes del gluten, las gliadinas y gluteninas, se las encuentran bajo el control de los complejos de loci Gli-1 / Gli-2 y Glu-1 / Glu-3, respectivamente, localizados en los cromosomas 1 y 6 de los genomas A, B y D (**Figura I.24**) (Payne, 1987).



**FIGURA I.24.** Localización cromosómica de los loci de gluteninas y gliadinas en trigo hexaploide.

Las gluteninas de alto peso molecular se localizan en el brazo largo del grupo de los cromosomas 1. Los  $\omega$  y  $\gamma$  gliadinas se localizan en varios loci en el brazo corto del grupo de cromosomas 1 mientras las  $\alpha$  gliadinas se localizan en el brazo 6. Las gluteninas de bajo peso molecular se localizan también en el brazo corto del grupo de cromosomas 1 estrechamente ligados a los loci de las gliadinas.

Fuente: Rodrigo & Salvador Peña (2013)

Las gliadinas son responsables de darle extensibilidad y viscosidad a la masa, y las gluteninas dan la tenacidad y elasticidad (Steffolani *et al.*, 2005). Esto permite junto con la fermentación, que el pan obtenga volumen, así como la consistencia elástica y

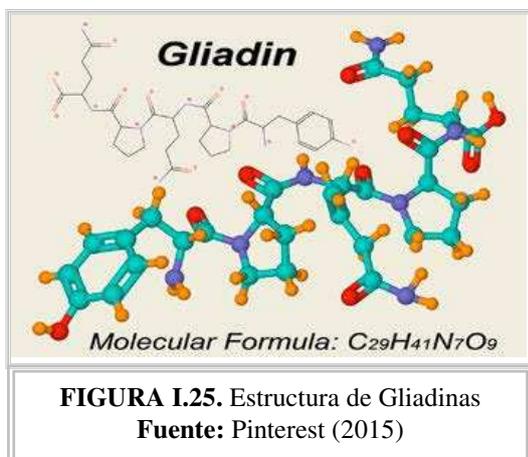
---



esponjosa. Durante el amasado, las proteínas de trigo forman una red continua (gluten) que es estabilizada por puentes disulfuro. Esta red, junto a otros componentes de la masa, ayuda a conservar el dióxido de carbono en su interior. Las gluteninas consisten en una mezcla heterogénea de polímeros, existiendo dos clases principales de subunidades, la subunidad de alto peso molecular (HMW-GS, *high molecular weight glutenin subunits*) y la subunidad de bajo peso molecular (LMG-GS, *low molecular weight glutenin subunits*) (Veraverbeke *et al.*, 2000; Goesaert *et al.*, 2005). La subunidad HMW-GS juega un rol sumamente importante en la formación del gluten y numerosos estudios han demostrado la importancia de la estructura y cantidad de estas subunidades de HMW-GS para la reología de la masa y para la calidad de la panificación de diferentes trigos (Antes & Wieser, 2001).

Las cadenas que forman el gluten interactúan entre sí o con otras sustancias (lípidos y glúcidos) formando puentes que crean una red más o menos densa. La densidad y solidez de estos puentes, como la elasticidad de la red van a determinar la capacidad que tiene la masa de fermentar o de retener el anhídrido carbónico. Las uniones que se logran son de dos tipos, las uniones peptídicas como las que se dan entre los aminoácidos y las uniones disulfuro obtenidas de la unión de dos moléculas de cisteína por deshidrogenación. Mientras que los enlaces peptídicos dependen del pH, la formación de los puentes disulfuro dependen del potencial de óxido-reducción y en particular de la presencia de oxidantes (Lagrain *et al.*, 2008).

#### I.4.2.1. Gliadinas



**FIGURA I.25.** Estructura de Gliadinas  
**Fuente:** Pinterest (2015)

Las gliadinas son monómeros (**Figura I.25**) que interactúan por fuerzas no covalentes, y están asociadas al aumento de la viscosidad y extensibilidad de la masa (Uthayakumaran & Lukow, 2005). Las gliadinas, fuera de la red proteica de la masa, se definen como los componentes proteicos de las harinas de trigo o gluten de trigo que son insolubles en agua o soluciones salinas neutras, pero soluble en

alcoholes acuosos sin reducción de los enlaces disulfuro (Zhang & Scanlon, 2011). Estas





proteínas de almacenamiento, son el principal grupo proteico del endospermo de trigo y representan alrededor del 40% del total de proteínas de los granos. Tienen una composición bioquímica heterogénea: cuatro subgrupos, gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\omega$  (Veraverbeke & Delcour, 2002). Pueden ser separadas por electroforesis en gel a pH bajo (movilidad decreciente) y por RP-HPLC. Las gliadinas contienen prolina y glutamina, pero son deficientes en lisina y glicina. En general, las gliadinas aumentan la extensibilidad de la masa y disminuyen la fuerza. Se encontraron ciertos efectos de debilitamiento relacionados con la hidrofobicidad de las diferentes subunidades de gliadinas:  $1\omega > \omega 2 \approx \beta \approx \alpha > \gamma$  en el mixógrafo y  $\omega 1 > \omega 2 \approx \alpha \approx \beta < \gamma$  en el extensógrafo. Las subunidades  $\gamma$  se asocian a menudo con el volumen del pan. Sin embargo, la calidad del grano es un rasgo complejo resultante de las interacciones entre los numerosos componentes de las proteínas. En este proceso, tanto la calidad (polimorfismo) y la cantidad de gliadinas son importantes. Así, estas proteínas pueden participar en la composición de la calidad por medio de sus propiedades intrínsecas, principalmente controlada genéticamente, y por los cambios cuantitativos de la relación entre los diferentes grupos de gliadinas (primordialmente dependientes del medio ambiente) (Daniel & Triboni, 2000). La importancia de las gliadinas y sus subgrupos, sobre la funcionalidad de la harina de trigo ha sido objeto de un debate considerable en la literatura. Algunos investigadores han sugerido que las gliadinas regulan el potencial volumen del pan mientras que otros ponen énfasis en las gluteninas como el principal determinante de la calidad del pan (Weegels *et al.*, 1996; Khatkar *et al.*, 2002; Espitia Rangel *et al.*, 2008).

#### I.4.2.2. Gluteninas

Las gluteninas son polímeros compuestos por multicadenas de alto y bajo peso molecular estabilizados por puentes disulfuro, relacionadas con la fuerza, elasticidad y el tiempo del desarrollo de la masa (**Figura I.26**). Pueden separarse en dos grupos con la base en el tamaño de los polipéptidos que forman sus polímeros: las subunidades de bajo (GS-LMW) y las de alto peso molecular (GS-HMW) (Shewry *et al.*, 2003). Las subunidades de glutenina de alto peso molecular (HMM-GS) son un grupo de proteínas de gluten



**FIGURA I.26.** Las gluteninas están relacionadas con la fuerza y elasticidad de la masa.

**Fuente:** Pallomaro (2014)





estrechamente relacionados y que juegan un papel importante en la determinación de las propiedades viscoelásticas, esenciales para la formación de masa de trigo (Robutti *et al.*, 1998).

Las gluteninas contienen glicina, prolina y glutamina, y trazas de triptófano y de aminoácidos azufrados; se encarga de la solidez formando una masa compacta y elástica. Las HMW-GS representan sólo el 40% de las proteínas de reserva de trigo (Seghezzo, 2015) y son uno de los factores genéticos más importantes para determinar la calidad tecnológica de la harina.

Las diferentes combinaciones de alelos de HMW-GS de cultivares de trigo influyen en la calidad del pan de diferentes maneras, a través de las subunidades 1 y 2 \* en el loci Glu-A1, 7 + 9 + 18 y 17 en Glu-B1 y 5 + 10 en el loci Glu-D1 (Payne *et al.*, 1981). Están relacionados con la mayor fuerza de la masa y el volumen del pan, mientras que sus variantes alélicas como el *null* (N) en el loci Glu-A1, 6 + 8 en Glu-B1 y 2 + 12 en el loci Glu-D1 tiene efectos negativos en la calidad del pan (Robutti *et al.*, 1998; Horvat *et al.*, 2009).

## MINERALES

Las cantidades de minerales (cenizas) dependen de la variedad de trigo y en la harina del grado de extracción.

El contenido de cenizas permite clasificar las harinas en función del grado de extracción (kg de harina obtenidos cada 100 kg de trigo molido). En consecuencia, un bajo contenido de cenizas en la harina indica un bajo nivel de contaminación con salvado (Barrera *et al.*, 2012). Así se establecerá que un contenido de cenizas alto corresponde a harinas de menor calidad (**Tabla I.10**).

**TABLA I.10.** Composición mineral de la harina de trigo.

Cenizas (%)	K (%)	P (%)	Mg (%)	Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	Na (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )
0,48	0,11	0,12	0,03	319,0	12,8	6,5	13,7	6,9	1,5

Fuente: Pomeranz (1988)



## LÍPIDOS

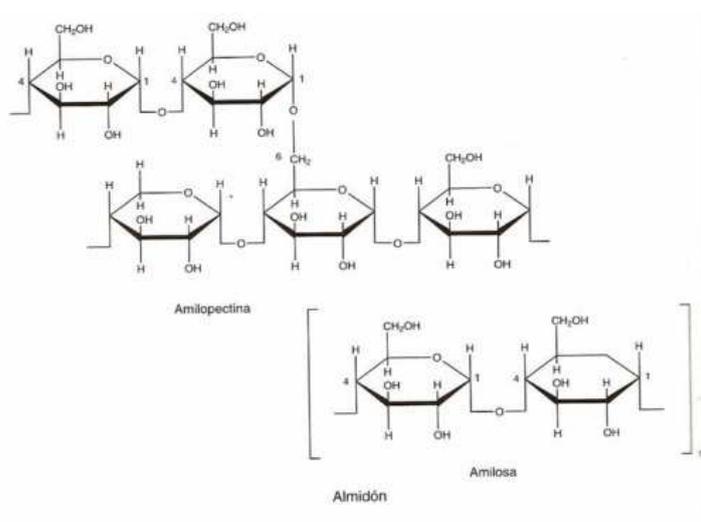
Usualmente la humedad en las harinas está dentro de un rango de 12-15%. Bajo estas condiciones, la degradación de los lípidos no es un problema en plazos cortos o medios de tiempo. Pero en contenidos mayores de humedad, ocurre una rápida hidrólisis de los lípidos debido a la proliferación de hongos. Esto baja considerablemente la calidad de la harina para la panificación (Pomeranz, 1988).

## CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos se consideran de gran importancia como fuente de energía en las dietas de la mayoría de los pueblos del mundo (Ordoñez, 2000). Existen tres principales grupos de carbohidratos: almidones (mono y disacáridos), azúcares, celulosa y sustancias relacionadas.

### - ALMIDÓN

Tanto en el grano de trigo, como en tejidos de muchos vegetales, el almidón posee como principal función ser reserva de energía (Thomas y Atwell, 1999). Está organizado en partículas denominadas gránulos. Son insolubles en agua, cuya morfología, composición química y estructura molecular son características de cada especie (BeMiller, 1993). Estructuralmente, el almidón está formado por dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina (**Figura I.27**).

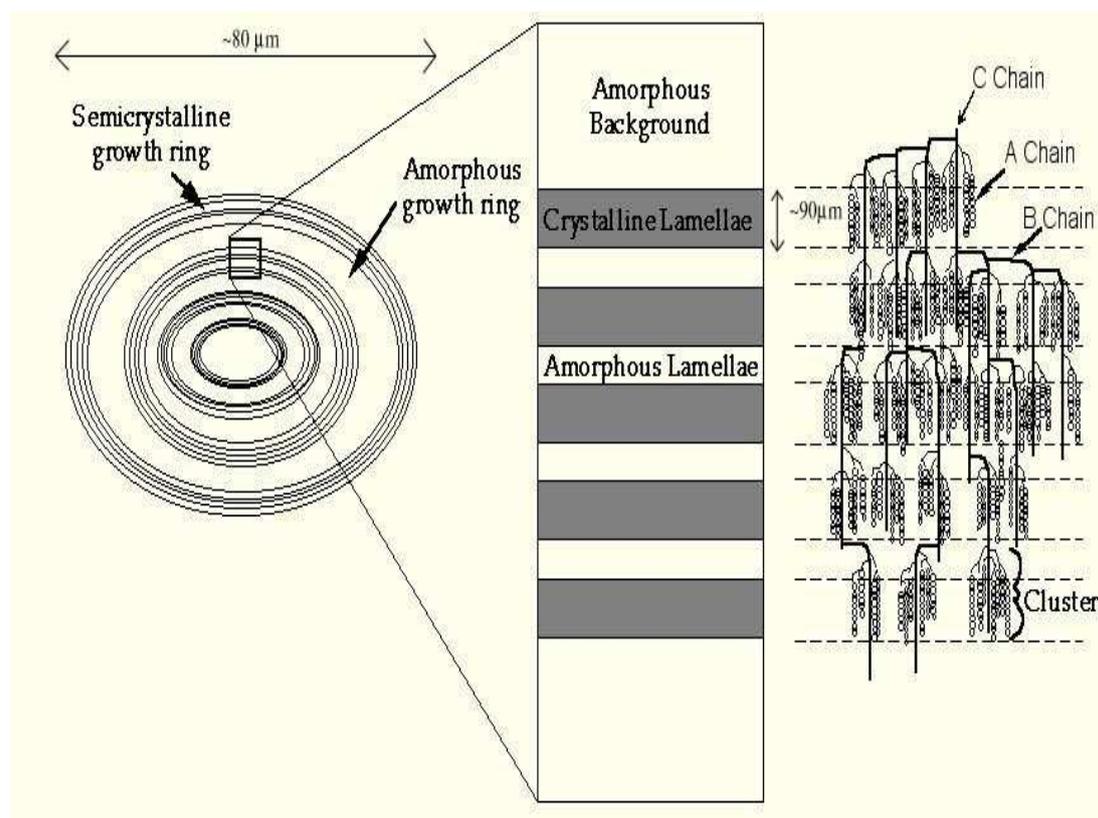


**FIGURA I.27.** Estructura química del almidón.

Fuente: La guía – Sección Química (2015)

Estas macromoléculas, interactúan entre sí a través de uniones puente de hidrógeno y con otros componentes naturales presentes como lípidos. Los gránulos de almidón son birrefringentes y muestran la característica Cruz de Malta bajo luz polarizada (Greenwood, 1976). Esto indica un grado de orden en el gránulo y una orientación de las macromoléculas perpendiculares a la superficie del gránulo.

El almidón es considerado un material semicristalino por presentar zonas amorfas (menos densas, que contienen amilosa y amilopectina desordenadas) y zonas cristalinas (ordenadas, atribuidas principalmente a la estructura de la amilopectina) (**Figura I.28**), llegando a tener entre un 20% y 40% de cristalinidad (Jenkins *et al.*, 1993; Jacobs & Delcour, 1998).

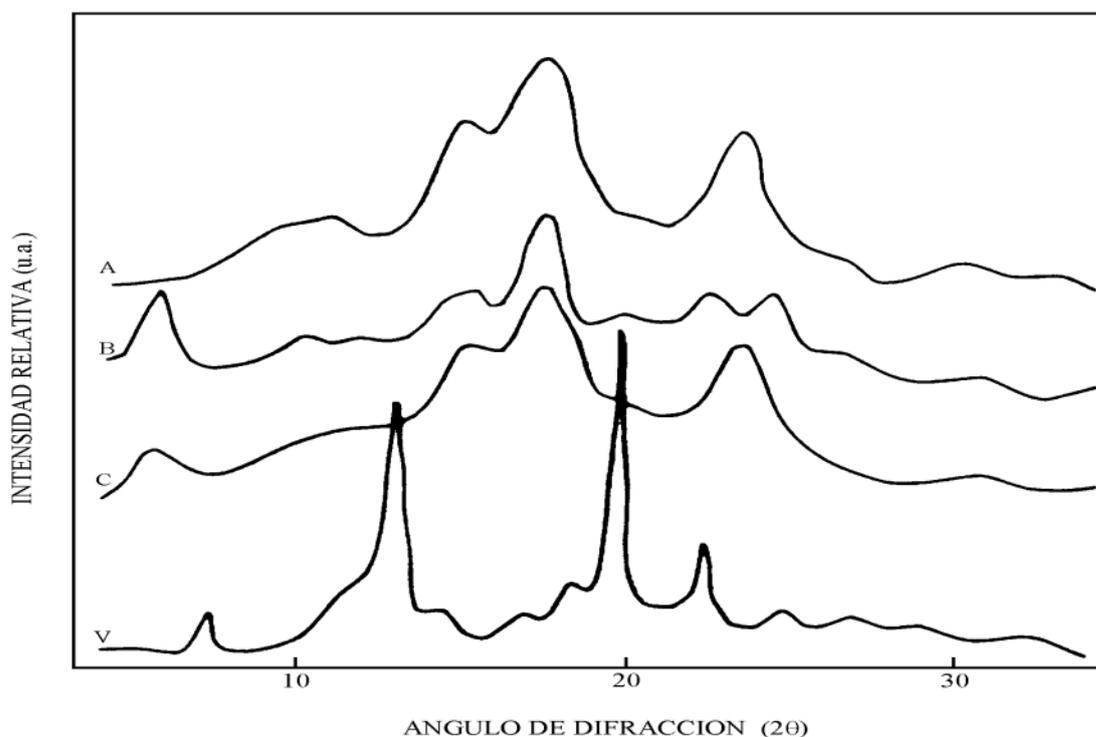


**FIGURA I.28.** Estructura del gránulo de almidón y organización molecular de los componentes del gránulo de almidón.

Fuente: Averous (2015)

### Características del almidón:

- ❖ *Los gránulos de almidón son parcialmente cristalinos y parcialmente amorfos.*
- ❖ *El carácter cristalino proviene de la organización de las moléculas de amilopeptina dentro del gránulo.*
- ❖ *Los gránulos intactos dan tres tipos de patrones de Rayos X, designados como A, B y C (Figura I.29).*



**FIGURA I.29.** Diffractograma de: almidones de diferentes fuentes botánicas de cereales (A), tubérculos (B), raíces y semillas (C). Patrón característico que se da en un complejo inclusión o clatrato formado en el interior de la hélice de la amilosa (V).

Fuente: Rodríguez *et al.* (2001).

La relación entre estructuras amorfas y cristalinas dan como resultado un patrón típico de difracción de rayos X que puede ser utilizado para diferenciar almidones (Bello-Pérez *et al.*, 2005). En la actualidad, se conoce que los almidones de cereales presentan un patrón cristalino tipo A que poseen las dobles hélices densamente empacadas en la celda unitaria. Los almidones de los tubérculos dan un patrón tipo B (celda hexagonal),



en el cual, las dobles hélices empacadas en modo paralelo están combinadas con la estructura del agua. Los almidones de ciertas raíces y semillas presentan un patrón tipo C, y se cree que es una mezcla intermedia del patrón A y B. Otro tipo de patrón es el V, característico por la formación de un complejo de inclusión o clatrato en el interior de la amilosa (Rodríguez *et al.*, 2001).

- **Amilosa:** polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual pueden estar presentes algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) y compone alrededor del 20% del almidón. Es una molécula no soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon & Grove, 1994).

- **Amilopectina:** compone mayoritariamente el almidón y es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan & Hanna, 2004).

De manera seguida, la **Tabla I.11** presenta las características de la amilosa y la amilopectina.

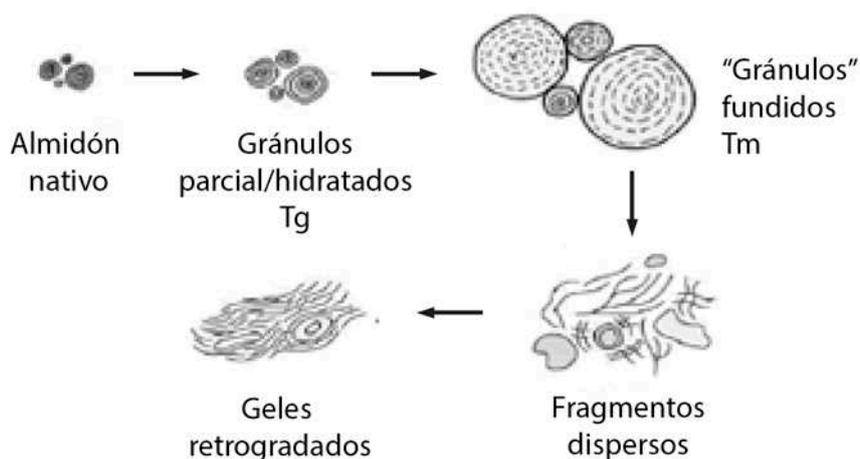
**TABLA I.11.** Características de la amilosa y la amilopectina.

	AMILOSA	AMILOPECTINA
<i>Forma</i>	Lineal	Ramificada
<i>Unión</i>	$\alpha$ - 1,4	$\alpha$ - 1,4 y $\alpha$ - 1,6
<i>Peso molecular</i>	<500.000	50 – 500 (x 10 <sup>6</sup> )
<i>Formación de gel</i>	Firme	No forma o débil
<i>Color con Yodo</i>	Azul	Marrón rojizo



Numerosas características funcionales del almidón pueden ser relacionadas a interacciones con el agua en los procesos como gelatinización y retrogradación. Cuando el almidón es calentado en presencia de agua, los gránulos se hinchan y embeben, rompiéndose de esta manera las uniones puentes de hidrógeno, con la eventual pérdida irreversible de la estructura cristalina (gelatinización), pérdida de la Cruz de Malta. El rango de temperatura de aproximadamente 10° C al cual se pierde la cristalinidad, es la denominada temperatura de gelatinización. En el enfriamiento, tanto la amilosa como la amilopectina, interactúan en el proceso de retrogradación. Sin embargo, en el caso de las estructuras de amilopectina que son más ramificadas, forman asociaciones y geles más débiles. Cuando varía el contenido de amilosa, sugiere que las harinas difieren en las características de *pasting* y dureza del gel. Geles más duros se asocian con niveles más altos de amilosa y textura de grano más blanda (Zeng *et al.*, 1997).

El gránulo de almidón es considerado como un polímero vítreo, el cual existe en estado vítreo hasta que por calentamiento alcanza la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ : temperatura de gelificación) donde las moléculas pierden su organización y el polímero se vuelve gomoso. Con calentamiento adicional eventualmente alcanza la temperatura de fusión ( $T_m$ ), aquí el gránulo pierde su organización por completo (**Figura I.30**) (Rooney & Huang, 2001). Es el caso de la extrusión.



**FIGURA I.30.** Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua.

Fuente: Rooney & Huang (2001)



El gránulo se puede hallar en la harina de dos maneras: dañado o intacto. Esta característica del almidón es de importancia en la elaboración del pan. El almidón dañado depende de la variedad del trigo utilizada y las condiciones de molturación (velocidad y tipos de superficie de cilindros). Posee la característica de absorber más cantidad de agua con mayor rapidez, lo que se refleja en un aumento del rendimiento panadero. Además en el caso de pan tipo Francés es necesario para proveer azúcares fermentables. Al estar dañado, puede penetrar el agua a temperatura ambiente (temperatura de fermentación: 27° C), por lo tanto también pueden penetrar las enzimas amilolíticas que van a producir maltosa (Sánchez *et al.*, 1983).

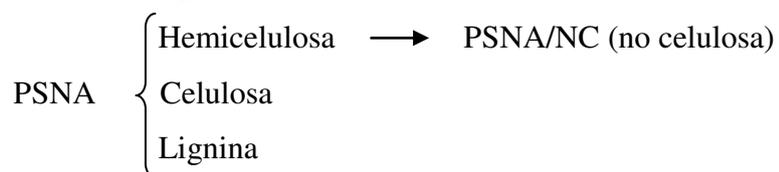
### - AZÚCARES

Las harinas presentan cantidades pequeñas de azúcares naturales pero aptas para su uso como sustrato por las levaduras en procesos no prolongados de fermentación de las masas. Se hallan en mayor cantidad como sacarosa, aunque también existen menor proporción de azúcares reductores, entre ellas la glucosa (1%) (**Tabla I.12**). A pesar de su pequeña cantidad, juegan un papel muy importante en la panificación ya que proveen sustrato para las levaduras e intervienen en la coloración de la corteza (Reacción de Maillard).

### - ELEMENTOS CELULÓSICOS (PSNA)

El incremento de los elementos celulósicos es proporcional al grado de molienda ya que la celulosa se encuentra asociada a hemicelulosas. En la harina se encuentran en 2-3% cumpliendo un papel muy importante en los proceso de panificación.

Viscosidad/ formación de gel:



Hemicelulosa: forman cadenas cortas y son polímeros heterogéneos que contienen tanto hexosas (glucosa, manosa y galactosa) como pentosas (xilosa y arabinosa).





**TABLA I.12.** Azúcares presentes en endospermo y capa de aleurona en especies de trigo y cebada.

<i>Azúcar</i>	<i>Trigo</i>		<i>Cebada</i>	
	<i>Endospermo</i>	<i>Aleurona</i>	<i>Endospermo</i>	<i>Aleurona</i>
Arabinosa	34,5	20	11	27
Xilosa	63,5	60	14	54
Manosa	2,0			
Galactosa		2		1
Glucosa		18	75	17

Fuente: Osella (2015)

El arabinoxilano es un pentosano que consiste en unidades de D-xilosa conectados por enlaces  $\beta$ -1-4 y L-arabinofuranosa (L-arabinosa en su estructura pentagonal) distribuidas al azar con enlaces  $\alpha$ -1-2 y  $\alpha$ -1-3 a lo largo de la cadena de xilosas.

## VITAMINAS

La presencia de las vitaminas se aumenta en la medida que el grado de extracción de la harina se incrementa, esto se debe a que la mayor concentración de este componente se localiza en las capas externas del grano y el germen.

## I.5. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE HARINAS

Las harinas pueden variar considerablemente en su contenido de proteína, cenizas, color, etc. Es necesario que los cambios de estas características de una harina a otra sea conocida primero por los industriales panaderos que elaboran y hornean el pan, los pasteles, las tortas y demás productos de pastelería (Pylar, 1973b).

Para evaluar la calidad industrial del trigo se consideran las características del grano, el comportamiento en la molienda, valores analíticos, curvas farinográficas, alveográficas y cualidades panaderas que en conjunto determinan la calidad de un trigo.





Para evaluar la calidad del trigo, son importantes y a tener en cuenta las “características del grano”. A un peso hectolítrico bajo corresponde una molienda pobre, bajo rendimiento de harina y de inferior calidad.

Otro aspecto es el “comportamiento en la molienda”, cuya importancia radica dentro del criterio de calidad. Los granos con baja proporción de extracción de harina o alto contenido de cenizas en las mismas, generan un problema desde el punto de vista molinero. Hay variedades que presentan menor contenido de cenizas en el grano y por lo tanto en la harina, a pesar de la variación de ambientes, como también se sabe que ciertas zonas favorecen la acumulación de mayor cantidad de minerales.

La calidad panadera es determinada en gran proporción por la “cantidad y calidad de las proteínas”. Existen pruebas indirectas de calidad, a través de ciertos análisis reológicos como determinación de alveogramas y farinogramas que generan información para valorar ciertos comportamientos de esta durante el amasado. La absorción de agua de la harina, tiempo de amasado, aspecto de la masa, volumen de pan, porosidad y blancura de la miga. Todas estas características constituyen el valor panadero de un trigo, siendo algunas valoradas en forma subjetiva y otras por medio de aparatos. El volumen del pan constituye uno de los factores más importantes de la fuerza potencial de la harina, porque demuestra la capacidad de expansión del gluten por medio de la gasificación producida por la levadura en contacto con los azúcares y, al mismo tiempo, la capacidad de mantener este gas durante todo el tiempo de dicha expansión.

Trigos que generan bajo volumen de panificación o gran volumen pero con grandes alvéolos en su interior, no son deseables porque son evidencias de que son harinas débiles (Trigo Argentino, 2002). Es importante conocer el contenido proteico de la harina porque a un bajo nivel de éste, habrá menos expansión y volumen final, lo que no es atribuible sólo a la calidad sino también a la cantidad de proteínas de reserva del grano de trigo (Cuniberti, 2001).

Una masa muy tenaz opone demasiada resistencia a la expansión dada por la presión de los gases y da un volumen bajo. En todos los casos es conveniente incluir una muestra patrón o variedad testigo de buena calidad panadera como estándar para que sirva como base de comparación de los distintos aspectos de panificación.

La *performance* panadera de la harina se determina por las propiedades físicas de la masa (absorción de agua, estabilidad al amasado, el volumen del pan obtenido, el color



---



de la miga y la corteza) (Osella *et al.*, 2008). La calidad sensorial, sin embargo, sigue siendo el criterio último para la aceptación de los productos de panadería (Jensen *et al.*, 2011). Especialmente el pan Francés se caracteriza típicamente por una corteza crujiente de 3-4 mm, y estructura de miga con alvéolos grandes y chicos distribuidos heterogéneamente, un buen sabor, un alto volumen específico ( $\text{ml.g}^{-1}$ ) (Baardseth *et al.*, 2000).

## I.6. ADITIVOS

En la actualidad, la calidad de materia prima y procesos industriales en la producción de alimentos son un área a mejorar. El incremento de demanda de productos diferenciados a nivel mundial, hace que sea necesario trabajar en el ascenso de calidad de los mismos (SAGPYA, 2010).

En todo el mundo, como en Argentina, las diferentes legislaciones alimentarias tienen por objeto preservar la salud de los consumidores: la filosofía de las mismas es la de prevenir enfermedades de transmisión alimentaria y/u otros riesgos para la salud humana y, también, establecer reglas y definiciones para la comercialización de los productos alimenticios en los distintos países (SAGPYA, 2010). En nuestro país, la legislación alimentaria se encuentra establecida en el CAA, reglamentado por la Ley Nacional 18.254 de carácter obligatorio.

Según el CAA, en su Capítulo I, Art. N°5, los aditivos se definen de la siguiente manera:

Aditivo alimentario: cualquier sustancia o mezcla de sustancias que directa o indirectamente modifiquen las características físicas, químicas o biológicas de un alimento, a los efectos de su mejoramiento, preservación, o estabilización, siempre que:

- a) Sean inocuos por sí mismos o a través de su acción como aditivos en las condiciones de uso.
- b) Su empleo se justifique por razones tecnológicas, sanitarias, nutricionales o psicosensoriales necesarias.
- c) Respondan a las exigencias de designación y de pureza que establezca este Código.





Para que el proceso de producción de pan y sus propiedades sean satisfactorios, es fundamental un apropiado desarrollo del gluten. El punto óptimo de desarrollo de gluten es difícil alcanzar, ya que varía con el tipo de harina usada y es influenciada por factores adicionales como temperatura de masa, velocidad de amasado, absorción de agua, tipo y cantidad de oxidantes, enzimas suplementarias, etc. (Pylar, 1973b).

Permanentemente se lanzan al mercado nuevos aditivos que tienden a mejorar la calidad y a aumentar la vida útil de los productos de panificación. La conservación de este tipo de productos es un problema que ha merecido la atención y ha sido abordado de diferentes formas que involucran los cambios en la formulación, agregado de aditivos, uso de bajas temperaturas, envases adecuados. Existe una discusión sobre el mecanismo responsable del endurecimiento del pan, con las derivaciones tecnológicas que cada propuesta conlleva (Defloor & Delcour, 1999; Durán *et al.*, 2001).

Los agentes mejoradores son agentes oxidantes y reductores, enzimas, grasas, emulsionantes y otros (Fitchett & Frazier, 1986). Se ha tratado de comprender la función que cumplen los aditivos comúnmente usados en la industria panadera. A través de los mismos se producen efectos físicos como químicos en su estructura (Guardaa *et al.*, 2004). En Argentina, hace 15 años (1998) se prohibió la utilización de bromato de potasio como aditivo para la harina en la fabricación de panificados. Esta medida tuvo fundamento en que es cancerígeno y han ocurrido aplicaciones accidentales de dosis mayores a las correspondientes, causando problemas de salud en los consumidores, incluso provocando la muerte (Ribotta *et al.*, 1999; Velich *et al.*, 2004; Vega *et al.*, 2010).

Las harinas de trigo y las de centeno en menor grado, son las únicas que resultan panificables. La evaluación de la calidad de la harina de trigo es de gran importancia para la industria panificadora. Los parámetros generales de calidad de la harina son: porcentaje de proteína, cantidad y calidad del gluten, actividad enzimática (medida como *falling number*), contenidos de cenizas y granulometría, entre otros.

Si bien no es necesario que la harina de trigo comercializada en supermercados tenga la *performance* tecnológica de la harina industrial, ya que es sólo de uso hogareño, debe presentar características químicas y tecnológicas similares a ésta.





Las propiedades únicas de la harina de trigo de formar una masa viscoelástica al ser mezclada con agua se deben a las características de las proteínas, gliadinas y gluteninas, presentes en el grano. Estas proteínas son capaces de absorber prácticamente dos veces su peso en agua y de constituir una red deformable, elástica y extensible capaz de retener CO<sub>2</sub> durante la fermentación y posterior cocción. Una harina de trigo de buena calidad panadera no debería necesitar de aditivos para lograr un producto de buen volumen, textura y aspecto (Steffolani *et al.*, 2005). Sin embargo, muchas veces se requiere del uso de aditivos de diversos tipos para mejorar el rendimiento de harinas de calidades inferiores (Linlaud *et al.*, 2006).

La competencia que existe actualmente en el mercado, fuerza a los productores a buscar alternativas tecnológicas y de formulación que permiten disminuir los costos de producción, al tiempo que deben atender a las variaciones climáticas que ocurren año a año y la aparición de un gran número de patrones de consumos novedosos.

Permanentemente se lanzan al mercado nuevos aditivos que tienden a mejorar la calidad y a aumentar la conservación de los productos de panificación. La conservación de estos panificados es un problema que ha merecido atención y ha sido abordado de diferentes formas (Luna Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

Está demostrado que con el agregado de ciertos aditivos podemos modificar propiedades mecánicas de la masa. Por lo tanto, sabiendo cuáles son esos cambios, se usan en beneficio de la obtención de una mejor panificación.

Los agentes oxidantes y reductores afectan las propiedades mecánicas de la masa o del gluten muy fuertemente modificando el estado redox de los grupos sulfhidrilos (SH) y puentes disulfuro (SS) (Larré *et al.*, 2000).

Cuando se le agrega agentes oxidantes, se espera una masa menos pegajosa con incremento en su elasticidad. El pan resultante de esa masa tiene textura más alveolada y por lo tanto buen volumen (Quaglia, 1991).

En caso de agregados de enzimas (por lo general cada una con mecanismos diferentes) resultan favoreciendo a la masa aumentando la extensibilidad del gluten (Wang *et al.*, 2005). Del agregado de aditivos se obtendrían beneficios siempre dentro de las dosis recomendadas, ya que en déficit o exceso de aditivo los resultados no serían óptimos.



## I.6.1. Oxidantes

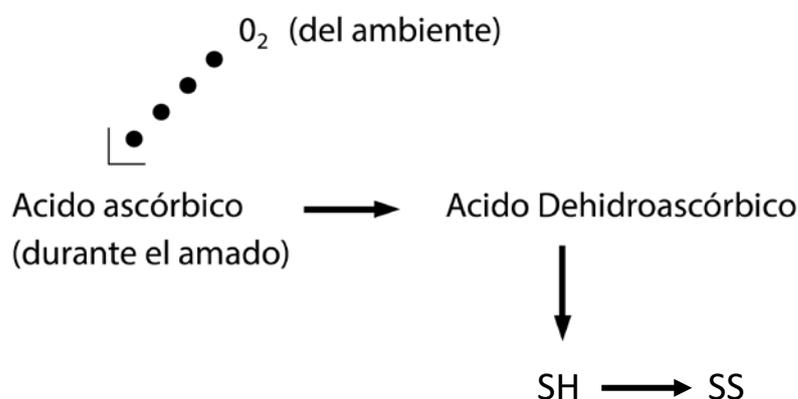
Las sustancias oxidantes se utilizan para mejorar características físicas. Actúan durante el amasado y favorecen la reestructuración de los enlaces presentes en las proteínas (Quaglia, 1991; Dong & Hosney, 1995). En general estas sustancias oxidantes se adicionan en concentraciones establecidas y sus funciones son:

- Reforzar las propiedades mecánicas del gluten.
- Aumentar la capacidad de retención de CO<sub>2</sub>, con lo que se obtienen panes con mayor volumen, mejores alvéolos y una miga más uniforme.

### I.6.1.1. Ácido Ascórbico (AA)

Fue introducido en 1935 por Jorgensen, debido a los efectos positivos sobre la harina y es tipificado como E-300. En la actualidad es el agente oxidante más importante que se usa en el mundo (Alimentaria on line, 2004). Se encuentra detallado en el Artículo 1398 del Código Alimentario Argentino (Capítulo XVIII – Aditivos Alimentarios).

Las mejoras que generan los oxidantes se atribuyen a la generación de uniones disulfuro en la red del gluten (Miller & Hosney, 1999). El ácido ascórbico reacciona en presencia de la enzima ácido-ascórbicooxidasa de la harina, con pérdida de dos átomos de hidrógeno y formación de agua y ácido dehidroascórbico que es el agente oxidante que genera el aumento de elasticidad en la masa (**Figura I.31**) (Lu & Seib, 1998; Kaid *et al.*, 1997; Alasino *et al.*, 2011a).



**FIGURA I.31.** Reacción del ácido ascórbico durante el amasado.

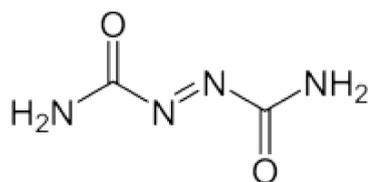
Fuente: Alimentaria on line (2004)

Su uso es difundido a nivel mundial, y la dosis es seleccionada considerando tanto la calidad de la harina como la calidad del gluten. De esta manera si el gluten es fuerte y tenaz, se dosifica en menor cantidad que si el gluten es blando y elástico. También se tiene en cuenta la forma tradicional de preparar la masa del pan.

El ácido ascórbico está implicado en la amplificación del proceso de oxidación que tiene lugar en la masa y tiene como objetivo el fortalecimiento de la red del gluten. Su adición se refleja en una mayor resistencia de la masa, aumentando la capacidad de retención de gas CO<sub>2</sub> (Codinã, 2008) y en la reducción de su extensibilidad.

### 1.6.1.2. Azodicarbonamida (ADA)

Otro mejorador oxidante de más reciente aplicación es la azodicarbonamida (ADA) (**Figura I.32**). Fue introducido en 1962 bajo el nombre de “Maturox”.



**FIGURA I.32.** Estructura química de la Azodicarbonamida (ADA).

Fuente: Ayalogic (2012)

Es de acción rápida pese a ser insoluble en agua y es recomendado en reemplazo de otros oxidantes como el bromato de potasio, prohibido en Argentina como se citó con anterioridad, y el iodato de potasio. Actúa como oxidante de los grupos sulfidrilos (SH) a disulfuro (SS). Esta reacción deja residuos no agresivos al resto del sistema que constituye la masa y genera un fortalecimiento de la masa al igual que el ácido ascórbico (Fitchett & Frazier, 1986). La conversión de SH en SS se realiza de manera extremadamente rápida. Así se fortalece la masa y deja un residuo aceptable, la biurea. A diferencia de otros mejoradores, ADA no destruye las vitaminas de la harina.

## 1.6.2. Enzimas

Se encuentran definidas en los artículos 1261, 1262 y 1263 del Capítulo XVI del C.A.A.: “Correctivos y Coadyuvantes”. Las enzimas son catalizadores orgánicos de naturaleza proteica, termolábiles, de alto peso molecular, específicos, producidos por un ser vivo y que pueden actuar dentro o fuera del organismo que los produce.



Durante mucho tiempo se creyó que las únicas enzimas que podían utilizarse en la industria molinera eran la  $\alpha$  y la  $\beta$ -amilasa (Popper *et al.*, 2007), pero existen otras enzimas permitidas que logran buenos resultados en determinadas aplicaciones tanto en el mejoramiento de las características de las harinas como en los productos panificados en cuanto al volumen y aspecto organoléptico.

A continuación se presentan en la **Tabla I.13** algunas enzimas sugeridas para generar efecto mejorador sobre las harinas y el pan.

**TABLA I.13.** Enzimas sugeridas para mejorar harinas y productos panificados.

<b>Enzimas</b>	<b>Efecto pretendido</b>
$\alpha$ -amilasa, fungal	Suministro de energía para la levadura
$\alpha$ -amilasa, bacteriana	Licuefacción
Amiloglucosidasa	Suministro de energía, color, sabor
Glucotransferasa	Retención de agua
Celulasa	Retención de agua
Esterasa de ácido ferúlico y cumárico	Estructura de la masa, retención de agua
Glutación oxidasa	Refuerzo de las proteínas
Glicolipasa, galactolipasa	Estabilidad de la masa y rendimiento de volumen
$\beta$ -glucanasa	Estructura, licuefacción
Glucosa oxidasa, galactosa oxidasa, hexosa oxidasa	Refuerzo de las proteínas
Xilanasas, hemicelulosa, pentosanasa	Estructura de la masa, retención de agua, rendimiento de volumen
Lacasa, polifenol oxidasa	Reforzamiento de la masa
Lipasa	Sabor, emulsificación, estabilidad de la masa y rendimiento de volumen
Lipoxigenasa, lipoxidasa	Estructura de la masa, decoloración
Exopeptidasa	Color, sabor
Peroxidasa	Reforzamiento de las proteínas
Fosfolipasa	Estructura porosa y rendimiento de volumen
Proteasa, proteinasa	Relajación de las proteínas, licuefacción
Pululanasa	Estructura, retención de agua
Sulfidril oxidasa	Reforzamiento de las proteínas
Sulfidril transferasa	Reforzamiento de las proteínas

Fuente: Popper (2005)

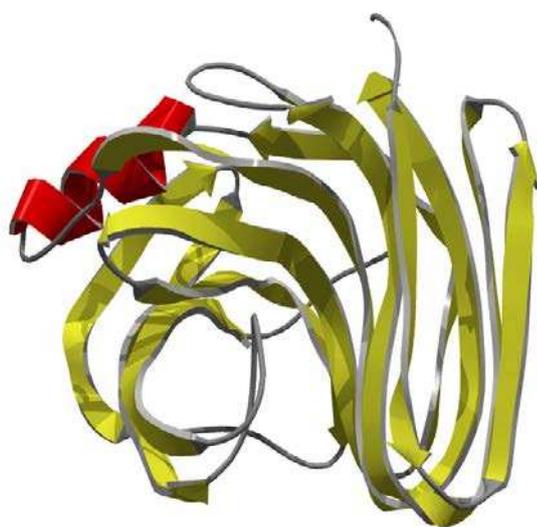


### 1.6.2.1. Xilanasas (XI)

En las últimas décadas, el uso y aplicación de enzimas xilanasas ha manifestado un importante aumento debido a los potenciales efectos beneficiosos en la elaboración del pan.

Las acciones positivas de la aplicación de estas enzimas, están vinculadas con la transformación de la hemicelulosa insoluble en agua a su forma soluble. Esto tendría efecto favorables sobre el incremento de la viscosidad, que se refleja sobre una disminución de la firmeza, como también aumentando el volumen de la masa obtenida, con migas que presentan mayor uniformidad (Rouau *et al.*, 1994; Butt *et al.*, 2008, Osella *et al.*, 2013).

En rojo se muestran las  $\alpha$ -hélices, en amarillo las cadenas  $\beta$  y en gris la zona sin estructura secundaria definida (Polaina, 2004) (**Figura I.33**).

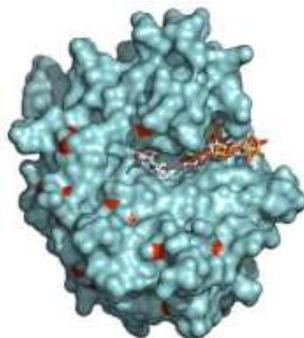


**FIGURA I.33.**

Estructura tridimensional de la xilanasas A de *Bacillus circulans*.

Fuente: Polaina (2004)

El xilano (**Figura I.34**) es el polisacárido más representativo de todos los que componen la hemicelulosa de la pared celular de las plantas (Brownell, 1970; De Vries & Visser, 2001; Axelsson & Lindström, 2004).

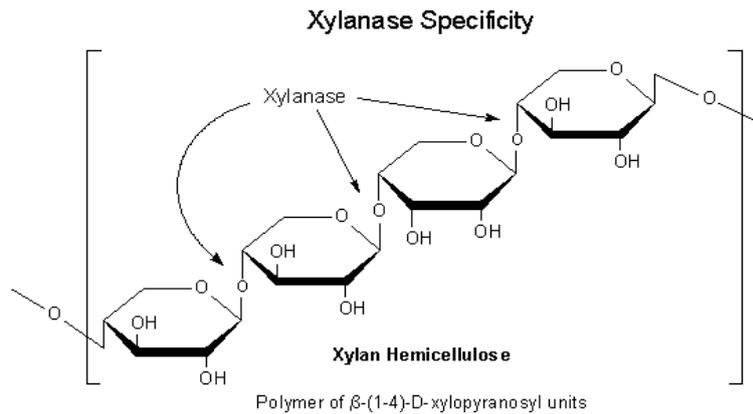


**FIGURA I.34.** Estructura tridimensional de xilano.

Fuente: Universidad de Barcelona (2010)

Los arabinoxilanos pertenecen al grupo de las hemicelulosas y están formados por una cadena principal de residuos de xilosa unidos por enlaces  $\beta$ -1,4 a la que se unen ramificaciones laterales de L-arabinofuranosa (Jiménez López, 1999). Se pueden clasificar como arabinoxilanos de agua extraíbles (WE-AX) y arabinoxilanos de agua no extraíble (WU-AX). A pesar de que se encuentran en pequeñas cantidades en la harina de trigo, estos polisacáridos afectan en gran medida a las características de la masa debido a sus propiedades fisicoquímicas. Se ha reportado que los WE-AX son beneficiosos en los productos de panadería, mientras que los WU-AX tienen efectos negativos (Courtin & Delcour, 2002). De acuerdo con Wang *et al.* (2003), el efecto negativo de los WU-AX están relacionados con su interferencia en la formación de redes del gluten. Además de competir por el agua que está disponible para el desarrollo de la red de gluten, los WU-AX desestabilizan las celdas de gas mediante la formación de barreras físicas en la red de gluten durante el desarrollo de masa (Goesaert *et al.*, 2005).

Los productos de hidrólisis por degradación enzimática de la xilanasa (**Figura I.35**) tienen la capacidad de afectar positivamente las propiedades de la masa mejorando su maquinabilidad, además de producir aumento del volumen de la pieza panaria y retardo del envejecimiento (Caballero *et al.*, 2007). Para incrementar el porcentaje de solubilización de los arabinoxilanos se pueden realizar tratamientos con sustancias con características alcalinas (NaOH, Ba (OH)<sub>2</sub>, KOH) o bien con endoxilanasas, las cuales catalizan la degradación del xilano, hidrolizando los enlaces glicosídicos  $\beta$ -1,4 de las cadenas de xilosa (Courtin & Delcour, 2002).

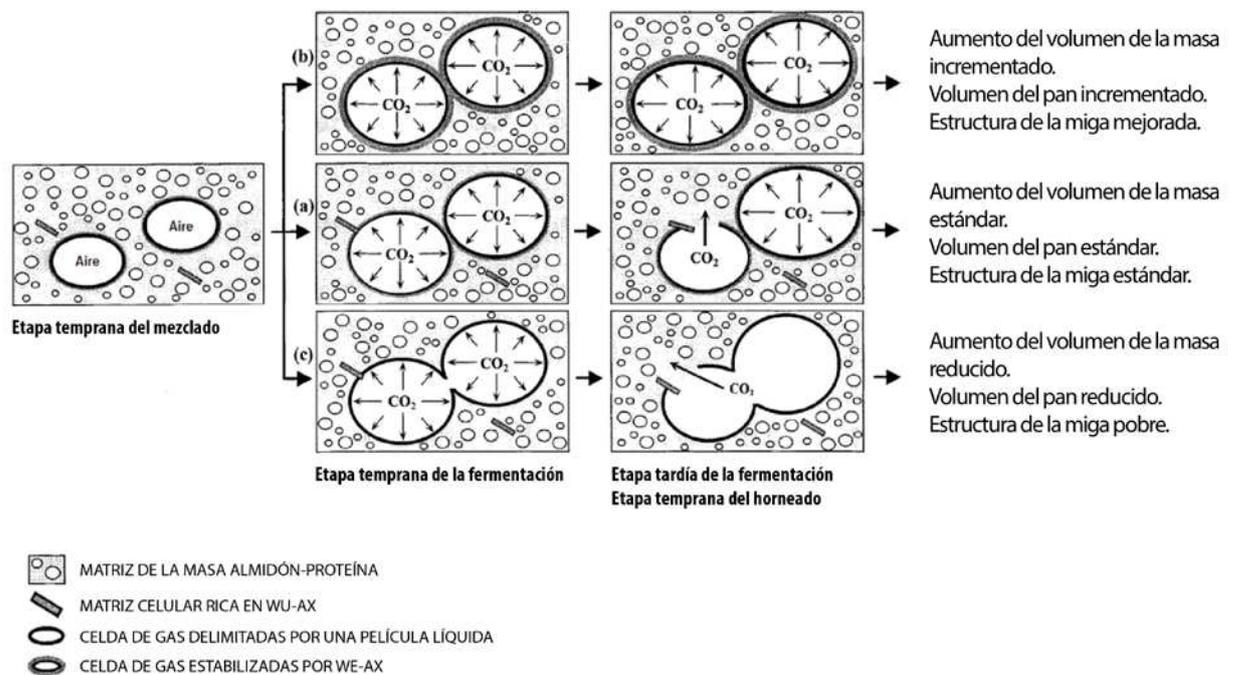


**FIGURA I.35.** Representación de la acción de la enzima xilanasa sobre los enlaces del xilano de la hemicelulosa.

Fuente: Sigma Aldrich (2015)

La importancia de estas enzimas a nivel industrial radica en la capacidad de degradar dicho polisacárido (xilano).

La **Figura I.36** representa a través de un esquema los efectos de la adición de endoxilanasas en el proceso de la panificación.



**FIGURA I.36.** Mecanismo de acción de las endoxilanasas durante la panificación.

Fuente: Courtin & Delcour (2002)

---



En el modelo (a) se representa la panificación sin enzima añadida. Presenta poca estabilización en las películas líquidas por los WE-AX y un impacto desfavorable en las celdas de gas de WU-AX.

El modelo (b) representa la situación cuando se añade endoxilanasas con selectividad por los WU-AX. Los WU-AX se solubilizan y se incrementa la cantidad de WE-AX/ES-AX. La coalescencia se retrasa.

En el modelo (c) queda esquematizado cuando una xilanasas con selectividad por WE-AX. Los WE-AX son ampliamente hidrolizados, lo que resulta en una disminución de la estabilización y el aumento de la coalescencia en las celdas de gas, en comparación con la situación testigo (a), generando un efecto negativo permanente (Courtin & Delcour, 2002).

Las mismas mejoran el rendimiento en panadería y la acción mejoradora de las xilanasas radica en la destrucción de la capacidad de enlace del agua con los xilanos de la harina de trigo, causando una redistribución del agua desde los pentosanos al gluten y la fase de almidón, haciendo la masa más floja y suave. En conjunto con la amilasa refuerza la estructura de red que forma el gluten aumentando la tenacidad de la masa e incrementando el volumen de la masa horneada.

### **I.6.3. Naturales**

#### **1.6.3.1. $\beta$ -glucanos**

Existe una tendencia a nuevos ingredientes que deben cumplir con los requerimientos nutricionales, energéticos, también de seguridad de los consumidores y cumplir con la legislación. Un desafío adicional es encontrar que estos ingredientes innovadores sean rentables y sostenibles.

La levadura es un importante subproducto generado a partir de la industria cervecera. Es una valiosa fuente de fibra barata, tanto para la industria como para el consumidor, que aporta principalmente  $\beta$ -glucanos (Aimanianda *et al.*, 2009; Petravic-Tominac *et al.*, 2011), vitaminas y cromo (Ferreira *et al.*, 2010).

$\beta$ -glucanos son fibras solubles y fermentables que, una vez en el intestino puede

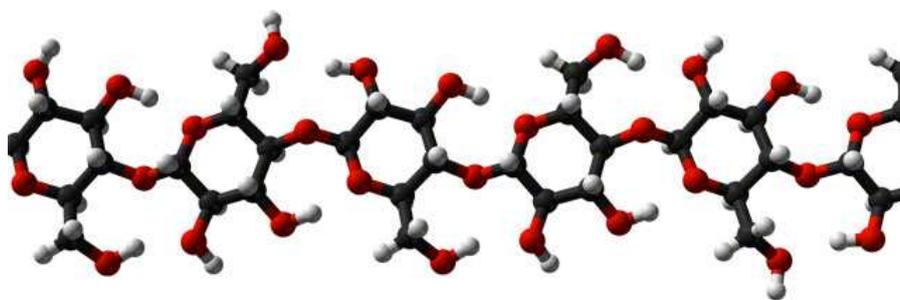


---



componer soluciones altamente viscosas que resultan ventajosas para la resistencia a la insulina, dislipidemia, hipertensión y obesidad. Por lo tanto, estas fibras pueden ser útiles en la industria de la alimentación, aumentar el contenido de fibra de los alimentos y mejorar sus propiedades para la salud. También, son un importante componente en panadería y elaboración la levadura de la cerveza.

Los  $\beta$ -glucanos son polisacáridos de cadena larga y son insolubles en agua. Están presentes de forma natural en las paredes celulares de los granos de cereales (avena y cebada especialmente) y también en hongos y levaduras. La estructura de los  $\beta$ -glucanos depende del origen botánico (**Figura I.37**).



**FIGURA I.37.** Estructura tridimensional de  $\beta$ -glucanos.

Fuente: Goodcrieff (2015)

Se componen de  $\beta$ -1,3 y  $\beta$ -1,6 vinculados polímeros de glucosa (Kittisuban *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2015) mientras que los cereales tienen (1-3) (1-4)  $\beta$ -glucanos. Numerosos estudios han demostrado que los  $\beta$ -glucanos de hongos ejercen efectos beneficiosos para la salud, como la reducción del colesterol, efectos antitumorales e inmunomoduladores, dependientes de su concentración, peso molecular y solubilidad (Ronda *et al.*, 2012).

Los  $\beta$ -glucanos son capaces de modular la inmunidad de la mucosa del tracto intestinal, facilitar la motilidad intestinal, entre otros problemas intestinales (Volman *et al.*, 2008). También,  $\beta$ -glucano (1-3) ha demostrado la capacidad de reducir el colesterol en sangre, mostrando efectos hipolipidémicos e hipoglucémicos en animales y en estudios con humano (Naumann *et al.*, 2006; Kapur *et al.*, 2008; Nazare *et al.*, 2009).



---



La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (European Food Safety Authority - EFSA) tiene ya aprobado el uso de  $\beta$ -glucanos de *Saccharomyces* – denominados “yeast  $\beta$ -glucans” (levadura de  $\beta$ -glucanos) – como un nuevo ingrediente. Sugiere que la cantidad de  $\beta$ -glucanos en los alimentos convencionales debe oscilar entre 50 y 200 mg por ración (EFSA, 2011). Sin embargo, la influencia de los  $\beta$ -glucanos en las características sensoriales del pan y el impacto de éste como ingrediente funcional en calidad de los alimentos, es decir, el pan, son escasos (Kittisuban *et al.*, 2014, Martins *et al.*, 2015).

## I.7. PANIFICACIÓN

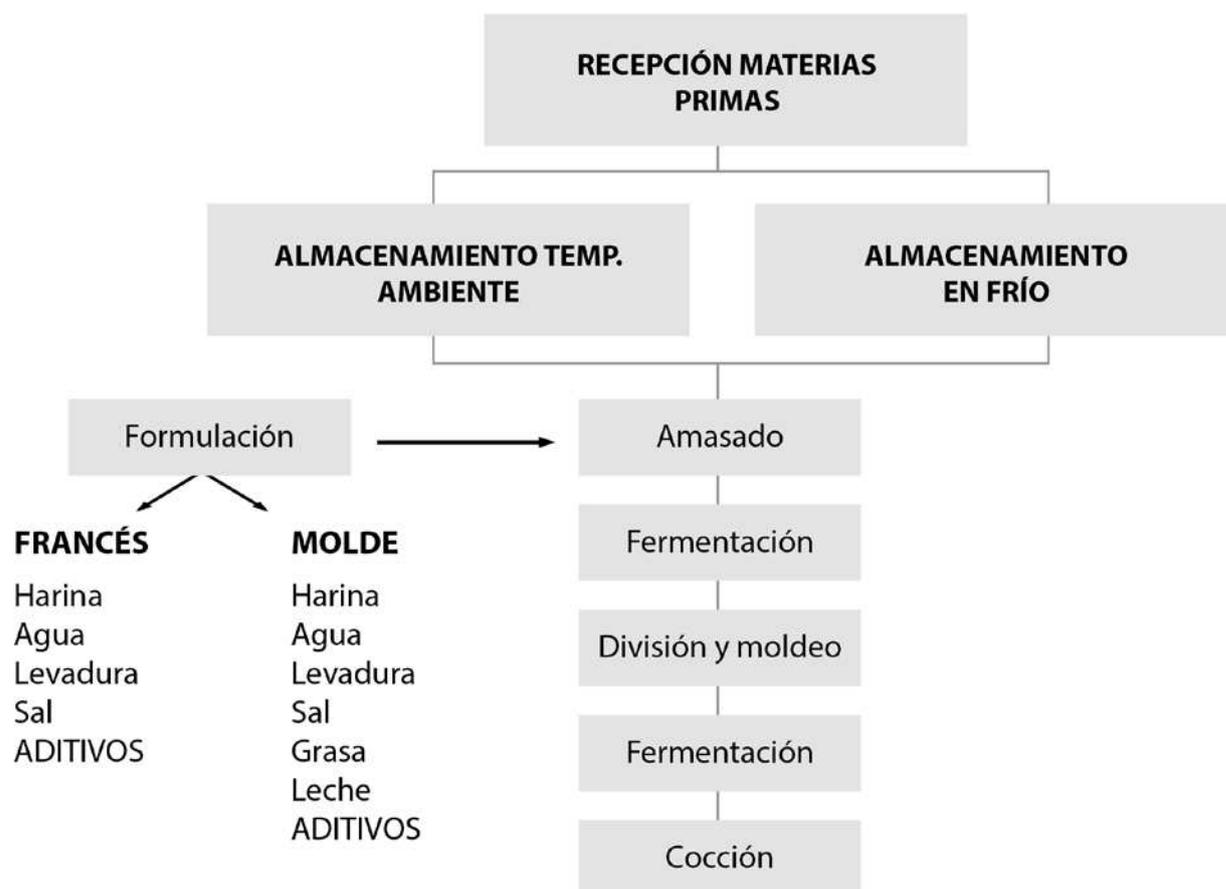
El Código Alimentario Argentino en su Capítulo IX Art. 725 define, “Con la denominación genérica de Pan, se entiende el producto obtenido por la cocción en hornos y a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adición de sal, con o sin la adición de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios”.

El pan es un producto de consumo masivo a nivel mundial e integra la mesa de mayoría de los hogares, ya sea para acompañar las comidas o como el único alimento (Bot *et al.*, 2014b). En ciertos países donde no se cultiva el trigo en grandes cantidades, como es el caso de Mozambique, el pan tradicional elaborado a partir de la mezcla tradicional de harina de trigo, levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), sal y agua es consumido a pesar de sus costos (Eduardo *et al.*, 2013).

Existen diversos tipos de panes, siendo el más tradicional el pan tipo Francés elaborado mediante el amasado, fermentación y cocción de tan sólo harina, agua, levadura y sal (Bloksma & Bushnuk, 1988). Por otra parte, el pan tipo Molde también es de amplio consumo, pero a diferencia del Francés, su elaboración es un proceso más complejo en el cual la masa puede consistir en la mezcla de harina, agua, levadura, azúcar, sal y grasa, que luego se fermenta y se cuece (Swieca *et al.*, 2013).

A continuación, la **Figura I.38** presenta las etapas de la elaboración de los panes tipo Francés y de Molde.





**FIGURA I.38.** Etapas de la elaboración de los panes tipo Francés y de Molde.

Fuente: Osella (2015)

## I.7.1. Proceso de panificación con harina de trigo

### I.7.1.1. Formación de la masa

El amasado es la primera etapa del proceso de panificación. El propósito de esta acción es asegurar la mezcla íntima de las materias primas y el desarrollo del gluten, y se logra mediante las siguientes acciones: dispersar los ingredientes uniformemente,



incorporar aire y provocar el “desarrollo de la masa”. Esto es la formación de una red tridimensional de gluten. En los comienzos, esta tarea se realizaba de manera manual, pero actualmente se hace únicamente con amasadoras mecánicas.

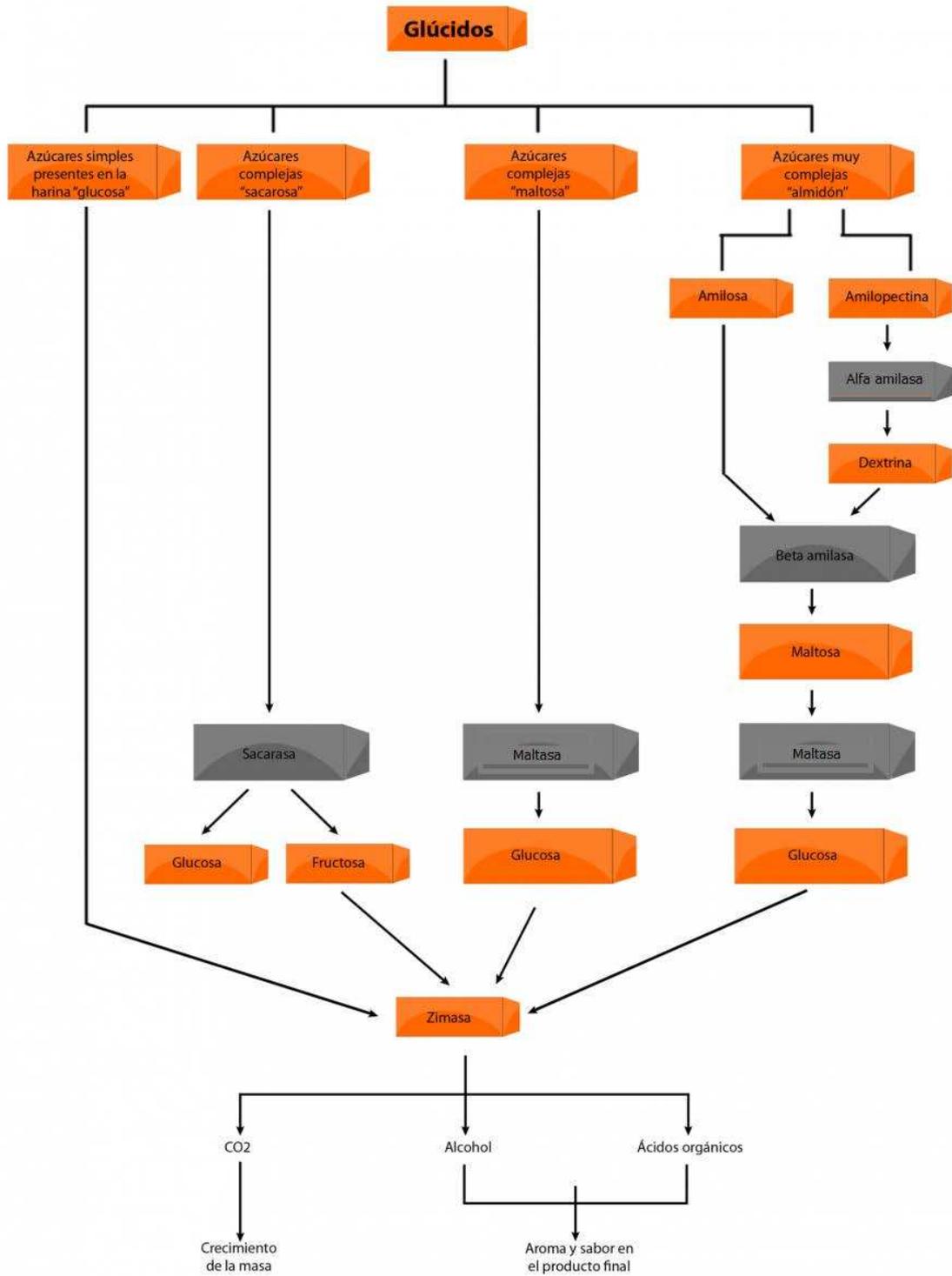
La duración del amasado depende de: las características de la harina, ya que las fuertes necesitan más tiempo de amasado que las débiles. También el tipo de máquina amasadora influye en la duración de la operación por la aplicación de diferentes velocidades y energía suministradas, factores que por tanto repercuten en la eficiencia de la mezcla (Quaglia, 1991).

### 1.7.1.2. Fermentación de la masa

La fermentación se lleva a cabo con el azúcar existente y el generado por la acción de las amilasas sobre el almidón dañado en la harina de trigo. El azúcar presente, es resultado de la hidrólisis del almidón por la labor de las enzimas naturales de la harina. Las levaduras, en el proceso de la fermentación generan gases como parte de su actividad metabólica. Los productos del citado proceso de fermentación son: el CO<sub>2</sub> y el alcohol etílico, resultantes de una serie compleja de reacciones donde intervienen diferentes enzimas (**Figura I.39**). El incremento de volumen de la masa es generado por el dióxido de carbono, mientras que el alcohol es parte de la producción de aromas complejos de los productos horneados. Diferentes tecnologías de panificación fueron desarrolladas para responder mejor a las nuevas demandas de la industria (Decock & Cappelle, 2005). *Saccharomyces cerevisiae* es el microorganismo que mejor se desempeña en las masas, a pesar de que muchos microorganismos pueden fermentar azúcares para producir CO<sub>2</sub>.

Existen otros factores que deben tenerse en cuenta, tales como el tipo de harina, condiciones de fermentación (pH y temperatura) y la selección de cultivos iniciadores con específica y deseable propiedades metabólicas (De Vuyst & Vancanneyt, 2007; Aplevicz *et al.*, 2013).





**FIGURA I.39.** Proceso de fermentación de la masa elaborada en base de harina de trigo.

Fuente: El club del pan (2011), modificado por la autora de la presente tesis.



## PRIMERA FERMENTACIÓN

Es una fermentación alcohólica provocada por el trabajo de levaduras que transforman los azúcares de la masa en alcohol y dióxido de carbono. Se realiza con la totalidad de la masa.

Se lleva al doble del volumen. En esta etapa se generan olores y sabores característicos del pan.

La importancia de la primera fermentación se encuentra en: producción de gas CO<sub>2</sub> y aumento del volumen de la masa; producción de ácidos orgánicos y aldehídos que componen al aroma y disminuyen el pH, lo que beneficia la conservación; y la modificación de la estructura del gluten. Durante esta fase, la elasticidad disminuye y la tenacidad aumenta.

## SEGUNDA FERMENTACIÓN

Se realiza con la masa fraccionada y los panes se encuentran en su forma definitiva. En caso de pan de molde, el proceso se llevará adelante dentro de los recipientes. El objetivo es el desarrollo de volumen al triplicado. El empuje, dentro del medidor, es la expresión y traducción visual de un dinamismo que se deja ver por un desarrollo creciente y continuo de la masa (Calvel, 1983). A través de esta etapa del proceso se desea lograr un desarrollo de textura y esponjosidad de la masa.

### I.7.1.3. Cocción de la masa

Las piezas del pan son introducidas al horno a una temperatura alrededor de los 200° C durante aproximadamente 20 minutos. Al iniciarse el proceso de cocción, los panes experimentan lo que Pyle (1973b) denomina como “*oven spring*”, que representaría a una última etapa de expansión de la masa antes de llegar a su volumen final. Este punto llega cuando se forma una delgada capa en la superficie que le impide continuar el crecimiento de la masa, al igual que la subsiguiente muerte de las levaduras.

Como consecuencia de la combinación de calor, humedad y tiempo durante la cocción del pan, los gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan, o sea que la destrucción es irreversible desde punto de vista del orden molecular de los gránulos de almidón (Atwell *et al.*, 1988). Para que ocurra este fenómeno es necesario un nivel





mínimo de agua y una determinada temperatura. Luego continúa el proceso con la coagulación del gluten, actividad enzimática de las amilasas y demás enzimas, cambios en la estructuras de las células y desarrollo del *flavor*, principalmente mediante la reacción de Maillard (Pylar, 1973b).

- **Premezclas para panificación**

Hoy en día, la incorporación a la vida hogareña de las máquinas de fabricación doméstica, tanto de una o dos paletas, puede ofrecer una alternativa para facilitar la vida de los que les gusta hornear su propio pan en casa. En Portugal, donde se realizó parte de la experiencia, las premezclas de harina para la fabricación de pan en máquinas hogareñas, sólo requieren del añadido de sal, el azúcar y la levadura. Se encuentran comercialmente disponibles en supermercados y pueden incluir ingredientes bioactivos (Martins *et al.*, 2015).

### **I.7.2. Calidad del pan**

La evaluación de la calidad de pan es un proceso complejo por lo general definido de acuerdo a los parámetros sensoriales, volumen, textura, color y sabor (Zehentbauer & Grosch, 1998; Heenan *et al.*, 2009; Birch *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2015).

El *flavor* es la percepción simultánea de gusto, olor y la respuesta nervio trigémino (Lawless & Heymann, 2014). En el pan es el atributo más importante para la aceptabilidad de los consumidores (Heenan *et al.*, 2009). Los atributos también incluyen los percibidos por el sentido humano de la vista, como ser el color de la miga, el color de la corteza o la estructura de la miga (Salmenkallio-Marttila *et al.*, 2004). Una parte importante de la textura del pan se debe a la calidad de la harina y la masa utilizada. El pan tiene una estructura más o menos esponjosa, rodeado por una delgada capa crocante. La mayoría de los estudios de textura se analiza en la miga, pero también sobre la corteza. La corteza es crujiente cuando el pan es fresco (Hernández Ordoñez & Duran Osorio, 2012; Gallardo *et al.*, 2015).



# OBJETIVOS

CAPÍTULO II





## Capítulo II. OBJETIVOS

### II.1. OBJETIVOS GENERALES

Estudio de aditivos para el mejoramiento del comportamiento tecnológico de las harinas.

### II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de harinas comerciales.
- Caracterización de trigos comerciales.
- Caracterización de las harinas varietales.
- Establecimiento del tipo de pan que mejor funcione como herramienta para detectar diferencias entre tratamientos.
- Estudio de oxidantes y reductores sobre la estructura del gluten de trigo.
- Estudio de enzimas que modifican el comportamiento de los PSNA en el trigo.
- Efectos de aditivos naturales sobre las características de productos panificados.



# MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III





## Capítulo III. MATERIALES Y MÉTODOS

### III.1. ENSAYOS PREVIOS

Durante esta etapa, se llevó a cabo un entrenamiento sobre los métodos y manejo del equipamiento con los cuales se realizaron las experiencias tecnológicas con harinas comerciales y en el trabajo de laboratorio se pusieron a punto las técnicas analíticas a utilizar. Se determinaron las siguientes características fisicoquímicas: Humedad, Grasas, Cenizas, Proteínas, Carbohidratos y Gluten húmedo. Se realizaron pruebas reológicas: farinogramas y alveogramas, como también se evaluaron las *performances* tecnológicas de las harinas que se consumen.

### III.2. SELECCIÓN DE VARIEDADES DE TRIGOS COMERCIALES

Se analizaron cuáles eran las variedades de trigo más usadas por los productores y/o que son parte de la Red de Ensayo Comparativos de Cultivares de Trigo (RET), dependiente del Instituto Nacional de Semillas (INASE - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación), quien analiza anualmente los parámetros productivos y de calidad panadera de las variedades de trigo que participan de dicho ensayo, por cada subregión triguera y por localidad que integra cada subregión.

Fueron utilizados ocho variedades de trigos comerciales (*Triticum aestivum* L.).

**TABLA III.14.** Características de variedades de trigos comerciales.

Variedad	Ciclo	Grupo Panadero (GP) <sup>1</sup>
1	Corto	3
2	Intermedio	2
3	Corto	2
4	Intermedio	3
5	Corto	2
6	Corto	3
7	Largo	3
8	Largo	3

<sup>1</sup> INASE (2011). *GP1*: Trigos Correctores Panificación Industrial; *GP2*: Trigos para Panificación Tradicional (+8 horas de fermentación) y *GP3*: Trigos para Panificación Directa (-8 horas de fermentación).





Una vez seleccionadas los trigos, en el laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones a los granos de trigo:

#### - **Peso de 1000 granos (Norma IRAM 15853, 2012)**

Es un fuerte indicador de rendimiento de harina, ya que el porcentaje de endospermo en granos de trigo de una misma variedad es normalmente mayor en granos más grandes.

Se pesaron en una balanza analítica Shimadzu AU220.

Se expresó en gramos.

#### - **Humedad**

El contenido de humedad en los granos de trigo es utilizado como indicador de la calidad del grano y será un factor que tendrá influencia en el precio del grano al momento de ser vendido. Altos contenidos de humedad pueden llevar a ocasionar problemas durante el almacenamiento de los granos, ya que bacterias y hongos prosperan en los silos de almacenamientos húmedos y oscuros. Baja cantidad de humedad provocará granos quebradizos, disminuyendo así su calidad al aumentar el porcentaje de granos en esta condición no deseable desde la perspectiva de la calidad.



**FIGURA III.40.** Higrómetro DELVER Modelo HD 1000D.

Se realizó la medición de la humedad de los granos mediante un higrómetro marca DELVER Modelo HD 1000D (**Figura III.40**) y se utilizó la metodología propuesta por los fabricantes del equipo.

#### - **Peso Hectolítrico (Norma ISO 7971-2, 1995)**

Es la proporción entre la masa de trigo y el volumen que ocupa después de haber sido volcado dentro de un recipiente bajo condiciones bien definidas. Se define como el peso de un volumen de 100 litros de trigo tal cual, expresado en  $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ . Es una característica de la calidad considerada importante en todas partes del mundo. Es afectado por la uniformidad, forma, densidad y tamaño del grano, además del contenido



de materias extrañas y granos quebrados de la muestra. Se encuentra relacionado con el rendimiento de molienda. Para un mismo trigo, a mayor peso hectolítrico, mayor rendimiento de harina.

#### - Determinación del Índice de Pelshenke (Método 56-50, AACC, 2000)

Es una prueba de microfermentación (**Figura III.41**) de masa de harina integral (trigo molido). Proporciona información sobre la habilidad del gluten para retener el gas CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación.

Esta prueba, permite clasificar a los genotipos en estudio por el tipo de gluten en débil, medio o fuerte.

Sin embargo, no distingue entre el tipo fuerte del tenaz balanceado, ni el extensible débil del tipo tenaz débil.



**FIGURA III.41.** Muestras de trigo en proceso de microfermentación.

#### PROCEDIMIENTO

- Se molieron los granos de tal manera que pase por la malla de 1 mm.



- Se preparó una suspensión de levadura fresca al 10% en agua destilada.

- Se pesaron 4 g de harina y se le agregaron 2,25 ml de la suspensión de levadura y formó una esfera con la masa.

- Se colocó la esfera en un vaso de precipitado y se agregaron 80 ml de agua destilada a 30° C.

- Se midió el tiempo que demoró en disgregarse.

- Se realizó el ensayo por cuadruplicado y la diferencia de tiempo entre al menos 3 de las 4 muestras evaluadas, no debe ser mayor a +/- 5%.

Según los resultados obtenidos, se clasificaron de la siguiente manera:

- *Suave* (tiempo menor a 60 minutos).
- *Medio* (tiempo entre 60 y 100 minutos).
- *Fuerte* (más de 100 minutos).

### III.3. MOLIENDA DE LOS TRIGOS COMERCIALES

Para obtener la harina se siguieron los siguientes pasos:

- *Limpieza*

- *Acondicionamiento*

✓ *Mojado*: se realizó la humectación de los granos para producir una humedad final de 15,5%.

✓ *Reposo*: se almacenaron durante 24 horas.

- *Molienda*:

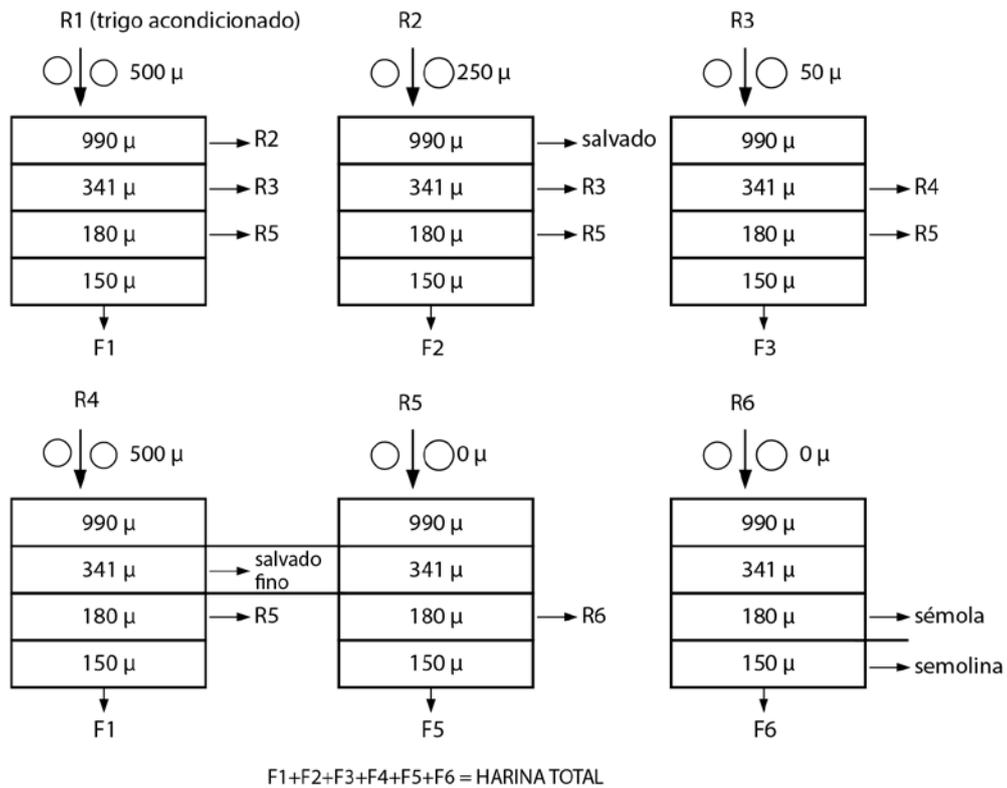
La molienda se efectuó en un molino experimental Buhler Miag tipo MLGV Variosthul (**Figura III.42**).



**FIGURA III.42.** Molino experimental Buhler Miag tipo MLGV Variosthul.

El diagrama de molienda utilizado fue el desarrollado por el ITA-FIQ-UNL para escala piloto, con dos roturas, dos compresiones y dos reducciones.

El diagrama utilizado comprende una secuencia de pasos que comienza con la rotura del grano en rolos estriados. Se utilizaron, para todos los casos, rolos ranurados medios, con 6,4 dientes / cm y diferencial de velocidad de 2,5:1 (**Figura III.43**) (Robutti *et al.*, 1998).



**FIGURA III.43.** Diagrama de molienda de molino experimental II: R1, R2, R3, R4, R5 y R6 cilindros ranurados (6,4 por cm) con velocidades de 420 y 168 rpm (diferencial 1:2,5).

Fuente: Osella *et al.* (2006).

El material molido fue clasificado por tamizado en un plansifter Buhler Rotostar Tipo MPAR –H (**Figura III.44**).



**FIGURA III.44.** Plansifter Buhler Rotostar Tipo MPAR –H.



### III.4. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE HARINAS OBTENIDAS

Para evaluar la calidad industrial del trigo se consideraron las características del grano, el comportamiento en la molienda, características reológicas, curvas (farinogramas, alveogramas) y *performances* panaderas.

#### III.4.1. Análisis físico-químico de las harinas obtenidas

##### *Humedad (Método 44-01, AACC, 2000)*

Este método establece la humedad, que por la diferencia de peso que experimenta la muestra cuando se calienta bajo determinadas condiciones de tiempo y temperatura.

- Se pesaron entre 2 y 3 g de muestra y se colocaron en una cápsula.
- La estufa a 130° C + / - 3° C a presión normal y se mantienen durante 60 minutos.
- Las muestras se dejaron enfriar antes de pesar en desecador con Silica Gel.

Cálculo:

$$\{(Tara + muestra húmeda) - (tara + muestra seca) / muestra húmeda\} * 100$$

El resultado se expresó en porcentaje (%).

Las harinas comerciales tipificadas según el CAA deberán responder a las siguientes características (**Tabla III.15**).

**TABLA III.15.** Tipificación de harinas considerando su humedad.

TIPO de HARINA DE TRIGO	HUMEDAD (g/100g) máximo
0000	15,0
000	15,0
00	14,7
0	14,7

Fuente: CAA





### ***Cenizas (Método 08-01, AACC, 2000)***

La determinación del contenido de cenizas es descrita como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento.

Posee el siguiente procedimiento:

- Se pesaron entre 2 y 3 g de cada muestra de harina que se colocaron en cápsulas de porcelana previamente pesadas.
- Se incineraron las muestras en mufla a 900° C +/- 25° C hasta peso constante o cenizas blancas.
- Se enfriaron en desecador con Silica Gel y se pesaron.
- La diferencia de peso de las mismas permitió calcular el contenido de cenizas referido a sustancia seca y fue expresada en porcentaje (%) (Ranganna, 1977).

Constituye uno de los mejores métodos para medir la eficacia del proceso de molienda. El contenido de cenizas de una determinada harina puede dar una idea de la cantidad de salvado o minerales que tiene.

Según el mismo Artículo 661 - (Res 167, 26.1.82) que se citó en el ítem anterior, la clasificación de las harinas según el contenido de cenizas (**Tabla III.16**).

**TABLA III.16.** Tipificación de harinas considerando su contenido de cenizas.

<b>HARINA DE TRIGO</b>	<b>CENIZAS (g / 100 g) máximo</b>
0000	0,492
000	0,650
00	0,678
0	0,873

Fuente: CAA

### ***Materia grasa (Método 30-26, AACC, 2000)***

Es una extracción con un solvente orgánico. En este método el solvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en





el solvente. Posteriormente éste es enviado al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso.

Para lograr la extracción se llevaron adelante los siguientes pasos:

- Se pesaron los matraces de Erlenmeyer para obtener la tara.
- Luego se pesaron 10 g de muestra y se prepararon los cartuchos con papel de filtro.
- Se procedió a la extracción de la materia grasa en el cuerpo extractor tipo Butt por solvente, Éter de Petróleo (35 - 60° C) en este caso, en un baño a 50° C, durante 5 horas.
- Se evaporó el excedente del solvente por estufa a 105° C durante 24 horas.
- Se pesó el matraz más la materia grasa obtenida en el proceso de extracción y se calculó la cantidad de materia grasa sobre sustancia seca y limpia.
- Los análisis se realizan por duplicado y la diferencia analítica no debe superar el 2%.

Cálculo de materia grasa (%) (S.S.H.) =  $(M2 - M1 \times 100) / g$

Donde:

S.S.H. = materia grasa sobre sustancia húmeda

M1= tara del matraz

M2= tara del matraz + grasa

Cálculo de materia grasa (%) (S.S.S.) =  $(\% \text{ materia grasa S.S.H} \times 100) / 100 - H_i$

S.S.S.= materia grasa sobre sustancia seca

El resultado se expresó en porcentaje (%).

### ***Proteínas (Método 46-10, AACC, 2000) - Semimicro Kjeldhal***

La medición se realizó en un equipo Buchi K-350.

#### ***PROCEDIMIENTO***

*Muestras:* se realizaron por duplicado.

- Se pesaron 1,5 g del catalizador-sal (Se-K<sub>2</sub>S<sub>0</sub>4).

*Blanco:* a este tubo se le incorporó todo menos la muestra.

- Se pesaron entre 250 y 500 mg de muestra (harina) y se trasvasó la muestra al tubo digestor.
- Se agregaron 6 ml de ácido sulfúrico por tubo. Los tubos pasaron a la digestión.



*Digestión:*

- Se colocaron los tubos en el digestor y se colocó la temperatura en 100° C.

*Destilación equipo BUCHI (destilación por arrastre con vapor):*

- Se colocaron 25 ml ácido bórico al 4% en los matraces Erlenmeyer con la mezcla de indicadores (verde de bromo cresol – rojo de metilo). El equipo dosifica 40 ml de NaOH en el tubo con la muestra digerida. Se incorporó el NaOH. Una vez terminada la destilación de esta muestra, se le realizó la titulación.

*Titulación:*

El anión borato (proporcional a la cantidad de nitrógeno) fue titulado con ácido clorhídrico.

*Cálculo:*

$$\% N = \frac{\text{Vol. (ác. HCl)} \times N (\text{ác. HCl}) \times f \times 0,014 \times 100}{PM}$$

Si N = 0,1

$$\% N = \frac{\text{Vol} \times f \times 0,14}{PM}$$

% Proteínas = % N x factor de corrección (5,7 en el caso de harina de trigo).

El resultado se expresó en porcentaje (%).

***Gluten húmedo (Método 38-10, AACC, 2000)***

En este procedimiento, el agua que lava la masa elimina el almidón y las proteínas solubles. Lo que queda son las proteínas formadoras de gluten (insolubles).

La determinación se realizó en equipo semiautomático Glutomatic.

***PROCEDIMIENTO***

Se pesaron 20 g de harina y se agregan 11 ml de agua.

- Se mezclaron hasta formar una masa homogénea y de esta manera se obtuvo una masa hidratada al 55%.

- Se dejó en remojo dentro de un vaso de precipitado con agua durante 30 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, el contenido del vaso de precipitado fue vertido dentro de la lavadora.

- Se lavó la masa durante 60 minutos.



- 
- Se retiró la muestra de la lavadora y se eliminó el exceso de humedad de la masa.
  - Se pesó y calculó el porcentaje (%) de gluten en base húmeda.

**Carbohidratos totales** (calculados por diferencia):  $100 - (\text{proteína} + \text{grasa} + \text{ceniza} + \text{humedad})$ .

El resultado se expresó en porcentaje (%).

#### ***Almidón dañado (Método 76-30, AACC, 2000)***

El objetivo del método es determinar el porcentaje de gránulos de almidón en harinas o preparados, que son sensibles a la hidrólisis de la  $\alpha$ -amilasa (almidón dañado).

En las condiciones dadas para este trabajo, 15 minutos a 30° C, 61% de almidón es convertido en maltosa.

#### ***PROCEDIMIENTO***

Las muestras se evaluaron por duplicado y se utilizó el baño a 30° C.

- Se pesaron muestras de 1 g de harina en matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- Se disolvió 1 g de enzima cada 450 ml de buffer (pH 4,6 - 4,8) y se preparó según la cantidad de muestras a evaluar, considerando que se utiliza 45 ml por muestra.
- Se filtró rápidamente y se colocaron los Erlenmeyer en el baño.
- Se agregaron a cada uno 45 ml de la solución de  $\alpha$ -amilasa y se agitaron.
- Se mantuvieron en baño durante 15 minutos.
- Se agitaron cada 5 minutos y se agregaron 3 ml de ácido sulfúrico.
- Se colocaron 2 ml de tungstato de sodio.
- Se retiraron del baño, se mezclaron y se dejaron reposar durante 2 minutos.
- Se agitaron cada 5 minutos y se agregaron 3 ml de ácido sulfúrico.
- Se colocaron 2 ml de tungstato de sodio.
- Se retiraron del baño, se mezclaron y se dejaron reposar durante 2 minutos.
- Se filtraron en Erlenmeyer con embudos y papel de filtro.
- Se colocaron 5 ml en tubos de ensayo.

#### ***Determinación de azúcares reductores:***

Se agregaron a cada tubo 10 ml de la solución de ferricianuro alcalino, se mezclaron y se sumergieron los tubos en un baño de agua hirviendo vigorosamente

---

durante 20 minutos. Luego se enfriaron los tubos y se vertieron los contenidos del tubo en Erlenmeyer. Se lavaron los tubos con 25 ml de la solución acético salina y se colocó el lavado en la solución del Erlenmeyer. Posteriormente, se agregaron 1 ml de la solución almidón soluble-IK.

Se tituló con tiosulfato de sodio hasta completar la desaparición del color azul.

### ***Test de Zeleny o sedimentación (Método 56-61A, AACC, 2000)***

Este test es orientativo de la calidad de una proteína, estimando la fuerza del gluten.

Está asociado a la cantidad y calidad de las proteínas. El alcohol isopropílico en medio levemente ácido actúa sobre el gluten produciendo un hinchamiento. Cuanto mayor sea la presencia de éste, mayor será el volumen de precipitado que se obtendrá, y por lo tanto mejor será el volumen del pan.

### ***PROCEDIMIENTO***

- Se colocaron 3,2 g de harina en probeta graduada de 100 ml con tapa (**Figura III.45**).
- Simultáneamente, se marcó el tiempo, momento en que se agregaron 50 ml de agua con azul de bromofenol y se mezclaron horizontalmente durante 2 minutos.
- Cumplido este tiempo, con la probeta invertida se mezclaron durante 30 segundos, dejando reposar 1 minuto y 30 segundos.
- Se agregaron 25 ml de reactivo alcohol isopropílico / ácido láctico y se mezcló, dejando reposar 1 minuto y 45 segundos.
- Se volvieron a mezclar durante 30 segundos y se dejaron reposar 1 minuto y 30 segundos.
- Nuevamente se mezclaron por 15 segundos y se dejaron reposar durante 5 minutos.
- Se observó el volumen del sedimento en ml y luego se corrigió por el contenido de humedad.



**FIGURA III.45.** Probeta con muestra de harina, agua y azul de bromofenol.



### ***Retención de agua (AWRC) (Método 56-11, AACC, 2000)***

AWRC es un ensayo para evaluar la calidad potencial de producción de las harinas. Este parámetro depende del contenido pentosanos, almidón dañado, glicoproteínas y complejo proteína-polisacárido (Yamazaki & Lord, 1971).

#### ***PROCEDIMIENTO***



**FIGURA III.46.** Tubos con muestras en proceso de drenaje.

- Se pesaron los tubos con tapa y se colocaron entre 0,9 a 1 g de harina muestra en el tubo.
- Se agregaron 5 ml de NaCO<sub>3</sub>H 0,1 N.
- Se taparon y agitaron enérgicamente para suspender la harina.
- Se agitaron los tubos a los 5, 10, 15 y 20 minutos. Se centrifugaron 15 minutos a 1000 [G] = 2000 [RPM], se descartó el sobrenadante y se drenaron durante 10 minutos (**Figura III.46**).

- Se taparon los tubos y se pesaron.
- Finalmente se realizaron los cálculos correspondientes.

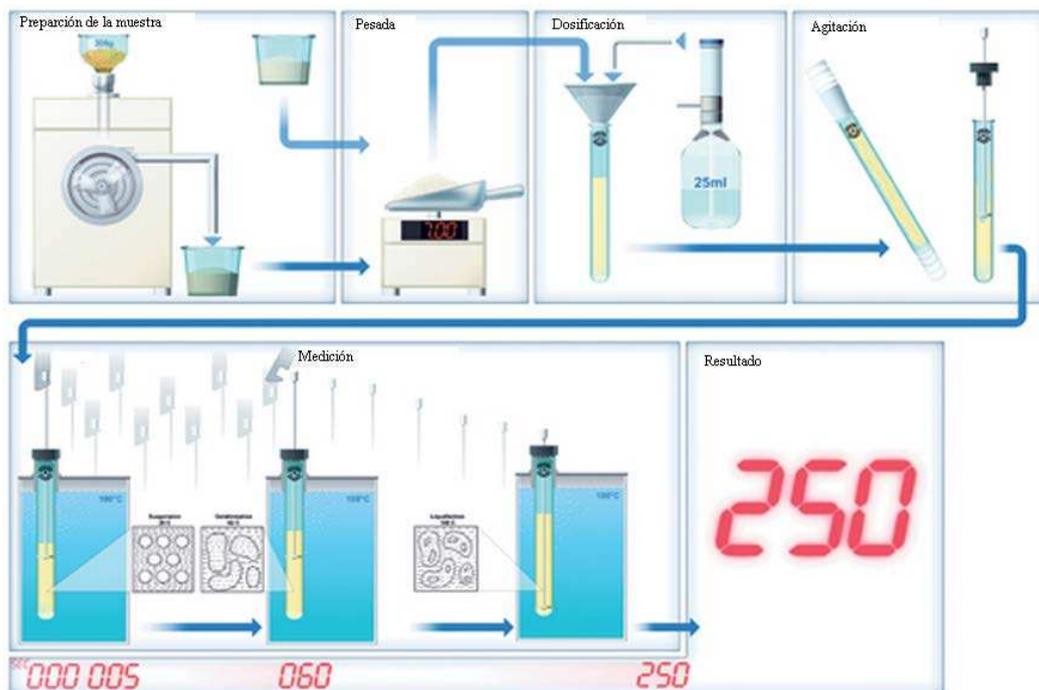
### ***Falling number (AACC N° 56-81-IRAM\* 15862)***

Este método es empleado para determinar la actividad enzimática, o sea la actividad de la amilasa de las harinas.

La medición se realizó en un equipo de medición de *Falling Number* marca Perten modelo FN 1500.

Está basado en la medida del tiempo de caída de un vástago dentro de un tubo cuando se coloca una suspensión de almidón en agua caliente y se agita (**Figura III.47**).





**FIGURA III.47.** Proceso de medición del *Falling Number*.

Fuente: Perten Instruments (2012)

#### PROCEDIMIENTO

- Se pesaron  $7,0 \pm 0,05$  g de muestra y se introdujeron en el tubo viscosimétrico.
- Se vertieron  $25 \pm 0,2$  ml de agua destilada en el tubo viscosimétrico.
- Se mezclaron la muestra de harina y el agua mediante una vigorosa agitación del tubo viscosimétrico hasta obtener una suspensión homogénea.
- Se colocaron en el baño maría el tubo viscosimétrico con el agitador, y de esta manera el aparato se activó (**Figura III.48**).
- Al cabo de 5 segundos la agitación empezó automáticamente. A los 60 segundos el agitador fue liberado automáticamente en su posición superior e inició el descenso debido a su propio peso. El tiempo total transcurrido desde que el aparato se activó hasta que el agitador descendió una determinada distancia quedó registrado por el equipo. Éste es el Índice de Caída o *Falling Number*, que es medido en segundos.



**FIGURA III.48.** Tubo viscosimétrico en el equipo de medición de *Falling Number*.



- **Indice o Volumen de Sedimentación Sodio Dodecil Sulfato (SDS)**

El volumen de sedimentación fue obtenido mediante el Método SDS de Peña *et al.* (1990).

(1) *Solución de Azul Brillante de Coomassie (CBB) R- 250*

Se pesaron 10 mg de CBB y se diluyeron en 1 l con agua destilada.

(2) *Solución stock de Ácido Láctico 1:8 v / v*

Se tomaron 10 ml de ácido láctico 85% y se adicionaron 80 ml de agua destilada.

(3) *Solución de Sulfato Duodecil de Sodio o Lauril Sulfato de Sodio (SDS)*

Se pesaron 30 g de SDS y se llevó a 1 l con agua destilada.

(4) *Solución para Trigo: 10 ml de la Solución (2) + 480 ml de Solución (3)*

- Se determinaron utilizando para cada muestra, 1 g de trigo molido en una probeta de 25 ml con 8 ml de solución Azul Brillante de Coomassie ( $10 \text{ mg.litro}^{-1}$ ).
- Se taparon cada una de las probetas a analizar y se agitaron en vortex durante 10 segundos.
- Se dejaron reposar durante 2 minutos, 30 segundos y se agitaron durante 10 segundos.
- Se dejaron reposar nuevamente durante 4 minutos y 30 segundos.
- Se agitó de nuevo en vortex e inmediatamente después, se añadieron 12 ml de solución 2 + solución 3. Se agitaron durante 2 minutos cada muestra en un agitador horizontal.
- Se dejaron sedimentar hasta el minuto 14 – 18 y los resultados se expresaron en ml (Dick & Quick, 1983).

### **III.4.1.1. Análisis de proteínas**

#### **III.4.1.1.1 Gliadinas**

##### **III.4.1.1.1.1. Extracción de proteínas**

Las semillas de trigo se molieron en un molino de muestras ciclón Udy equipado con un tamiz de 1 mm. Muestras de harina (200 mg) se extrajeron con 3 ml de etanol al 70% (v / v) con agitación utilizando un vortex durante 1 h en 10 ml en tubos de



---

centrífuga de polipropileno, seguido de centrifugación durante 30 minutos a 3000 X g. Los sobrenadantes se filtraron a través de filtros 0,22  $\mu$  antes de RP-HPLC.

#### **III.4.1.1.2. Caracterización de gliadinas**

Las gliadinas se caracterizaron por RP-HPLC (Cromatografía líquida de alta resolución – Fase reversa) como se describe por Huebner & Bietz (1993). Se evaluó la zona entre aproximadamente 31 a 45 minutos ya que es la asociada a la calidad panadera en un estudio previo de Robutti *et al.* (1994). Se utilizó un sistema Hewlett-Packard 1050 de HPLC con una bomba cuaternaria, automuestreador y detector UV a 210 nm. Se utilizó una columna Vydac C18 (partículas de 5  $\mu$ m, 300<sup>Å</sup>poros, 250 x 4,6 mm) a 60° C, precedida por una precolumna 22 x 3,5 mm. Los cromatogramas fueron analizados utilizando el software HP ChemStation 3.0. Se analizaron los extractos individuales, ya que los experimentos anteriores indicaron tiempos de retención reproducibles con diferencias máximas de 0,24 minutos y coeficiente de variación <2% para áreas de los picos absolutos.

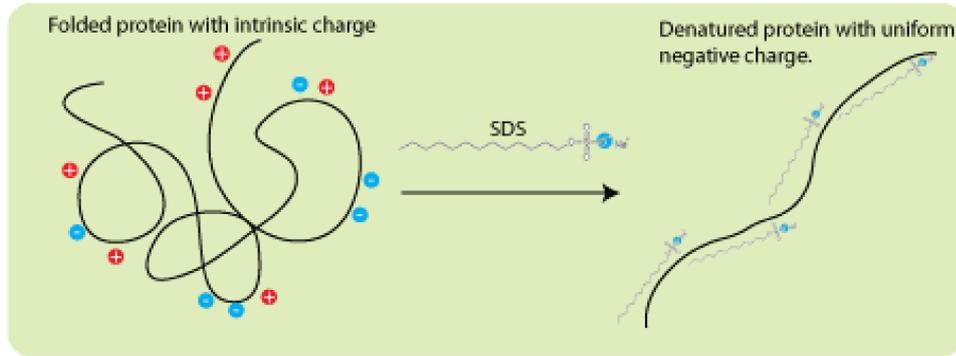
#### **III.4.1.1.2. Gluteninas**

Las gluteninas de alto peso molecular se evaluaron por electroforesis SDS – PAGE y a los resultados se les otorgó un puntaje por calidad asignado según Payne (1987). Se efectuó el ensayo de panificación para pan Francés propuesta por Sánchez *et al.* (1983), utilizando el desplazamiento de semillas y peso de la pieza para medir el volumen específico del pan.

#### **III.4.1.1.2.1. Separación de proteínas**

Se pesaron 60 mg (0,06 g) de semilla de trigo molido. Se colocaron 300  $\mu$ l de solución DMF 1 (Dimetilformamida) 1,5 M en cada una de las muestras. Se agitó en vortex por 4 – 5 minutos y se dejó descansar 30 minutos. Se centrifugó a 14000 RPM durante 30 minutos. Se descartaron 100  $\mu$ l de sobrenadante de cada muestra. Al sedimento se le agregaron 1000  $\mu$ l de buffer de lavado “Sample Buffer 2X” (SB2X) a cada muestra. Se agitó en vortex cada 10 minutos durante 30 minutos, luego se centrifugaron a 14000 RPM por 10 minutos. Se descartó el sobrenadante y se agregaron

300  $\mu$ l de “Sample Buffer 1X” (SB1X) a cada muestra. Se llevó a baño térmico seco a 65° C durante 30 minutos, agitando cada 10 minutos. Se centrifugó a 14000 rpm por 12 minutos. El sobrenadante se pasó a un tubo tipo “Eppendorf”. Las gluteninas obtenidas se conservaron el freezer (-18° C) (**Figura III.49**).

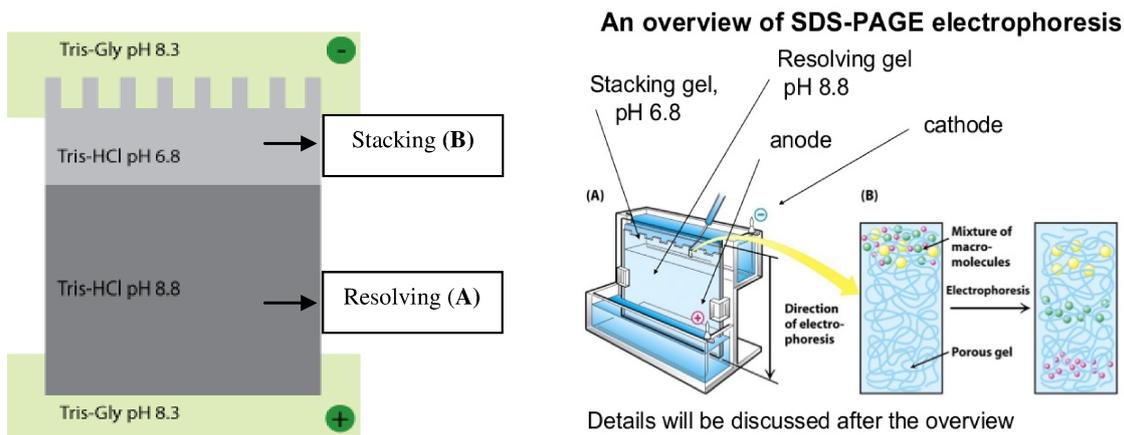


**FIGURA III.49.** Desnaturalización de las gluteninas

Fuente: BitesizeBio (2015)

**III.4.1.1.2.2. Caracterización e identificación de subunidades**

Se preparó un gel al 12% para determinar diferentes tipos de gluteninas (**Figura III.50**).



**FIGURA III.50.** Geles y electroforesis.

Fuente: BitesizeBio (2015)

Fuente: Slideshare (2015)



Típicamente, el sistema está configurado con un gel Stacking a pH 6,8 tamponado por Tris -HCl, un gel Resolving tamponada a pH 8,8 por Tris -HCl y un electrodo tamponado a pH 8,3. El gel Stacking tiene una baja concentración de acrilamida 30% (29,2/08) y el gel Resolving se ejecuta una concentración más alta (29,6/04) capaz de retardar el movimiento de las proteínas.

Ambas fracciones:

**A) Resolving:** 9,9 ml de agua, 12 ml de Acrilamida 30% (29,6/04), 7,5 ml de Tris- HCl 1,5 M (pH 8,8), 300  $\mu$ l de SDS 10%, 300  $\mu$ l de APS 10% y 15  $\mu$ l de TEMMED 0,012.

Se trazó una línea horizontal para marcar el límite del Resolving, se agregaron 3 ml de isopropanol y se dejó polimerizar.

**B) Stacking:** 6,8 ml de agua, 1,7 ml de Acrilamida 30% (29,2/08), 1,5 ml de Tris 1,0 M (pH 6,8), 50  $\mu$ l de SDS 10%, 120  $\mu$ l de APS 10% y 15  $\mu$ l de TEMMED.

Luego se retiró el isopropanol y se incorporó el preparado de gel Stacking dejando gelificar.

Las proteínas (“*stockeadas*” en freezer) se agitaron en vortex y se centrifugaron 10 minutos. Se sembraron 6  $\mu$ l de muestra en cada calle.

Las condiciones de corrida fueron las siguientes: 60 V, VH 00000, 20 mA, 1W, durante 16 horas.

Se sumergen los geles en vasija para tinción (Ac. Tricloroacético), se dejó en agitador 8 horas aproximadamente y se colocó el gel en agua o Ácido Acético (Fijación Final) para desteñir.





## III.5. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

### III.5.1. Farinograma

El ensayo farinográfico se realizó según el Método 54-21 de la AACC (2000) utilizando el farinógrafo Brabender (**Figura III.51**).

Se utiliza para probar las propiedades de amasado dinámicamente, con el fin de evaluar la calidad de la harina y las características del procesamiento de la masa, como el tiempo que tarda la masa en alcanzar la



**FIGURA III.51.** Farinógrafo Brabender.

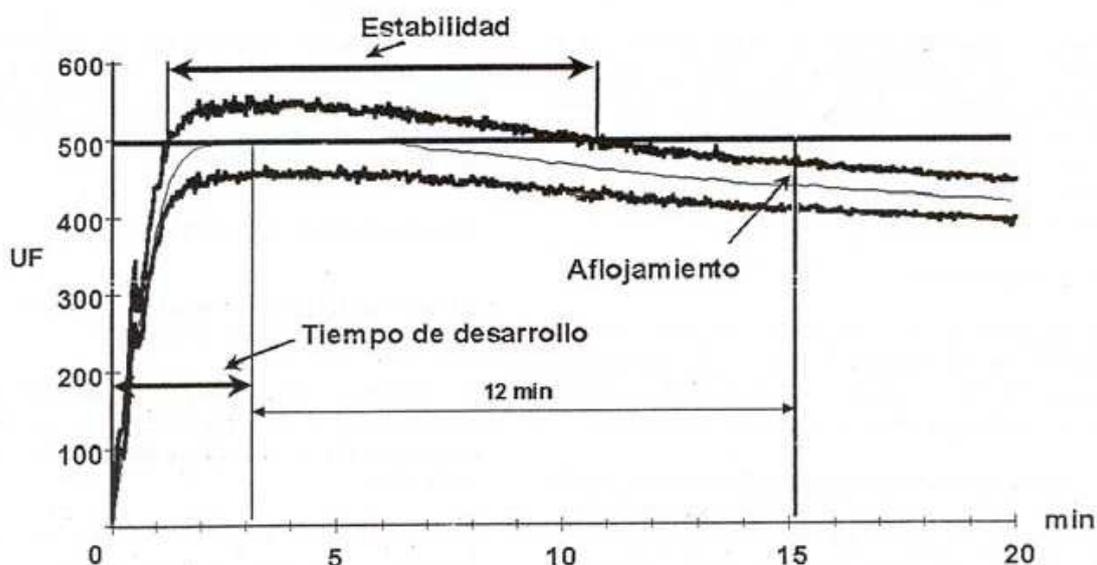
consistencia óptima y la estabilidad o tolerancia al amasado.

El farinógrafo está constituido por dos partes: el equipo propiamente dicho y un tanque con termostato. Este último, contiene a temperatura constante al agua que se introducirá mediante una bomba a la camisa de la amasadora y de esta manera mantener constante la temperatura a 30° C (Shuey, 1975). Este análisis se realizará para una consistencia de masa establecida de 500 U.B. (Pylar, 1973b).

Los índices que normalmente se determinan con el análisis farinográfico, mediante el farinograma (**Figura III.52**) son:

- Absorción de agua (%)
- Estabilidad (min)
- Desarrollo de masa (min)
- Ablandamiento (UB)





**FIGURA III.52.** Farinograma típico de harina.

Fuente: IRAM 15855 (2000).

La absorción de agua se calcula en forma previa y significa la cantidad de agua que se necesita para alcanzar una consistencia de 500 U.B.

La estabilidad es el intervalo de tiempo durante el cual la masa tiene la máxima consistencia. Es medida en minutos. Se mide por el tiempo entre la intersección de la línea 500 U.B. con la curva graficada en el ascenso y en el descenso.

El desarrollo de la masa es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia. Es medido en minutos. En casos en que se esté evaluando harinas fuertes, este lapso de tiempo puede llegar a ser extenso.

El ablandamiento es la diferencia entre la máxima consistencia y la que es obtenida después de 20 minutos (Quaglia, 1991).

### III.5.2. Alveograma

Se midió en alveógrafo de Chopin (Método 54-30A, AACC, 1995) la resistencia a la extensión de masa. Se determinaron los parámetros P (tenacidad), L (extensibilidad), G (índice de hinchamiento) y W (fuerza panadera). Este ensayo simula gráficamente el comportamiento de la masa en la fermentación imitando en gran escala

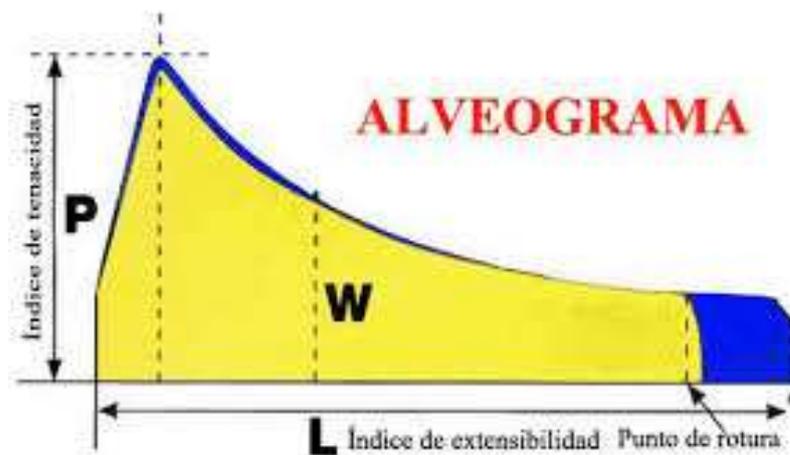
la formación de los alvéolos (**Figura III.53**) originados en la masa por el CO<sub>2</sub> que producen las levaduras. Mide la resistencia a la deformación y extensibilidad insuflando aire sobre una lámina de masa que se hincha hasta su rotura.



**FIGURA III.53.** Burbuja de masa en el alveógrafo.

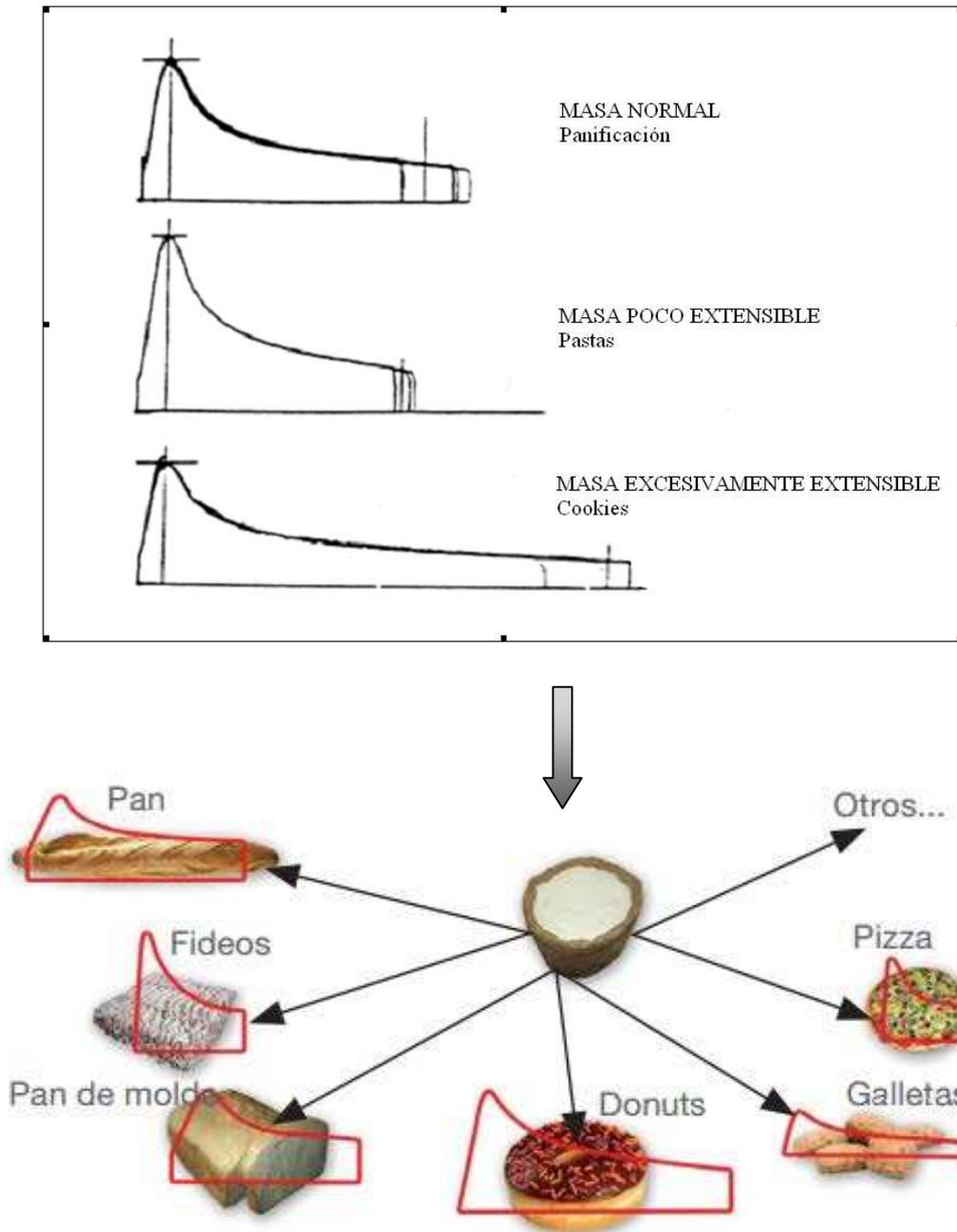
Fuente: Fundación AulaDei (2015)

Como resultado del análisis se obtienen curvas llamadas alveogramas (**Figura III.54**), donde la superficie bajo la misma indica la fuerza panadera ( $W$ ), la altura mide la tenacidad ( $P$ ) y el largo de la curva la extensibilidad ( $L$ ) o índice de hinchamiento ( $G$ ). La relación  $P/L$  o  $P/G$  expresa el equilibrio de la masa.



**FIGURA III.54.** Curva alveográfica tipo con parámetros más usados:  $P$  (tenacidad);  $L$  (extensibilidad);  $W$  (fuerza alveográfica).

Las harinas poseen diferentes características, por lo que se obtienen alveogramas típicos (**Figura III.55**) resultantes de cada grupo con particularidades similares.



**FIGURA III.55.** Alveogramas típicos de harinas de trigo con diferentes características.

Fuentes: ICTA (2015) y Chopin technologies (2015)



### III.6. SELECCIÓN Y OBTENCIÓN DE ADITIVOS A UTILIZAR EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

Para la elección de los aditivos se tomó el criterio de utilizar los más comercializados y de esta manera poder proponer dosis óptimas que actúen como “medicinas” o “mejoradores” para harinas que no presentan mayor calidad al momento de ser envasadas en los molinos.

La influencia de los aditivos sobre la calidad panadera, fue evaluada a través de parámetros objetivos y ampliamente utilizados en la industria del pan como lo son: el volumen, el peso y el volumen específico de la pieza panaria. La última considera la relación entre los dos anteriores ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  o  $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ ). También se realizaron evaluaciones subjetivas por parte de un panel sensorial conformado por expertos.

Los aditivos seleccionados fueron:

#### - *Xilanasa (XI)*

La enzima utilizada en este estudio fue una xilanasa producida por *Bacillus subtilis* que es comercializada para la industria panadera bajo el nombre Estabilase XX 6000 (Guarner Argentina). En las pruebas de panificación fueron utilizadas en dos dosis:  $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  y  $160 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de harina en evaluación. Esta enzima que tiene influencia en la distribución de agua y las propiedades reológicas de la harina, la retrogradación del almidón, y la calidad del pan.

#### - *Ácido Ascórbico (AA)*

El oxidante utilizado fue de la marca Guarner Argentina, utilizando aplicaciones de dos dosis:  $75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  y  $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de harina en evaluación. Se desenvuelve como un oxidante muy efectivo para mejorar el gluten, aumentando la capacidad de retención de los gases (estabilidad) y mejorando la firmeza de la miga al corte.



### - Azodicarbonamida (ADA)

Este aditivo con el que se realizó el presente trabajo fue de la marca Guarner Argentina, y se usaron dos dosis:  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $80 \text{ mg.kg}^{-1}$  de harina en estudio. Es un oxidante de acción rápida en harinas con bajo contenido de gluten, acondiciona y refuerza la estructura de la masa.

## $\beta$ -glucanos

### Preparación de la levadura seca derivada de residuos de la industria cervecera

La biomasa de la levadura que se utiliza para producir la cerveza (*Saccharomyces pastorianus*) fue suministrado por una industria cervecera de Portugal.

Se lavó tres veces con agua desionizada para eliminar residuos de cerveza, en una proporción de 1:3 (w / v) (masa de levadura: agua). Entre cada lavado, se centrifugó a 10000 g, a 4° C durante 5 minutos (**Figura III.56**).

El pellet de células de levadura resultante se secó lentamente en un horno dinámico a 30° C durante 48 horas y se molieron con un Molino Grindomix GM200 (Retsch GmbH, Haan, Alemania).

El contenido de  $\beta$ -glucanos se cuantificó usando la “Enzymatic yeast beta-glucan – assay procedure” (Megazyme Internacional Ireland Ltd., Bray, Irlanda).



**FIGURA III.56.** Preparación de levadura seca obtenida ( $\beta$ -glucanos).



## **III.7. PERFORMANCE PANADERA**

### **III.7.1. Elaboración del pan**

Es una evaluación de la aptitud de las harinas en pequeña escala, permitiendo valorar las diferentes etapas de elaboración del pan y observar el tiempo que tarda la masa en desarrollar, el comportamiento durante la fermentación, el volumen del pan y el aspecto interior y exterior del mismo.

Los valores obtenidos reflejan el comportamiento de las harinas en un método experimental con tiempos de fermentación más cortos que en la panificación industrial.

#### **III.7.1.1. Pan tipo Francés**

Formulación: 300 g de harina en estudio (sin aditivo utilizada como testigo y con aditivos seleccionados en concentraciones elegidas) proveniente de cada variedad de trigo seleccionado, 6 g de levadura, 6 g de NaCl. Se mezcló la harina y la levadura durante un minuto en el farinógrafo Brabender con amasadora de 300 g de capacidad. Luego se incorporó el agua a una temperatura tal que permitiera lograr una temperatura de masa de 24-26° C, y se amasó durante 3 minutos, se dejó 2 minutos de reposo y luego 12 minutos más de amasado a 60 rpm. Faltando 5 minutos para finalizar el amasado se agregó la sal (Sánchez *et al.*, 1983). La cantidad de agua a utilizar fue la correspondiente a la absorción de agua en farinógrafo. La fermentación se llevó a cabo en una cámara termostatzada a 27° C y con una humedad relativa del 75-80%. El control de las etapas de fermentación se realizó con un medidor de empuje, que consiste en un cilindro de vidrio (75 mm de altura y 45 mm de diámetro) con un pistón que se eleva durante la fermentación. La primera fermentación concluyó cuando se duplicó el volumen de la masa (Tosi *et al.*, 2002). Luego se cortó la masa en trozos de 200 g, se prepararon bollos, se dejaron reposar durante 15 minutos y se armaron las piezas, que luego se estibarón en tabla con tela y se llevaron a segunda fermentación, que concluyó cuando se triplicó el volumen inicial. Las piezas fueron llevadas a cocción a 210° C durante 30 minutos en horno eléctrico (Ojalvo S.A., Santa Fe, Argentina) con inyección de vapor.





### III.7.1.2. Pan tipo Molde

Formulación: 300 g de harina en estudio (sin aditivo utilizada como testigo y con aditivos seleccionados en concentraciones elegidas) proveniente de cada variedad de trigo seleccionado, 15 g de levadura, 6 g de NaCl, 18 g de azúcar, 9 g de manteca (con 32° C de punto de fusión y 6 g de leche en polvo desgrasada. Se añadió agua de acuerdo con la absorción de agua en farinógrafo para obtener una consistencia de masa igual en todos los casos y se templó a fin de obtener, al final del amasado, una temperatura de la masa entre 24 y 26° C. Se amasó durante diez minutos en el farinógrafo a 60 rpm. La masa fue formada y fermentada a 27° C y 80% de humedad relativa, el control de la fermentación se realizó con un medidor de empuje descrito anteriormente. La primera fermentación terminó cuando la masa dobló su volumen. Luego se dividió la masa en porciones de 150 g, se laminó, se enrolló y se colocaron en los moldes (5,5 cm, 7 x 17,5 cm lados inferiores altos y 9 x 18 cm lados superiores) para una segunda fermentación. La masa cuadruplicó el volumen inicial. El horneado se llevó a cabo en horno eléctrico (Ojalvo S.A., Santa Fe, Argentina) a 210° C durante 25 minutos.

### III.7.1.3. Pan a partir de premezcla

La premezcla (**Figura III.57**) de harina para panificación que fue seleccionado para realizar este estudio fue suministrado por Cerealis-Nacional (Maia, Portugal).

La mezcla contiene harina de trigo, levadura seca, dextrosa y sal. Se prepararon muestras testigos de pan como se describe en el envase del producto. Por lo tanto, a 500 g de esta mezcla se añadieron 320 ml de agua.

Se utilizaron dos tipos de máquinas domésticas de fabricación de pan (**Figura III.57**): A – Moulinex con 2 paletas y 1650 W de potencia (Groupe SEB, Ecully, Francia), y B - Clatronic con 1 paleta y una potencia de 600 W (Clatronic BBA Internacional GmbH, Alemania). Las condiciones de amasado y cocción fueron las mismas en ambas máquinas utilizadas. Los panes aditivados se prepararon de una manera similar a los panes testigos, pero se añadieron 10 g de levadura obtenida seca (con el contenido de  $\beta$ -glucanos) a los 500 g de la harina mezcla comercial. El tiempo



total del programa de panificación fue de 3 horas y el pan se enfrió a temperatura ambiente durante 90 minutos antes de los análisis.

Para los análisis de volumen, textura y color, se prepararon seis panes de la máquina A, tres panes testigos (codificados como PTA) y tres panes aditivados con la adición de 10 g de levadura seca obtenida (codificado como PAA). Del mismo modo, seis panes fueron preparados en el equipo B para obtener muestras PTB y PAB.

En cuanto al análisis sensorial, se preparó otra tanda de tres PTA, tres PAA, y otra de tres PTB y tres PAB para llevar a cabo la formación panel.



**FIGURA III.57.** Envase de premezcla comercial y máquinas hogareñas para la fabricación de pan utilizadas en la presente tesis.

Fuente: Autora de la presente Tesis.



## III.7.2. Evaluación de calidad del pan

### III.7.2.1. Panes tipo Francés y tipo Molde

En ambos tipos de pan, la evaluación se llevó a cabo después una hora de enfriamiento de los panes tipo Francés y Molde.

La calidad de los panes obtenidos (tanto testigos como aditivados) fue evaluada mediante las siguientes determinaciones, que son las más utilizadas en la industria del pan (como fue indicado en el apartado III.6):

- **Volumen:** el volumen de los panes obtenidos se determinó por desplazamiento de semillas de mijo.
- **Peso:** se pesó cada pieza de pan en balanza electrónica de laboratorio.
- **Volumen específico:** se calculó en base a los dos parámetros anteriores. Los resultados se expresaron en términos de  $\text{ml.g}^{-1}$ .

#### *Evaluación sensorial*

El panel sensorial de expertos evaluó las características sensoriales del pan elaborado y definió su aceptabilidad. Fue compuesto por tres personas entrenadas para determinar las características externas e internas (puntuación total) según lo recomendado por Pyler (1973b) y modificado por Sánchez *et al.* (1983).

Los parámetros que asignaron puntajes al pan por parte del panel fueron los descritos en la **Tabla III.17** y **Tabla III.18**.

**TABLA III.17.** Puntajes correspondientes a las diferentes características tenidas en cuenta por el panel de expertos.

Características	Puntaje Máximo
Volumen específico	15
Corteza	15
Textura de la miga	15
Color de la miga	10
Estructura	10
Aroma	15
Sabor	20
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



**TABLA III.18.** Calificaciones de los panes.

Calificación	Porcentaje
Excelente	90-100
Muy bueno	80-89
Bueno	70-79
Regular	60-69
Malo	50-59
Muy malo	40-49

La calificación de los mismos fue realizada según lo propuesto por Tosi *et al.* (2002).

### III.7.2.2. Panes a partir de premezclas

El peso del pan y el volumen se midieron 90 minutos después de retirar el pan de la máquina panificadora.

La calidad de los panes preparados a partir de premezclas, tanto los controles como los aditivados, fue determinada mediante las siguientes evaluaciones:

#### - *Volumen específico (VE)*

Se midió utilizando el método de desplazamiento de la semilla (método interno Cerealis) a través de la siguiente fórmula:

$$VE = S \times (1,35 / P)$$



Donde:

**Volumen (S):** el volumen de los panes obtenidos se determinó por peso de las semillas desplazadas (**Figura III.58**), dado en gramos.

**Peso (P):** es el peso de las semillas desplazadas expresado en gramos, y  $1,35 \text{ (cm}^3\cdot\text{g}^{-1}\text{)}$  es el volumen específico de las semillas de *Phalaris canariensis*.

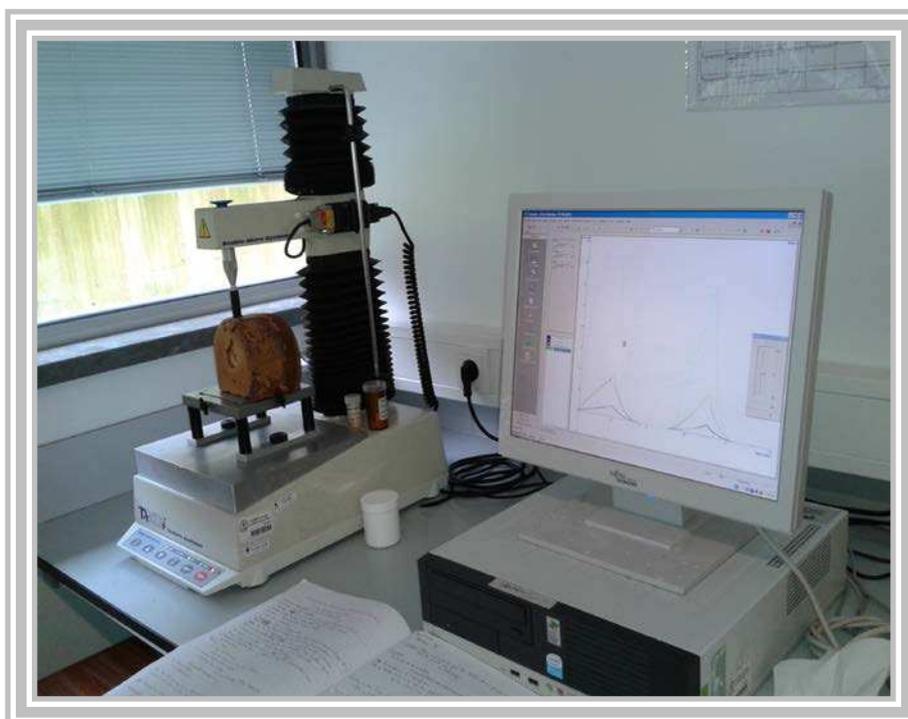


**FIGURA III.58.** Medición del volumen del pan mediante el desplazamiento de semillas.

### - Textura

Para el ensayo de medición de la textura, el pan se redujo a la mitad y las mediciones se realizaron en dos diferentes zonas del pan, la miga y la corteza lateral.

Se realizaron las mediciones utilizando un analizador de textura (modelo TA-XT-2iHR; Stable MicroSystems, Ltd, Surrey, Reino Unido) (**Figura III.59**) que contiene una célula de carga de 5 kg. Las calibraciones se realizaron con una célula de carga de 2 kg.



**FIGURA III.59.** Analizador de textura



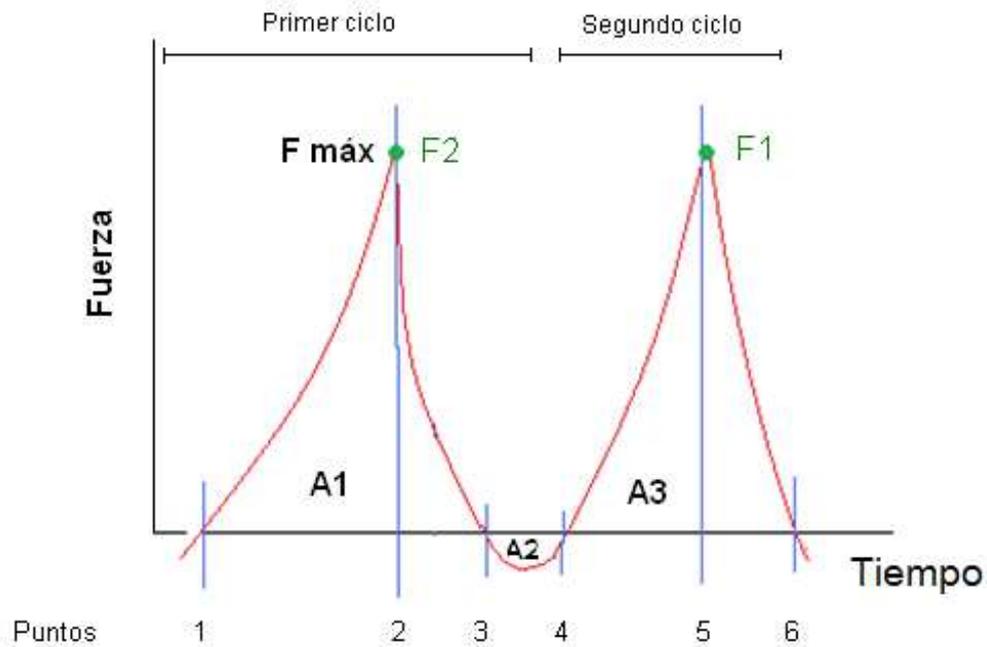
Se utilizó el Software Exponent suministrado con el texturómetro.

La corteza y miga del pan fueron sometidas a una penetración de 30 mm de profundidad a través de una secuencia de dos ciclos usando una sonda esférica (25 mm de diámetro) (Cil Perspex P / 25.; MicroSystems estables, Ltd.), con una velocidad utilizada de  $1 \text{ mm.s}^{-1}$  en tres puntos diferentes, ya sea para la miga o corteza.

Los parámetros de textura evaluados en la curva TPA (*Texture Profile Analysis*) (Figura III.60 y Figura III.61) fueron los siguientes:

- ✓ **Dureza** (N) = fuerza máxima requerida para comprimir la muestra (fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión).
- ✓ **Elasticidad** (m) = altura que la muestra se recupera durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera de compresión y el comienzo de la segunda.
- ✓ **Cohesión** (adimensional) = medida en que la muestra podría ser deformado antes de la rotura ( $A1 / A2$ , A1 es el total de energía requerida para la primera compresión y el A2 energía total requerida para la segunda compresión).
- ✓ **Masticabilidad** (J) = el trabajo necesario para masticar una muestra sólida a un estado estacionario de la deglución (dureza x cohesividad x elasticidad).





**FIGURA III.60.** Curva de análisis de perfil de textura (TPA) típica, con dos ciclos de compresión.

<b>Dureza</b>	F2
<b>Cohesividad</b>	A 4-6 / A 1-3
<b>Elasticidad</b>	t 4 - 5 / t 1-2
<b>Adhesividad</b>	A 3-4
<b>Masticabilidad</b>	C * E * D

Donde:

**Puntos:** puntos en el eje X de la gráfica (tiempo)

**A x-x:** Área entre dos puntos

**t:** Tiempo (seg)

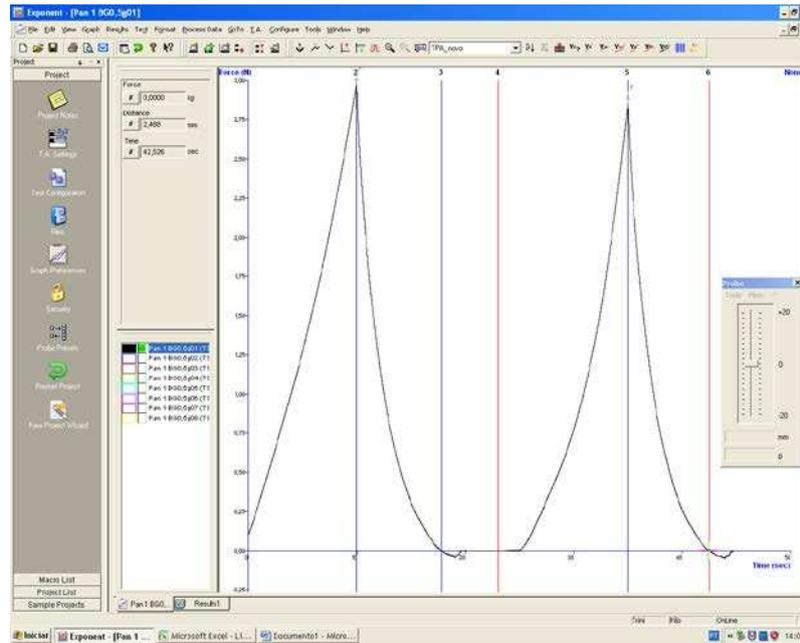
**C:** Cohesividad (adimensional)

**E:** Elasticidad (adimensional)

**D:** Dureza (N)

**F:** Fuerza (N)

**A:** Adeshividad (N.mm)



**FIGURA III.61.** Captura de pantalla de gráfica de medición de textura.

### - Color

Para el ensayo de medición de color, el pan se redujo a la mitad y las mediciones se realizaron en dos diferentes zonas del pan, la miga y la corteza lateral.



**FIGURA III.62.** Colorímetro  
Minolta CR-300.

El equipo utilizado fue un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Ramsey, NJ, EE.UU.) (**Figura III.62**).

Se iluminan con la D65, un observador estándar  $0^\circ$  y un puerto de área de 2,5 cm / visualización se utilizó para la medición del color en el sistema CIELab - luminosidad ( $L^*$ ), rojo ( $a^*$ ) y amarillo ( $b^*$ ) (**Figura III.63**).

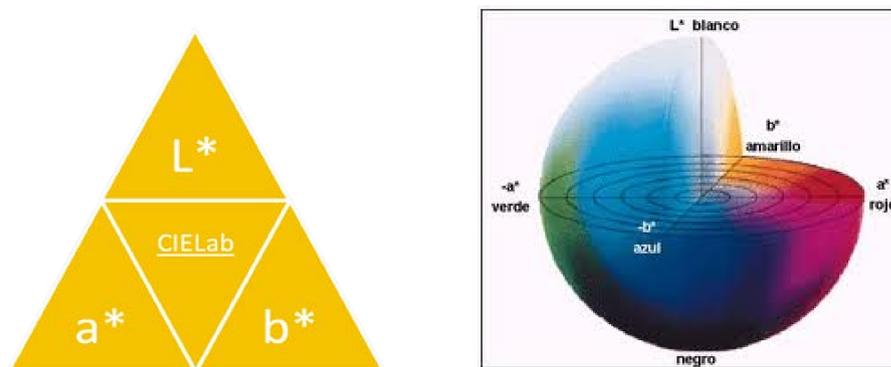


FIGURA III.63. Sistema de medición de color CIE Lab.

El colorímetro se estandarizó con un azulejo blanco que tiene los siguientes valores:  $L^* = 93,5$ ,  $a^* = 1,0$  y  $b^* = 0,8$  antes de la medición en el pan corteza ( $n = 3$ ) y de la miga ( $n = 3$ ).

#### *Evaluación sensorial*

El panel sensorial estuvo compuesto por catorce estudiantes de maestría de la Universidad de Oporto (Portugal) que poseían análisis sensorial en su plan de estudios y expresaron su interés y disposición para llevar a cabo el trabajo. El panel fue capacitado para el análisis descriptivo según directrices de la norma 8586 (ISO, 2012) para evaluar la influencia en el pan de la levadura obtenida seca y tipo de máquina en las características sensoriales del pan. En la sesión 1, los panelistas propusieron varios atributos para iniciar la formación del panel y probaron muestras de pan testigo y se eliminaron términos descriptivos redundantes de la lista (Bassett *et al.*, 2014).

La segunda sesión fue planteada para establecer parámetros de votación para los atributos seleccionados que fueron montados en una escala estructurada (siete puntos). Para ayudar a los panelistas, se utilizaron muestras de referencia de diferentes panes para la formación de cada atributo y respectiva intensidad como se resume en la **Tabla III.19**. En la sesión 3, los panelistas probaron las intensidades de los atributos individualmente utilizando muestras representativas desconocidas. El panel estuvo de acuerdo en dieciséis atributos que constituyen el perfil descriptivo de los panes. Cada evaluador recibió una lista de dieciséis atributos: color de la corteza, color de la miga, la



intensidad del olor, olor “a pan”, olor extraño, elasticidad de la miga (en los dedos), intensidad de aroma, aroma del pan, aroma extraño, salado, astringente, amargo, persistencia del gusto, corteza crujiente, adhesividad (en la boca) y evaluación general.

**TABLA III.19.** Preparación de muestras de pan de referencia para entrenamiento de panelistas sobre atributos y sus escalas.

<i>Atributos del pan</i>	<i>Preparación de la muestras de referencia</i>	<i>Rango</i>	<i>Escala</i>
Color de corteza	Pan testigo adicionado con harina de avena	0 g de avena	3
Color de miga		50 g de avena	4
		100 g de avena	5
<b>Intensidad del olor</b>			
Olor “a pan”	Pan testigo con diferentes períodos de enfriamiento	10 min	6
Intensidad del aroma		90 min	4
Aroma del pan		180 min	6
<b>Elasticidad de miga (en los dedos)</b>			
Adhesividad (en la boca)	Pan testigo con diferentes períodos de enfriamiento	10 min	4
		90 min	2
		180 min	1
Crocantez de la corteza	Pan testigo con diferentes tiempos de cocción en máquina	Bajo	1
		Medio	3
		Alto	5
<b>Olor extraño</b>			
Aroma extraño	Pan testigo preparado con parte de agua	0 ml de suero	1
Astringente	reemplazada por suero de leche líquido	50 ml de suero	3
Amargo		100 ml de suero	5
<b>Persistencia del sabor</b>			
Salado	Pan testigo con incremento de contenido de sal	Contenido de sal de la premezcla	1
		2 g de sal	3
		5 g de sal	6

Los análisis de la varianza sobre los datos obtenidos, se realizaron en dos sesiones más de capacitación y las desviaciones entre los panelistas fueron evaluadas para determinar si el entrenamiento adicional era necesario. En las sesiones de evaluación, se presentó a los evaluadores en un vaso codificado 3 dígitos cubierto con una tapa de vidrio, aproximadamente 50 g de cada muestra (una rebanada con 1,5 cm de espesor), incluyendo la corteza y la miga. La evaluación se llevó a cabo de forma individual, bajo luz blanca y a temperatura ambiente. A cada evaluador se le proporcionó agua y se solicitó limpiar su paladar entre degustaciones. Se analizaron en



---



tres sesiones, tanto los panes testigos (tres PTA y tres PTB) y los panes aditivados (tres PAA y tres PAB).

### III. 8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los ensayos del apartado referido a las harinas comerciales se efectuaron como etapa de entrenamiento. Se evaluaron las características fisicoquímicas y se encuadraron dentro del CAA, como también se llevó a cabo la elaboración de pan tipo Francés y se evaluaron sus *performances* tecnológicas de las harinas que se consumen, por lo que se trabajó con el valor promedio de duplicados de los resultados obtenidos en los ensayos.

Los datos obtenidos en el estudio de aditivos, fueron analizados estadísticamente mediante los programas SPSS, Versión 20 (SPSS, Chicago, IL, USA) y Statgraphics 5.0 (Manugistics, Inc., Rockville, MD, USA). El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante la comparación de valores medios obtenidos por triplicado de ensayos experimentales. Para la determinación de diferencias significativas que existen entre las muestras, se realizó dicha comparación de medias por el método de rango múltiple de Duncan sobre los valores de las respuestas.

El paquete estadístico Statgraphics, además de utilizarse para el análisis del conjunto de datos, se utilizó como herramienta estadística de comparación en el análisis de componentes principales (PCA). Este método proyecta la información de las variables originales en un pequeño número de nuevas variables, llamadas componentes principales (PC), que son combinaciones lineales de las variables originales. Los PC son ortogonales entre sí y dan, en orden decreciente, la mejor descripción de la variabilidad en los datos. Esto hace que sea posible obtener una visión general de los datos, de encontrar las propiedades que se relacionan y qué propiedades son las más importantes para distinguir entre muestras (Aamodt *et al.*, 2003). Dos variables que están cerca una de la otra en la trama representan las propiedades que varían de la misma manera, mientras que las variables que aparecen en los lados opuestos están correlacionadas negativamente. Las variables situadas en direcciones perpendiculares a lo largo de los ejes de PC son independientes una de otra. Para explorar más profundamente estas relaciones se pidió un tercer componente.



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV



## Capítulo IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una mejor discusión y comprensión de los resultados obtenidos, este Capítulo es dividido en distintas secciones.

### IV.1. SECCIÓN I: Estudio fisicoquímico, reológico y tecnológico de harinas existentes en el mercado minorista

Esta sección del trabajo de Tesis fue propuesta como parte de un plan de tareas de entrenamiento en los métodos y técnicas utilizadas, como también en los criterios tecnológicos vinculados a la temática abordada.

En la **Tabla IV.20** se presentan los resultados del análisis de la composición de las distintas harinas evaluadas.

**TABLA IV.20.** Composición química de harinas comerciales.

HARINA	TIPO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNAS (%) (bs)	GRASA (%) (bs)	CENIZAS (%) (bs)	CH (%) (bs)	GH (%)
1	0000	12,3 ±0,14	9,65 ±0,39	0,847 ±0,007	0,389 ±0,004	78,2	20,8
2	0000	12,2 ±0,14	9,64 ±0,39	0,682 ±0,006	0,816 ±0,008	78,0	23,0
3	000	12,6 ±0,14	11,29 ±0,45	0,990 ±0,008	0,723 ±0,007	76,1	20,0
4	000	12,0 ±0,13	10,61 ±0,42	1,481 ±0,012	0,677 ±0,007	76,7	23,8
5	000	12,2 ±0,14	10,74 ±0,43	1,377 ±0,011	1,065 ±0,011	76,2	22,0
6	000	11,9 ±0,13	12,16 ±0,49	1,030 ±0,008	0,776 ±0,008	75,8	27,0
7	000	13,4 ±0,15	11,64 ±0,47	1,272 ±0,010	1,556 ±0,015	74,1	23,3

*CH: Carbohidratos, GH: Gluten húmedo, bs: base seca*

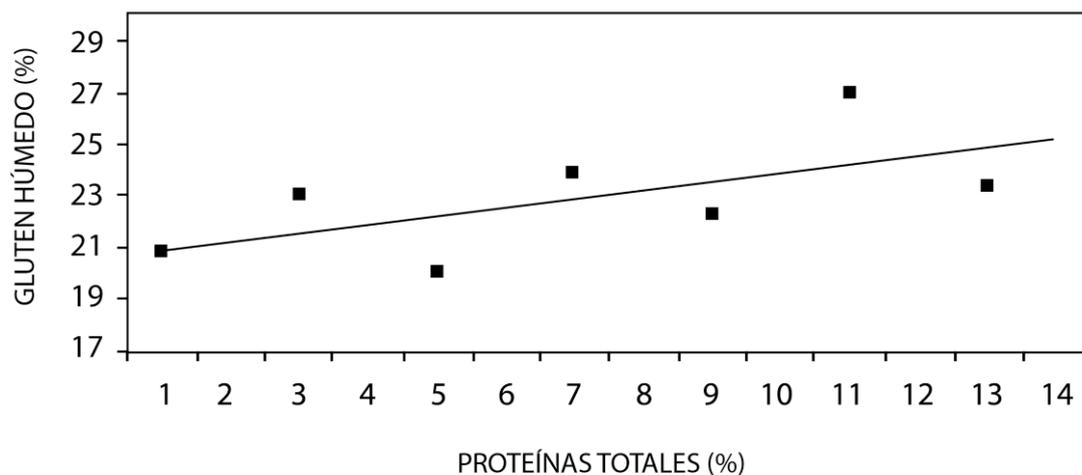
---



Al analizar la composición química de las harinas comerciales (**Tabla IV.20**) respecto a las exigencias que se definen y detallan para harinas comerciales en el Capítulo IX del CAA (**Tabla I.7**) se observó que:

- ✓ La humedad en todas las muestras evaluadas se encuentra por debajo del límite máximo establecido por el CAA (**Tabla I.7**). Valores similares fueron reportados por Afolabi *et al.* (2001) y Montoya López & Giraldo Giraldo (2010). Por lo que puede esperarse una buena conservación desde el punto de vista microbiológico.
  
- ✓ La muestra de harina N°1 fue la única que no presentó una cantidad de cenizas superior a lo estipulado por el Código Alimentario Argentino para las harinas 000 y 0000 (**Tabla I.7**) con valores similares a los establecidos por Vernaza *et al.* (2011) y Alasino *et al.* (2011b). De acuerdo a la fortificación obligatoria con Hierro, se encontró que los niveles de este mineral varían según la marca comercial, hallándose como valor máximo en el rótulo 7 mg.100g<sup>-1</sup> (muestras harinas N°1 y N°6), lo que equivale a una incorporación de 20 mg.100g<sup>-1</sup> de sulfato ferroso, fortificante empleado en estos productos. Por lo que se puede decir que este agregado no es el causante del alto contenido en cenizas.
  
- ✓ Si se tiene en cuenta que el contenido de proteínas totales debe ser mayor al 7% para obtener buenos resultados tecnológicos, se puede ver que este nivel fue superado en todas las muestras (el rango estuvo entre 9,64% y 12,16%), similar a lo reportado por Alasino *et al.* (2011b). Por otro lado se puede ver que el contenido de gluten húmedo fue bajo (menor de 25%) para 6 de las 7 harinas analizadas.
  
- ✓ Se observó una tendencia, si bien no hay una buena correlación ( $R^2=0,509$ ) entre la cantidad de proteínas totales y el contenido de gluten húmedo (**Figura IV.64**). Steffolani *et al.* (2007) encontró una fuerte asociación entre los contenidos de gluten húmedo y proteínas, coincidiendo con de la Horra *et al.* (2012).





**FIGURA IV.64.** Relación entre proteínas totales y gluten húmedo.

En la **Tabla IV.21** se presentan los resultados de los ensayos reológicos realizados en las harinas comerciales:

**TABLA IV.21.** Ensayo farinográfico y alveográfico de harinas comerciales.

	<i>HARINA</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>FARINOGRAMA</i>							
Absorción de agua (%)	66,5	61,4	63,8	63,2	60	64,4	62
Absorción de agua base 14%	62,9	58,1	60,5	59,9	56,8	61,4	58,7
Desarrollo (min)	12	2,5	10	2,5	2,5	10	19,5
Estabilidad (min)	9,5	>18	13	11,5	18	11	5
Ablandamiento (UB)	50	10	80	80	20	100	60
<i>ALVEOGRAMA</i>							
P	157,3	111,4	129,0	83,6	91,5	109,1	136,6
P/L	3,90	2,53	2,74	1,06	1,50	1,51	3,0
W	267	216	269	222	232	301	354

*P*: tenacidad, *L*: extensibilidad, *P/L*: relación existente entre tenacidad y extensibilidad de la masa, *W*: fuerza panadera.

Los valores son promedio de duplicado de los ensayos.



A partir de los ensayos reológicos (**Tabla IV.21**) se puede ver que:

- ✓ Hay una variación en los parámetros farinográficos fundamentalmente en el tiempo de desarrollo (2,5 a 19,5 minutos) y ablandamiento (10 – 100 UB). Se puede decir que aquellas harinas que tienen alto tiempo de desarrollo y bajo ablandamiento son buenas para panificación, pero no es absolutamente indicio de una buena calidad de pan (Millar, 2003).
- ✓ Con respecto a los parámetros alveográficos se puede ver que 4 de las 7 harinas presentan una relación P/L muy alta (harinas N°1, 2, 3 y 7) a diferencia de los valores inferiores reportados por Islas Rubio *et al.* (2005). Mientras, las otras 3 harinas (N°4, 5 y 6) presentan una relación normal para nuestra harinas, similar a lo reportado por Alasino *et al.* (2011c). Una harina con P/L mayor a 1,5 (denota una alta tenacidad) puede dar panes muy apretados y de bajo volumen. Por otro lado el W que presentaron las harinas fue variable, siendo en algunos casos (harinas N° 2, 4 y 5) inferior a 250 que es un valor que se estima como base para tener una buena *performance* panadera (Kohli *et al.*, 2003). Solamente 2 harinas (N°6 y 7) presentaron valores muy superiores a 250.

En la **Tabla IV.22** se presentan los resultados de los ensayos de panificación realizados en las harinas comerciales:

**TABLA IV.22.** Evaluación sensorial y volumen específico del pan elaborado con harinas comerciales.

	<i>HARINA</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>Volumen específico (ml.g<sup>-1</sup>)</i>	3,28	4,24	4,35	3,41	4,01	4,55	4,88
<i>Puntaje Total (máx. 100)</i>	81,1	89,4	87,5	63,2	79,8	86,6	79,1
<i>Calificación</i>	MB	MB	MB	R	B	MB	B

A partir del ensayo de panificación (**Tabla IV.22**) se observó que:

- ✓ 5 de las 7 harinas, presentaron volumen específico mayor de 4 ml.g<sup>-1</sup>.
- ✓ El 70% de las harinas presentaron una *performance* muy aceptable (puntaje mayor de 79).



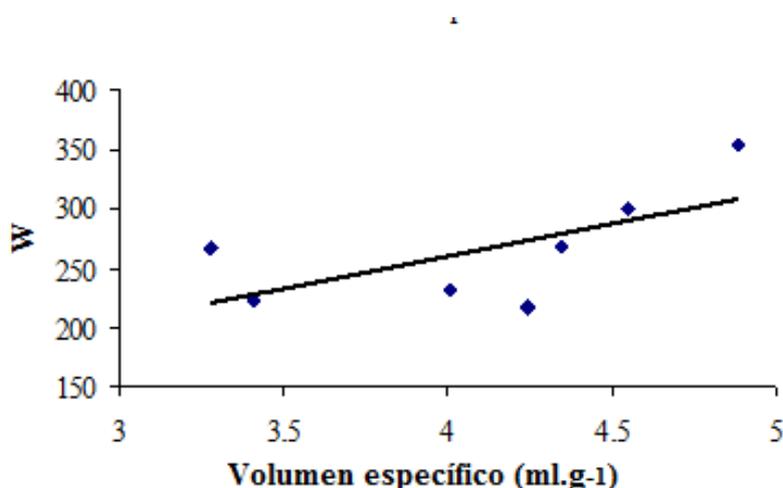
Analizando estos resultados, se puede decir que no siempre un parámetro reológico describe con exactitud la *performance* panadera.

✓ Si se observan los valores de P/L de la **Tabla IV.23** y se tiene en cuenta la discusión sobre los valores altos, no hay coincidencia con los resultados obtenidos para el ensayo de panificación.

**TABLA IV.23.** Valores de relación P/L y volumen específico del pan elaborado con harinas comerciales.

	<i>HARINA</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>P/L</i>	3,90	2,53	2,74	1,06	1,50	1,51	3,0
<i>Volumen específico (ml.g<sup>-1</sup>)</i>	3,28	4,24	4,35	3,41	4,01	4,55	4,88

✓ Si se analiza el parámetro W se tiene una tendencia aunque no una buena correlación ( $R^2 = 0,41$ ) (**Figura IV.65**).



**FIGURA IV.65.** Relación entre volumen específico y W.

✓ Para conocer la importancia del alto contenido en cenizas sobre el puntaje del pan, se observó que el puntaje por color de miga con el contenido en cenizas tuvo una alto grado de correlación ( $R^2 = - 0,75$ ), lo que implica que a menor contenido de cenizas, mayor puntaje por color de miga, en coincidencia con la relación establecida por Ribotta *et al.* (2002).



Se concluye de manera parcial sobre esta sección del trabajo, que se pudo definir cual es la importancia de los ensayos fisicoquímicos y reológicos en la *performance* panadera de una harina, como también se pudo establecer la situación existente en cuanto a calidad de las harinas de trigo en el mercado minorista.

## IV.2. SECCIÓN II: Estudio fisicoquímico, reológico y tecnológico de las harinas obtenidas de trigos de variedades comerciales

En la **Tabla IV.24 (a)** se presentan los resultados de los parámetros de calidad evaluados a los granos de trigo.

**TABLA IV.24 (a).** Parámetros de calidad del grano.

Variedad	Peso de 1000 granos (g)	Peso hectolítrico (PH) (g.l <sup>-1</sup> )	Indice de Pelshenke
1	34,5	78,43	Débil
2	41,4	86,34	Fuerte
3	41,5	82,98	Débil
4	41,0	84,84	Fuerte
5	32,9	83,84	Fuerte
6	41,8	81,72	Fuerte
7	37,4	77,53	Fuerte
8	40,4	83,18	Fuerte

Los resultados de peso de 1000 granos, fueron superiores a los valores medios esperados de obtener para cada variedad. Esta característica es importante ya que ha sido reportado que el tamaño del núcleo de la semilla es correlacionada con el



---



rendimiento de molienda de harina cuando se estudiaron los cultivares de trigo duro (Marshall *et al.*, 1986). En caso de variedades de ciclos cortos, disminuye el contenido de almidón en relación a las proteínas al acortarse el período de llenado y baja el peso de los granos, alterando en muchos casos la relación entre sus componentes (Jenner *et al.*, 1991; Daniel & Triboi, 2000). Bergman *et al.* (2000) indicó que cuanto menor es el tamaño del endosperma de la semilla, mayor es el tiempo de molienda y el tamaño de partícula de harina. La sequía reduce a menudo el tamaño de grano y el rendimiento de la molienda, por lo tanto se considera que esta condición reduce la calidad del grano (Weightman *et al.*, 2008). Berman *et al.* (1996) sugiere que las características del núcleo podrían ser utilizadas como un predictor de rendimiento en harina. Algunos autores reportan que el peso hectolítrico (PH) puede ser un buen indicador del rendimiento en harina, mientras que otros sugirieron que no es una medición de confianza para poder predecir el rendimiento molinero (Schuler *et al.*, 1995). A pesar de lo citado anteriormente, no se ha encontrado otro método para reemplazar el PH.

Al realizarse la caracterización mediante el Índice de Pelshenke, las variedades 2, 4, 5, 6, 7 y 8 demostraron ser trigos con glútenes “duros” de buena calidad, otorgando expectativas de una buena retención de CO<sub>2</sub> durante la fermentación de las harinas en el proceso de panificación, ya que a mayor índice más fuerza tiene el gluten, pues éste depende de la fuerza de los enlaces entre las cadenas de gluten (Sandoval *et al.*, 2012). Las muestras 1 y 3 resultaron débiles en la prueba realizada.

El rendimiento de molienda de las variedades comerciales de trigos evaluados fue mayor que 60% en todos los casos. La obtención de harina a partir de la molienda en planta piloto (experimental), según Osella *et al.* (2006), aporta abundante información relativa al futuro comportamiento tecnológico de la harina del trigo molido a escala industrial.

A continuación en la **Tabla IV.24 (b)**, se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos de las harinas de trigos de variedades comerciales.





**TABLA IV.24 (b).** Características fisicoquímica de harinas obtenidas de variedades comerciales de trigos.

Variedad	Humedad (%)	Cenizas (%) (bh)	Gluten húmedo (%)	AWRC (%)	Falling number (seg)	Almidón dañado (%)
1	13,9	0,54	29,5	82,0	448	11,6
2	12,5	0,47	27,0	92,2	370	13,4
3	14,0	0,57	24,0	90,5	352	13,6
4	13,4	0,53	28,0	94,6	366	14,4
5	13,3	0,64	26,4	97,9	473	12,8
6	13,8	0,56	26,7	88,8	447	11,6
7	13,7	0,52	16,4	88,9	411	10,9
8	14,0	0,49	20,2	79,0	448	9,0

*AWRC:* (Alkaline Water Retention Capacity) - Retención alcalina de agua, *bh:* base húmeda

Los valores de humedad encontrados en las harinas son apropiados, por lo tanto aseguraría la conservación adecuada desde el punto de vista microbiológico.

También podemos ver que los niveles de ceniza en estas harinas están dentro de los valores de harinas comerciales, entre 0,47 y 0,65 g de cenizas / 100 g de harina, tipificándose a todas las variedades entre 000 y 0000, según el Artículo 661 - (Res 167, 26.1.82) del CAA.

En el caso gluten húmedo, las variedades 7 y 8 presentan valores muy bajo para esperar un adecuado comportamiento tecnológico.

La mayoría de los resultados de AWRC fueron más altos que los obtenidos por Barrera *et al.* (2007). Podemos apreciar que en general a valores altos AWRC corresponden también altos valores de almidón dañado de la harina, analizando estos valores se obtuvo una correlación aceptable ( $R^2 = 0,62$ ). Esto es importante porque los valores de AWRC están asociados con la fuerza panadera y el almidón dañado también se asocia con la mejora del comportamiento tecnológico, al mismo tiempo que absorbe una mayor cantidad de agua (Bushuk & Rasper, 1994).





Respecto al *falling number*, los tiempos variaron entre 366 y 448 segundos, estarían indicando que son harinas con baja actividad de  $\alpha$ -amilasa. Por lo tanto, hay que adicionar esta enzima para que no se transforme en una variable de proceso. Esto evitaría problemas en la fermentación. De igual manera, los granos con un bajo *falling number* debido a la alta actividad de  $\alpha$ -amilasa provoca importantes pérdidas económicas para los productores, como problemas en el procesamiento y almacenamiento, lo que conduce a productos finales de mala calidad (Mares & Mrva 2008; Boz *et al.*, 2012).

El mayor valor para almidón dañado lo presentó la harina de la variedad 4, con un valor de 14,4% y el menor lo presentó la harina de la variedad 8 con un valor de 9%. Este parámetro influye sobre las propiedades de las harinas, en especial sobre la hidratación, ya que el almidón absorbe tres veces más de agua al estar dañado que los gránulos cuando se encuentran sanos (Bushuk & Rasper, 1994). Sánchez *et al.* (1986) manifestaron una alta correlación entre el contenido de almidón dañado de las harinas y su capacidad de absorción de agua en el farinógrafo, por lo que se espera que las harinas de la variedad 8 posean una menor absorción de agua durante las evaluaciones farinográficas y elaboración del pan.

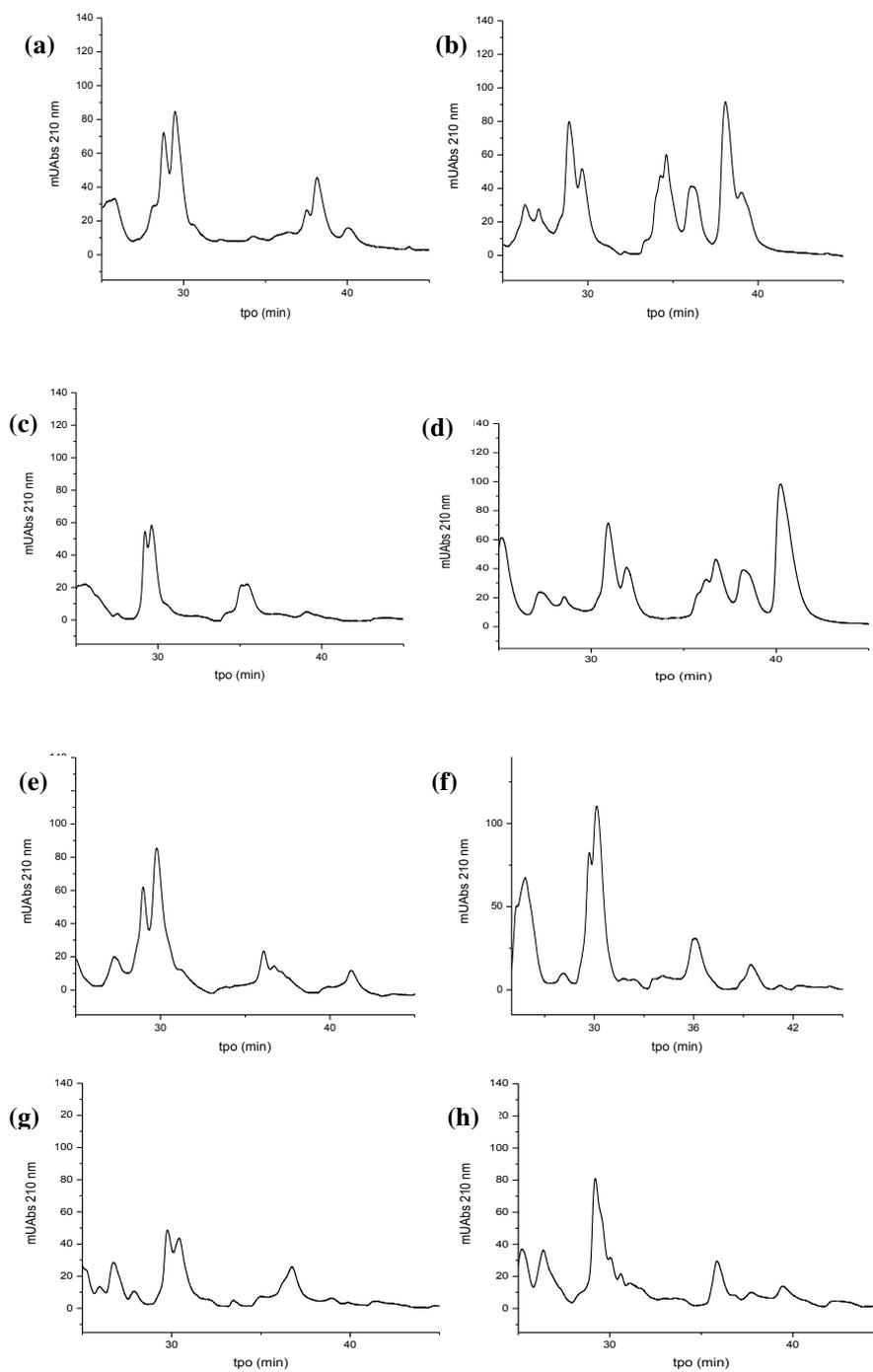
Además se puede agregar, que una harina con un alto contenido de almidón dañado (más de 10%) y con una buena actividad enzimática, tendría una coloración muy oscura en la corteza debido a una cantidad de azúcares que contribuirían a exacerbar la reacción de Maillard (Sánchez *et al.*, 1983).

## **IV.2.1. Análisis de proteínas formadoras de gluten de las harinas obtenidas: Gliadinas y Gluteninas**

### **IV.2.1.1. Gliadinas**

La **Figura IV.66** muestra los cromatogramas de las harinas obtenidas de los trigos de variedades comerciales.

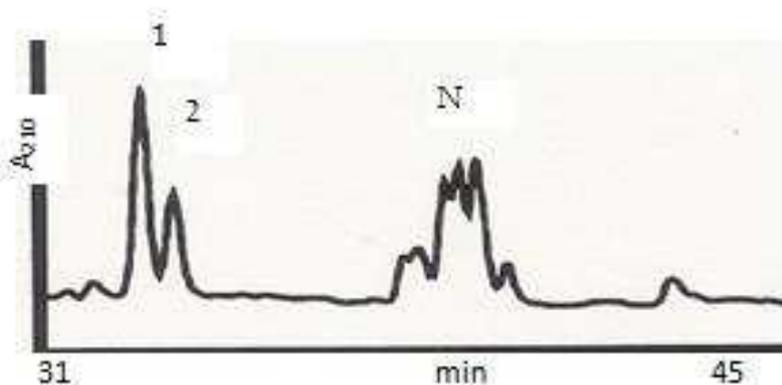




**Figura IV.66.** Cromatogramas de harinas de las variedades de harinas de trigos en estudio.

(a) Variedad 1, (b) Variedad 2, (c) Variedad 3, (d) Variedad 4, (e) Variedad 5,  
(f) Variedad 6, (g) Variedad 7, (h) Variedad 8.

Según Robutti *et al.* (1998) un cromatograma desarrollado en las mismas condiciones presenta picos que los autores llaman N (entre 37 y 41 min) y se asocian negativamente con la calidad de cocción y el pico 1 y 2 (32 a 33,5 min) se asocian positivamente con la calidad de los parámetros del pan (**Figura IV.67**).



**FIGURA IV.67.** Pico 1, 2 y N de gliadinas.

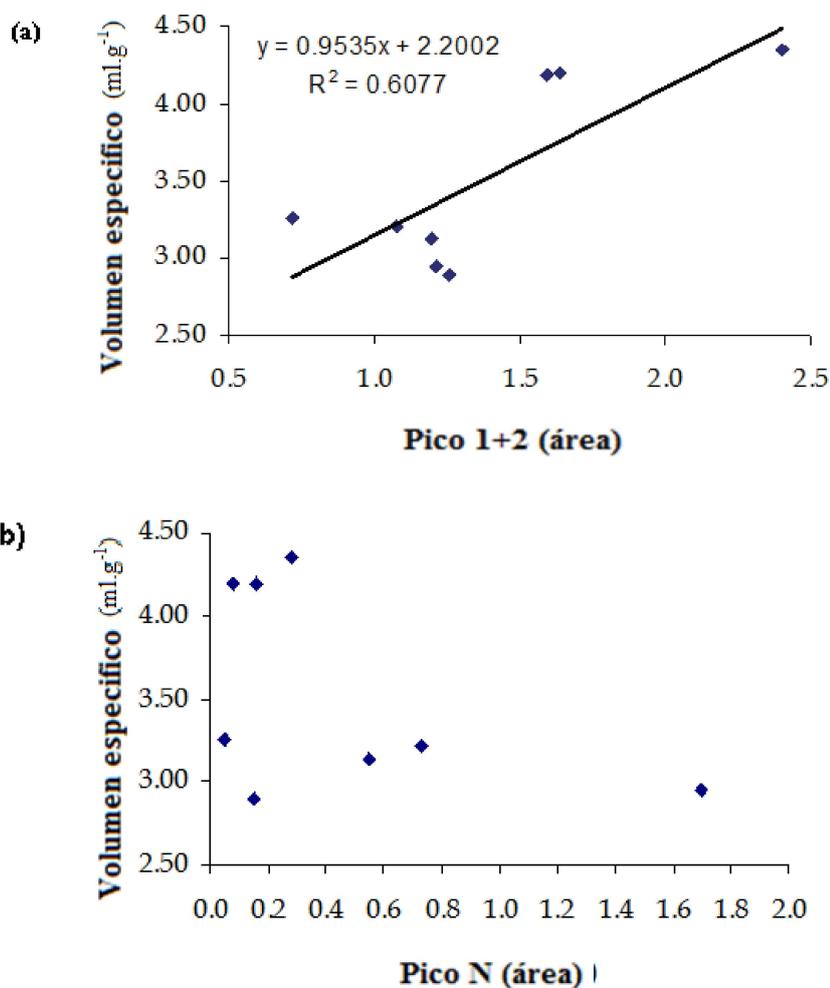
En los cromatogramas de las gliadinas de las harinas obtenidas (**Figura IV.66**), se observa que la mayoría de las muestras evaluadas excepto la Variedad 7, presentan alta proporción de picos 1 y 2, asociados a una alta calidad panadera.

La importancia de la gliadina y sus subgrupos a la funcionalidad de la harina de trigo ha sido objeto de debate considerable en la literatura. Algunos investigadores han sugerido que la gliadina regula el potencial de volumen de la pieza panaria mientras que otros hacen hincapié en la glutenina como el principal determinante de la calidad del pan (Khatkar *et al.*, 2002). Huebner *et al.* (1995) encontraron que las gliadinas que aparecen en 36,5 - 39,5 minutos se correlacionan positivamente con el volumen del pan. De acuerdo con Heyne (1987), los picos entre 24 y 32 minutos son correlacionados con la calidad de fabricación de pan.

En un intento de analizar los picos 1 y 2 y los picos N, se propuso sumar las áreas de los picos 1 y 2 y correlacionarlos con el volumen específico por un lado, y por otro, las áreas de los picos N con el volumen específico.

Este estudio se realizó con los dos tipos de panes: pan tipo Francés y pan tipo Molde (ver volúmenes específicos en Capítulo VII, **Tabla VII.34**).

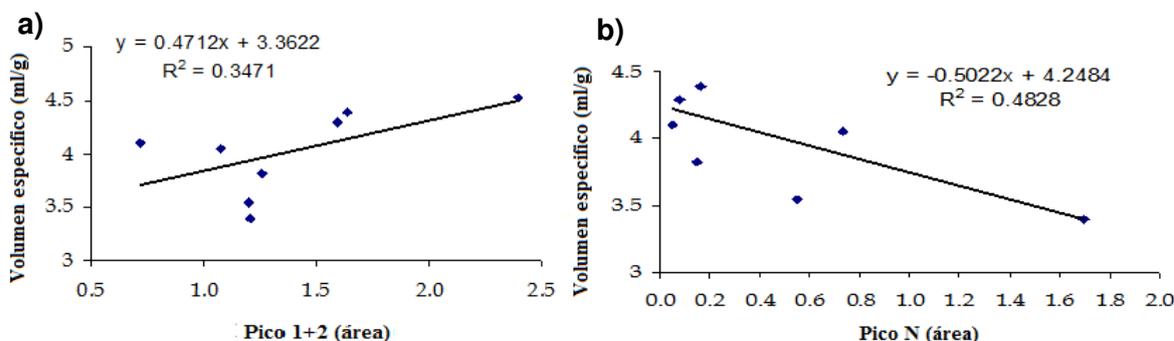
En la **Figura IV.68 (a)** se muestra las correlaciones entre el volumen específico y la suma de las áreas de los picos 1 y 2 (1+2), mientras que en la **Figura IV.68 (b)** entre las áreas de los picos N vs. volumen específico, en ambos casos de pan tipo Francés.



**FIGURA IV.68.** Áreas de los picos 1 + 2 **(a)**, y N **(b)**, en función del volumen específico para el tipo de pan Francés.

La **Figura IV.68 (a)** muestra que existe correlación entre las áreas de los picos 1 + 2 con respecto al volumen específico. Se puede ver que hay una tendencia que, harinas con mayor área (picos 1 + 2), originan mejor volumen específico y esto es consistente con el hallazgo de Robutti *et al.* (1998). Por otra parte, en la **Figura IV.68 (b)** no se observa correlación entre picos N y volumen específico.

Por otro lado, en la **Figuras IV.69** se muestran las correlaciones entre el volumen específico y las áreas de los picos 1 + 2 **(a)** y N **(b)** para el tipo de pan de Molde.



**FIGURA IV.69.** Correlaciones entre las áreas de los picos 1 + 2 **(a)** y N **(b)**, en función del volumen específico para el tipo de pan de Molde.

En la **Figura IV.69 (a)** muestra que existe correlación entre volumen específico del pan tipo Molde y las áreas de los picos 1 + 2. En la **Figura IV.69 (b)**, con respecto a la correlación entre el volumen específico y las áreas de los picos N, se puede observar que presentan una tendencia negativa.

La suma de las áreas de los picos 1 y 2 podría utilizarse en mejoramiento, de especial manera en casos donde el material a analizar (trigo) sea escaso para realizar las pruebas de panificación. Pero también los picos N nos dicen acerca de la mala calidad del trigo para panificar.

Entonces, tanto la suma de las áreas de los picos 1 + 2 como el área de los picos N, podrían ser buenas herramientas para predecir calidad de trigo para panificar.

#### IV.2.1.2. Gluteninas

Aunque HMW-GS son el grupo principal de proteínas del gluten que determinan las características panaderas de la masa, LMW-GS también cumplen un importante rol. En general, LMW-GS se relacionan con la resistencia y la extensibilidad de la masa

(Metakovskii *et al.*, 1990, Andrews *et al.*, 1994, Cornish *et al.*, 2001) e incluso algunas formas alélicas causan mayores efectos sobre las propiedades de la masa que las HMW-GS (Payne, 1987; Gupta *et al.*, 2015).

La **Tabla IV.25** muestra la composición de las HMW-GS y los valores de volumen específico de pan tipo Francés y pan tipo Molde.

**TABLA IV.25.** Composición de HMW-GS, volumen de SDS y volumen específico de pan tipo Francés y pan tipo Molde.

Variedades	HMW-GS					SDS (ml)	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	
	Loci						Pan Francés	Pan Molde
	1BL/1RS	Glu-A1	Glu-B1	Glu-D1	Glu-1			
1	NO	2*	7+8	5+10	10	14 ± 2,9	3,13 ± 0,05	3,55 ± 0,1
2	SD	SD	SD	SD	SD	13 ± 0,3	3,21 ± 0,1	4,05 ± 0,06
3	NO	1	7+8	5+10	10	16,3 ± 1,9	2,90 ± 0,07	3,82 ± 0,11
4	NO	2*	7+8/9	5+10	9	12,4 ± 0,85	2,95 ± 0,09	3,40 ± 0,11
5	NO	2*/nulo	7+9	2+12	7	13,6 ± 1,4	4,19 ± 0,14	4,29 ± 0,14
6	NO	2*	7+9	5+10	9	13,3 ± 2,3	4,35 ± 0,13	4,53 ± 0,12
7	NO	2*/nulo	7+8	2+12	8	11,3 ± 1,3	3,26 ± 0,10	4,10 ± 0,13
8	NO	2*	7+8	5+10	10	13,5 ± 0,7	4,20 ± 0,13	4,39 ± 0,13

**HMW-GS:** Gluteninas de alto peso molecular, **SDS:** dodecilsulfato sódico, **SD:** sin datos

El 71,4% de las variedades de trigo en estudio poseen un alelo de glutenina de alto peso molecular 5+10, el que según Payne (1987) y Šasek *et al.*, (2000) se asocia a este alelo a una buena calidad panadera. Coincidiendo con el citado autor, Bradová &

---



Štočková (2010), propone que no solamente el alelo 5+10, sino también el 7+9, se haya relacionado con el buen comportamiento en la panificación. El 43% de las muestras evaluadas presentaban dicho alelo. La variedad 6 fue la única entre las evaluadas que contenía ambos alelos (7+9 y 5+10) asociados a buena calidad panadera según Bradová & Štočková (2010) y fue la que mayor volumen específico obtuvo tanto en el caso de pan Francés como en el pan de Molde. Los marcadores de alelos de gluteninas HMW (por ejemplo GLU 1D 5 + 10) son marcadores que se asocian con buena calidad panadera (Šasek *et al.*, 2000).

Por lo general, las combinaciones que poseen el alelo HMW-GS 2+12 son las de mayor extensibilidad (de la Olán *et al.*, 2012). Esta característica es indeseable en el caso de trigos débiles. Payne (1987) lo relaciona con malas propiedades panaderas. El 28,6% de las variedades presentaron este alelo.

En los casos de los trigos que presentaron los alelos asociados negativamente sobre la fuerza de la masa como son el 6+8 y 2+12, no pareció tener tanta incidencia negativa en el comportamiento tecnológico de las harinas en estudio.

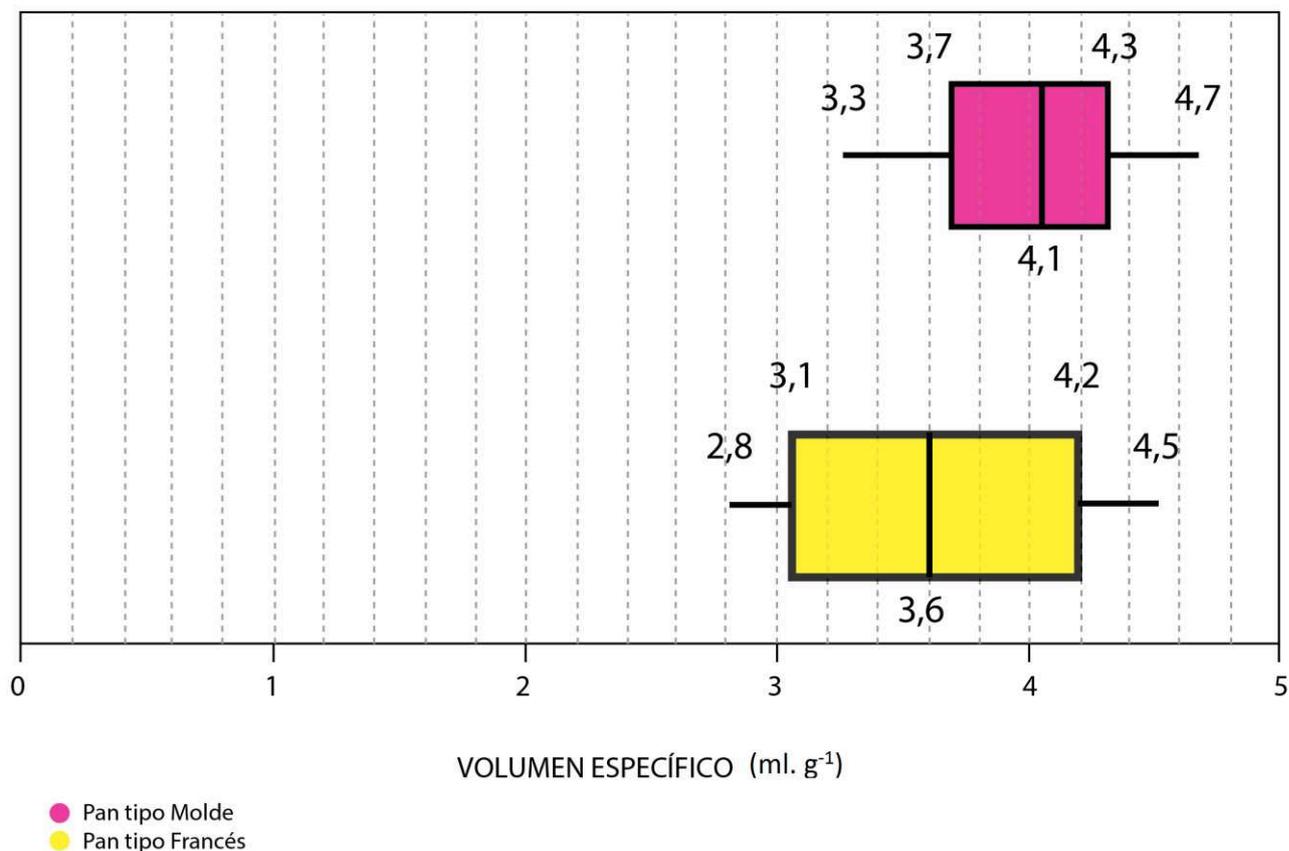
Según Bradová & Štočková (2010), la variabilidad más alta se encuentra dentro de las HMW-GS, en la Glu B1 (7+9 y 6+8) y el alelo “nulo” de locus Glu A1, se muestra como el de mayor calidad para hornear. Este fue presentado por las variedades 5 y 7.

La fracción de gluteninas de la harina insoluble en SDS ha sido altamente relacionada con los parámetros de calidad tales como el volumen de pan y las propiedades físicas de la masa (Schofield, 1994; Weegels *et al.*, 1996). Las enzimas pueden modificar la estructura del macropolímero de gluteninas y por ende influir en la calidad del producto final.

#### **IV.2.2. Análisis de la *performance* tecnológica de los panes tipo Francés y tipo Molde**

En la **Figura IV.70** se muestra en un gráfico Box-Plot los volúmenes específicos de los panes elaborados.





**Figura IV.70.** Box-plot correspondiente a volúmenes específicos de pan tipo Francés y pan de Molde.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la distribución de los datos en ambos grupos resultó diferente presentando mayor dispersión el pan tipo Francés respecto al pan de Molde. No se observan valores extremos en ninguno de los grupos.

Los gráficos Box-Plot pueden ser indicativos de diferencias entre distintos tratamientos. Sin embargo, por si solos los Box-Plot no demuestran dichas diferencias. Se deben utilizar métodos estadísticos para establecer la significación de las diferencias observadas (Maurandi López, 2012).

Para ello se realizó análisis de variancia a través del método Cuadrados Mínimos (LSM) y Mínima Diferencia Significativa (LSD) con 95% de confianza (**Tabla IV.26**).



**TABLA IV.26.** Resultado del análisis de variancia (ANOVA) para los panes tipo Francés y Molde obtenidos de los trigos de variedades comerciales.

Volumen específico	
Tipo de pan	45,15 *
Variedades	34,21 *

(\*) Significativo  $P < 0,05$

Test de Rango Múltiple		
Tipo de pan	Volumen específico (ml. g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza
Francés	3,61 b	(3,53 – 3,70)
Molde	4,02 a	(3,93 – 4,10)
Variedad	Volumen específico (ml. g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza
4	3,17 d	(3,00 – 3,35)
1	3,34 d	(3,17 – 3,51)
3	3,36 d	(3,18 – 3,53)
2	3,63 c	(3,46 – 3,81)
7	4,03 b	(3,86 – 4,20)
5	4,24 a,b	(4,07 – 4,41)
8	4,30 a	(4,12 – 4,47)
6	4,44 a	(4,27 – 4,61)

Letras distintas implican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

De acuerdo al ANOVA realizado se puede ver que los tipos de panificación presentan diferencias significativas como así también las variedades. Se encontró que los volúmenes específicos medios de ambos tipos de panes estudiados, presentaron diferencia significativa entre ellos, considerándolos de este modo grupos heterogéneos. Se puede ver que el volumen específico medio del pan tipo Francés fue 3,61 ml.g<sup>-1</sup> y el volumen específico medio del pan de Molde fue de 4,02 ml.g<sup>-1</sup>.

Por lo analizado se puede decir que la evaluación de pan tipo Francés, donde la pieza se coloca sobre tela y tabla, y se cocina directamente sobre el piso del horno, es la que mejor expresa la calidad de las harinas. Los ensayos para panes de Molde llevan más ingredientes en su formulación, y además utilizan un molde; por lo tanto esto,



---



enmascara la verdadera *performance* panadera de las harinas (Bot *et al.*, 2014a; Gallardo *et al.*, 2015).

Como conclusión parcial de este ítem, para establecer la relación entre las propiedades de la harina de trigo y la *performance* panadera en la evaluación del uso de aditivos, se seleccionó la panificación tipo Francés.

Según los resultados alcanzados en el Test de Rango Múltiple (**Tabla IV.26**), las variedades 5, 6 y 8 no presentaron diferencias significativas entre ellas, obteniendo los mayores volúmenes específicos de pan. Sin embargo, las variedades 1, 3 y 4 presentaron los menores volúmenes específicos, no difiriendo estadísticamente entre ellas. El resto de las variedades (2, 5 y 7) mostraron volúmenes específicos intermedios entre los citados anteriormente.

A pesar de la buena categorización industrial presentada para cada variedad estudiada (**Capítulo III – Tabla III.14**), ninguna tuvo un desempeño tecnológico destacado.

Teniendo en cuenta que cada una de las harinas obtenidas fue procesada en el mismo molino experimental, se asume que el tratamiento que han recibido los granos fue el mismo. Por lo que las diferencias significativas halladas en el comportamiento tecnológico entre harinas, estarían relacionadas con las características heredadas propias de cada variedad y su comportamiento a la molienda, como también su respuesta al ambiente y el manejo recibido durante el ciclo del cultivo. Si bien la aptitud genética de una variedad es fundamental, ya que establecería el nivel máximo de calidad panadera que puede lograr, existen diferentes respuestas debido a una serie de otros factores. Ellos son: la fertilidad del suelo (Wieser & Seilmeier, 1998), la disponibilidad hídrica durante el ciclo de cultivo (Campos *et al.*, 2008), las temperaturas al momento de formación y llenado del grano, y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la cosecha (Graybosch *et al.*, 1996; Cuniberti, 1999). De acuerdo a Ferraguti *et al.* (2013), algunas variedades presentan interacción significativa con el ambiente, por lo que es necesario caracterizar muy bien las condiciones ambientales a las que se someterán, con el propósito que se exprese su potencial.





### Explicación teórica del comportamiento de las variedades

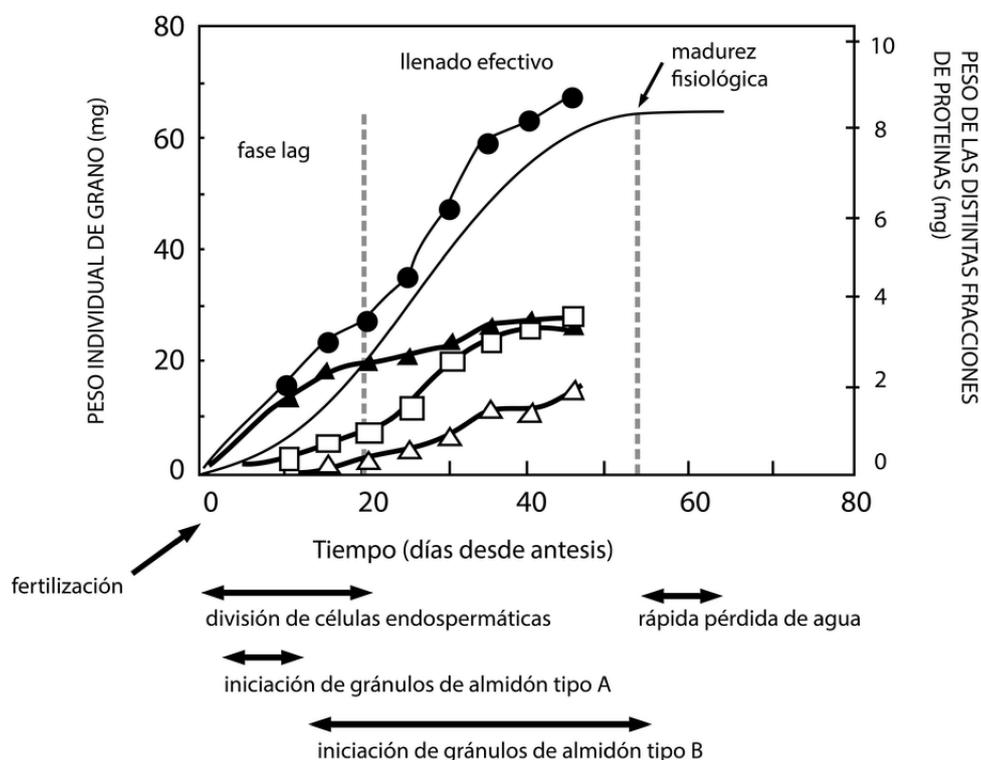
De acuerdo a lo reportado en la bibliografía, a continuación se presentan de manera teórica las posibles causas más importantes (ambiente) que pudieron haber afectado a la expresión del genotipo de las variedades utilizadas en este trabajo.

Las semillas se siembran bajo diferentes condiciones de manejo como densidad y fecha de siembra, fertilización, control de plagas, tipos de suelo, fotoperíodo, temperatura, entre otros. Cabe destacar que éstos, como otros diversos factores ambientales impactan sobre la determinación del rendimiento potencial de los cultivos y, por lo tanto, establecen el rendimiento real logrado (Kichey *et al.*, 2007). De esta manera, ocurre que al producir cultivos en diferentes ambientes varíe su rendimiento, lo cual se define como interacción genotipo - ambiente o estabilidad fenotípica (Rodríguez-González *et al.*, 2011). La disponibilidad hídrica juega un papel esencial antes y durante el desarrollo del cultivo, como también los nutrientes y temperaturas adecuadas en los períodos de definición del rendimiento (encañazón, espigazón-granazón) (Campos *et al.*, 2008), y en el caso particular de la acumulación de proteínas en los granos es dependiente del genotipo, de la disponibilidad de N y de la temperatura (Shewry & Halford, 2002; Dupont & Altenbach, 2003).

A pesar de que las variedades de trigos hayan sido clasificadas en grupos de calidad que presentan rangos similares en los parámetros evaluados, se debe considerar que existe variabilidad en su comportamiento. Entonces es importante destacar que las características industriales de las harinas obtenidas son afectadas en gran medida por la interacción genotipo - ambiente (Savin & Sorlino, 2003). Los factores que influyen en la expresión de la relación entre la carga genética y el ambiente donde se desarrollan las variedades son amplios y diversos.

A continuación, en la **Figura IV.71** se muestra la curva de crecimiento de un grano de trigo que es una sigmoide típica y se divide en 3 partes (aunque las fases se superponen parcialmente) y la evolución del peso de las distintas fracciones de proteínas, en ambos casos en función del tiempo (días desde antesis).





**Figura IV.71. (a) Línea completa:** curva de llenado de un grano de trigo. Las barras horizontales representan los momentos de acumulación de almidón (Stone y Savin, 1999). **(b) Líneas con marcadores:** acumulación de las distintas fracciones de proteínas durante el crecimiento de un grano de trigo: (●), proteína total; (□) gliadinas; (▲) gluteninas; (◻) albúminas / globulinas (Stone y Nicolas, 1996). Modificada por la autora de la presente tesis.

Con respecto a la evolución del peso individual del grano (**Figura IV.71 (a)**), en la primera zona de la curva, se inicia con la fertilización del óvulo y se produce la mayor parte de la división celular que dará origen a las células del endosperma donde luego se almacenarán tanto almidón como proteínas. Este período dura entre 10 a 20 días, aunque su duración varía con la temperatura. El incremento del volumen del grano durante esta fase se realiza a expensas de la entrada de agua y de la actividad mitótica de las células endospermáticas. Esta fase suele denominarse LAG (retraso) debido a que no hay importante ganancia de materia seca. Sin embargo el número de células endospermáticas que se produzcan en este momento condicionará el peso final de los granos (Calderini *et al.*, 1999). Aunque estos gránulos comienzan a formarse muy temprano, no alcanzan su tamaño final hasta la próxima fase de llenado.



La segunda fase es el periodo de llenado efectivo de los granos, que al comienzo, unos 10 - 15 días después de floración se superpone con la Fase I, se produce un crecimiento muy activo de los granos ya que se sintetizan y acumulan la mayor cantidad de almidón y los distintos tipos de proteínas (**Figura IV.71 (b)**). La proporción de las fracciones de proteínas que se depositan en el grano se modifican a medida que va madurando, aumentando en mayor medida las Gli y Glu, que las albúminas y globulinas. El aumento del contenido de proteínas debido a la fertilización nitrogenada tardía (en antesis), puede asociarse no sólo al aumento del contenido de proteínas sino también a cambios en las proporciones de Gli / Glu. Las Gli son las primeras proteínas en depositarse, aparecen 5-10 días después de floración aunque en ese momento sólo representan el 10% de la cantidad total que acumulará en la madurez fisiológica. Las Glu son detectables alrededor de 20 días después de floración, por lo tanto si existe algún tipo de estrés en el llenado de granos, la relación Gli / Glu se modificará. Picos de altas temperaturas pueden modificar la citada relación de proteínas, ya que se afecta la síntesis de las mismas (Wardlaw & Wrigley, 1994, Graybosch *et al.*, 1995; Daniel & Triboi, 2000; Mikhaylenko *et al.*, 2000; Slafer *et al.*, 2004).

En la última Fase (madurez fisiológica) se produce un *plateau* en la curva de crecimiento debido a que no hay incremento de la materia seca porque sólo hay pérdida de agua. En este momento los granos de trigo poseen alrededor del 40% de humedad (Savin & Sorlino, 2003).

Algunas prácticas de manejo ofrecen una alternativa de alto impacto para cumplir con los requisitos de calidad, sin que por ello se comprometa el objetivo de aumentar rendimientos (Savin & Sorlino, 2003; Kamal *et al.*, 2009). Referido a la calidad panadera, según lo reportado por Dubois *et al.* (1998), Gaido *et al.* (2000) y Dubois & Gaido (2004), estos parámetros no fueron afectados cuando se produjo un aumento en el rendimiento de granos.

Al comparar cultivares de un mismo grupo de calidad es frecuente encontrar relaciones negativas entre el rendimiento en grano y el contenido de proteínas (ver en Capítulo VII - **Figura VII.78**) (Loewy, 1995; Stone & Savin, 1999; Quattrocchio *et al.*, 2004; García, 2004; Karamanos *et al.*, 2005; Echeverría, 2006). Este fenómeno es llamado “efecto de dilución” (Proyecto Fertilizar – INTA Pergamino, 2003). Es factible que ciertas variedades, dentro de un medio ambiente particular, no respondan a la regla



---



general de mayor rendimiento, menor porcentaje de proteína, presentando valores estables y más que aceptables tanto en rendimiento de granos como en contenido de proteína (Mikhaylenko *et al.*, 2000; Takayama *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2012).

El contenido de proteínas en el grano está condicionado por la disponibilidad edáfica de N (Martre *et al.*, 2003), pero dependen también de la habilidad del cultivar en la captura del mismo y del manejo que se haya hecho del cultivo (Graybosch *et al.*, 1996), de manera tal que existe una amplia variabilidad (Daniel & Triboi, 2000). Cuando cesa la acumulación del N total en el grano, las Glu pueden aumentar a expensas de otras fracciones proteicas. También las Gli pueden participar en la formación de las Glu. O sea, que cuando ocurren cambios en el contenido y/o en la relación Gli / Glu en el grano debido a esta estrategia de manejo, las masas fabricadas a partir de esas harinas pueden registrar un aumento en su fuerza alveográfica, influyendo directamente en la calidad industrial (Daniel & Triboi, 2000; Mikhaylenko *et al.*, 2000; Shewry & Halford, 2002; INTA Manfredi, 2003; Dupont & Altembach, 2003; Loussert *et al.*, 2008; Kamal *et al.*, 2009). En casos donde las masas son tenaces (excesivamente fuertes y relativamente poco extensibles), se deben a una baja relación Gli / Glu, y requieren un gran aporte de energía para realizar el amasado, por lo tanto mayor costo de producción. También, la baja elasticidad impide que el gas se expanda, y el resultado final es un pan con bajo volumen y alta densidad (Stone & Savin, 1999). Entonces, la fertilización nitrogenada en antesis (**Figura IV.71**), por un lado generaría un incremento en el contenido de proteínas que tienden a aumentar la fuerza de la masa, pero por otro, genera un aumento de la fracción de las Gli que tienden a disminuir la fuerza de la masa. Por lo tanto, el efecto neto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad de los granos en términos generales, es un aumento en la fuerza de la masa ya que el incremento en el contenido de proteínas tiene mayor influencia. De este modo tiende a compensar el efecto negativo del aumento de la relación Gli / Glu (Triboi *et al.*, 2000).

Por lo tanto, una estrategia eficiente para mejorar tanto el contenido de proteínas como también las propiedades reológicas de las masas, es la fertilización con N en antesis (Echeverría, 2006). Sin embargo, según lo reportado por Triboi *et al.* (2000), el incremento del contenido de proteínas no siempre mantiene las proporciones presentes en los granos sin fertilizar, por lo que esta respuesta es diferente según las variedades



utilizadas, lo que amplía aún más la diferencias en la calidad de las harinas, y por lo tanto su *performance* tecnológica.

### IV.2.3. Relación entre las propiedades de la harina de trigo y las características del pan tipo Francés utilizando PCA (Análisis de Componentes Principales)

En la **Tabla IV.27** se muestran valores del gluten húmedo, de las propiedades físicas de la masa y de la *performance* panadera.

**TABLA IV.27.** Medias y rangos de contenido de gluten húmedo, las propiedades físicas y tecnológicas de las harinas.

	<b>Media</b>	<b>CV</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
Gluten húmedo (%)	24,76	0,18	16,40	29,5
<i>Farinograma</i>				
Absorción de agua (Base 14% H <sup>o</sup> )	63,07	0,05	58,60	67,40
Tiempo de desarrollo (min)	2,10	0,16	1,60	2,60
Estabilidad (min)	2,17	1,12	0,40	11,00
Ablandamiento (U.B.)	79,24	0,40	12,00	130,00
<i>Alveograma</i>				
P (mm)	133,25	0,16	106,50	157,00
P/L ratio	3,54	0,16	2,60	4,13
W (J.10 <sup>-4</sup> )	256,5	0,21	176,0	344,7
<i>Pan Francés</i>				
Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	3,57	0,17	2,81	4,51
<i>Pan Molde</i>				
Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	4,02	0,09	3,26	4,68

*P*: tenacidad, *L*: extensibilidad, *P/L*: relación existente entre tenacidad y extensibilidad de la masa, *W*: fuerza panadera, *CV*: coeficiente de variación



El ablandamiento de la masa y la estabilidad exhiben altos coeficientes de variación (CV) que se calculan como la tasa de la desviación estándar y el valor medio, esto indica una gran variación en calidad entre las variedades utilizadas en este estudio. Las propiedades farinográficas y el comportamiento panadero son generalmente afectados por el nivel de almidón dañado, porque influye la contribución de cada proteína a la formación de gluten (Robutti *et al.*, 1998). El valor medio para el contenido de gluten húmedo fue relativamente bajo. La mayoría de las harinas con gluten húmedo bajo, mostraron valores W bajos, y también bajos niveles de tiempo de desarrollo y estabilidad, como valores altos de ablandamiento de la masa, esto significa baja calidad de gluten para elaborar productos horneados.

En general, el uso de este tipo de harinas causa problemas en la fabricación de pan tipo Francés (Hoseney, 1998; Osella *et al.*, 2008). Por lo tanto, harinas de trigo correctoras se pueden utilizar para mezclar y de esta manera mejorar su calidad (De Sá Souza, 2009). El volumen específico de pan Francés varió de 2,81 a 4,51 ml.g<sup>-1</sup>. Estos valores se asociaron con P, L y P/L, y también con la absorción de agua. Estas relaciones están de acuerdo con datos publicados (Calvel, 1996).

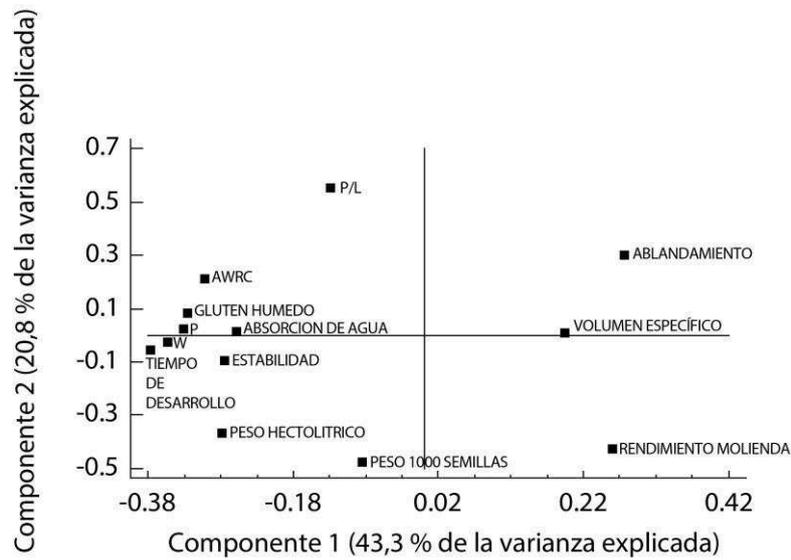
El volumen específico del pan tipo Molde varió de 3,26 a 4,68 ml.g<sup>-1</sup> y obtuvo una media de 4,02 ml.g<sup>-1</sup>. Este valor se ubicaría dentro de rangos bajos de volumen específico de pan Molde según reportes de Alasino *et al.* (2011b), pero resultan más altos que los obtenidos para pan tipo Francés del presente trabajo.

La **Figura IV.72** muestra los resultados de los *loadings* considerados en la modelación PCA de las características de los granos, rendimiento de molienda, propiedades reológicas y *performance* panadera (pan tipo Francés) de las harinas obtenidas.

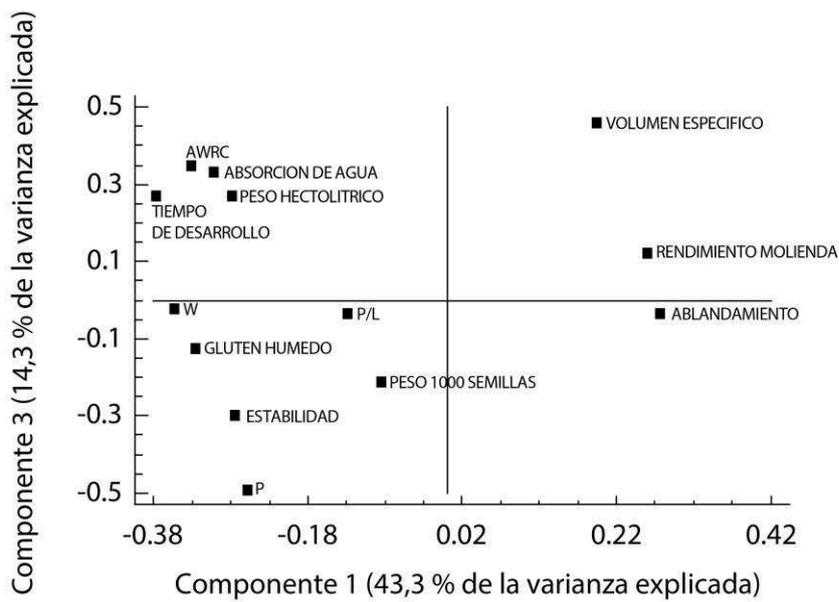
Los análisis de datos se extrajeron de los tres componentes principales que explican un total del 78,4% de la variación de los datos originales. Esto es explicado por la PC1 43,3%, PC2 14,3% y PC3 20,8%.



(a)



(b)



**FIGURA IV.72.** PCA (*loadings*) para gluten húmedo, propiedades físicas de la masa y calidad de pan.

(a) Componente Principal 1 y Componente Principal 2 y (b) Componente Principal 1 y Componente Principal 3.



En la **Figura IV.72 (a)**, una cerrada relación entre volumen específico, rendimiento de molienda y el ablandamiento son detectados a lo largo de PC1.

Por otro lado, se detecta una correlación negativa entre volumen específico y gluten húmedo, tiempo de desarrollo y la estabilidad. Steffolani *et al.* (2007) y de la Horra *et al.* (2012) encontraron una fuerte asociación positiva entre el porcentaje de gluten y el contenido de proteína. Alto contenido de proteína o de gluten, no indica buena fuerza panadera (W). Conforme a Cuniberti & Mir (2012), proteína y gluten se puede estimar el uno al otro, pero ninguno de ellos muestra una asociación significativa con W, y por lo tanto, podría ser erróneo al utilizarlos como estimadores de calidad industrial. La fertilización nitrogenada incrementa el porcentaje de proteína y / o altera las proporciones de gliadina /glutenina (Dupont & Altembach, 2003; Kamal *et al.*, 2009) y sobre la masa pueden notarse mejores valores de W. Este incremento en la fuerza alveográfica resulta de un aumento en la extensibilidad debido a un contenido más alto de gliadina (Daniel & Triboni, 2002), influyendo directamente sobre calidad industrial (Kamal *et al.*, 2009). La calidad tecnológica de las harinas depende de la presencia de aminoácidos que contienen azufre, tales grupos como (-SH) tiol y disulfuro (-SS) (Quaglia, 1991).

A lo largo de PC2, la **Figura IV.72 (a)** muestra una estrecha relación entre el rendimiento de molienda y el peso de mil semillas, y una asociación más pequeña con el PH. En la **Figura IV.72 (b)**, a lo largo del PC1, PH posee una relación con el peso de mil semillas. Ambos parámetros los muestran Hook *et al.* (1984), Shuey (1990), İlker *et al.* (2009) y Mut *et al.* (2010) como predictores del potencial de molienda de trigo, siendo el tamaño de la semilla mejor que su peso de mil.

En PC3 se puede ver la estrecha relación entre el volumen específico, PH y AWRC. También existe una relación entre el rendimiento de molienda y PH, corroborado por los autores citados anteriormente (Hook *et al.*, 1984; Shuey, 1960), quienes establecieron que a mayor tamaño de la semilla, mejor será el rendimiento de molienda (Pomeranz, 1988).

Son necesarias pruebas de confirmación de las correlaciones halladas entre peso de mil semillas, rendimiento de molienda y otras características para determinar el uso



final que les darán los mejoradores y los molineros antes de utilizar estos aspectos como predictores como aspecto de la calidad del trigo (Bergman *et al.*, 2000).

### IV.3. SECCIÓN III: Estudio de la influencia de aditivos en el pan

#### IV.3.1. Respuesta de las harinas varietales a la aplicación de aditivos en panificación

A continuación se analizará de manera individual cada uno de los casos de aplicación de aditivos.

#### XILANASA

En la **Tabla IV.28** se muestra el Análisis de Varianza (ANOVA) realizado a los datos obtenidos de los ensayos de panificación realizados con harinas varietales aditivadas con enzima xilanasas.

**TABLA IV.28.** ANOVA de volumen específico y puntaje total de pan Francés con agregado de xilanasas (XI).

	Volumen específico		Puntaje Total	
	F	Valor P	F	Valor P
Xilanasas	245,20 *	0,0000*	36,83 *	0,0000*
Variedades	108,00 *	0,0000*	7,52 *	0,0000*

(\*) Significativo  $P < 0,05$



## Test de Rango Múltiple

Xilanasa	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
0	3,61 c	(3,54 - 3,68)	76,1 b	(74,29 - 77,8)
60	4,28 b	(4,21 - 4,35)	85,9 a	(84,1 - 87,6)
120	4,68 a	(4,61 - 4,75)	84,8 a	(83,1 - 86,6)

Variedad	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Variedad	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
1	3,62 c	(3,51 - 3,73)	1	86,7 ab	(83,8 - 89,6)
2	3,73 c	(3,62 - 3,84)	2	87,8 a	(84,9 - 90,7)
3	3,62 c	(3,51 - 3,73)	3	77,1 e	(74,2 - 79,9)
4	3,65 c	(3,53 - 3,76)	4	83,6 bc	(80,7 - 86,5)
5	4,80 a	(4,69 - 4,91)	5	78,9 e	(76,1 - 81,9)
6	4,82 a	(4,70 - 4,93)	6	78,4 e	(75,6 - 81,3)
7	4,49 b	(4,38 - 4,61)	7	81,0 cd	(78,1 - 83,9)
8	4,81 a	(4,69 - 4,92)	8	84,4 abc	(81,5 - 87,3)

*Letras distintas implica diferencias significativas (P<0,05)*

Los resultados obtenidos en el ANOVA, muestran que el tratamiento con la enzima xilanasas marcó diferencias significativas tanto en el volumen específico de los panes como en sus características. También, se hallaron diferencias en el comportamiento entre las variedades seleccionadas para este estudio, considerando los dos parámetros citados.

Cuando se evaluó el volumen específico del testigo y de las dos dosis utilizadas de xilanasas, mostró la influencia de la adición de enzimas, dando diferencias significativas entre ellos. El incremento en el volumen específico del pan fue proporcional al aumento de las dosis aplicadas y con diferencias significativas hasta la dosis de 120 mg.kg<sup>-1</sup>.



---



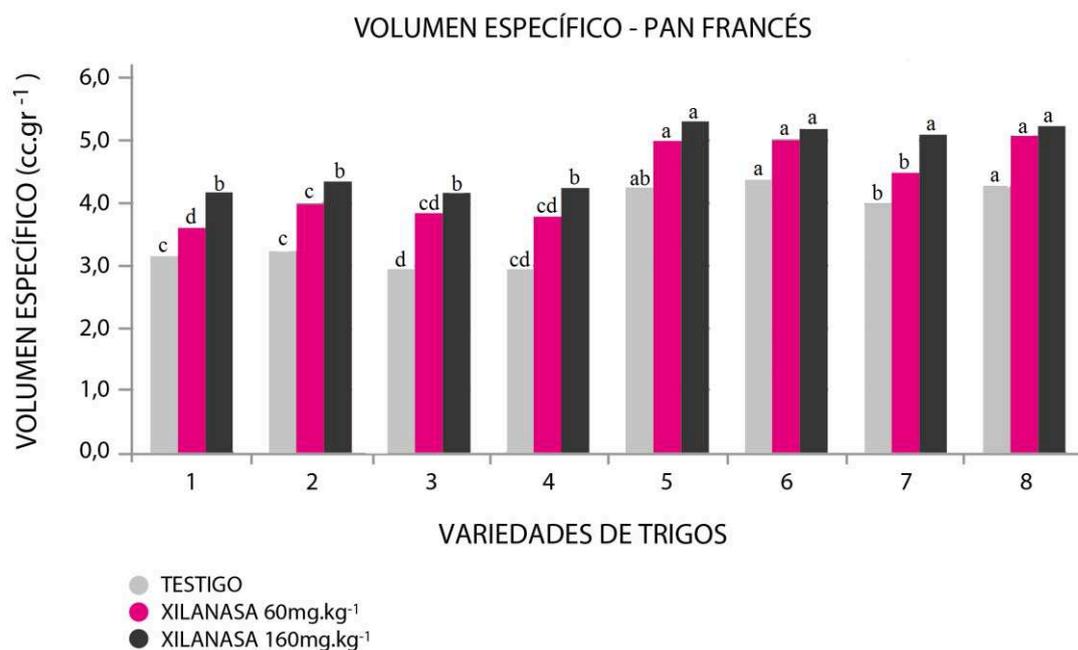
Estos resultados fueron similares a los publicados por Rouau *et al.* (1994), donde la adición de niveles óptimos de xilanas (60 mg.kg<sup>-1</sup> en el caso de su estudio) mejoró significativamente las características generales de masas elaboradas, presentando mayores efectos en las harinas más débiles. Dervilly *et al.* (2002) concordaron también al reportar la acción benéfica de la xilanasa sobre el volumen específico como también sobre las características externas del pan. Permanentemente se lanzan al mercado nuevos aditivos que tienden a mejorar la calidad y a aumentar la conservación de los productos de panificación. Para llegar a obtener los efectos mejoradores esperados, es fundamental establecer la dosis adecuada a utilizar en cada proceso de elaboración de pan (van Oort, 2010).

Jiang *et al.* (2005) obtuvo respuestas similares al agregado de dosis semejantes de xilanasas provenientes de *T. lanuginosus*. El volumen específico de pan aumentó alrededor de un 40% respecto a los testigos en el caso de la dosis media (40 mg.kg<sup>-1</sup>) que fue la que generó mayor respuesta en el pan. También las características sensoriales reflejaron la acción positiva de la enzima, demostrando que para esa misma dosis la dureza disminuyó en 10% respecto al testigo. Asimismo mejoraron la estructura y uniformidad de alvéolos del pan.

En conjunto con la amilasa refuerza la estructura de red que forma el gluten aumentando la tenacidad de la masa e incrementando el volumen de la masa horneada (Cooper Bribiesca, 2013). Según lo reportando por Maat *et al.* (1992), Qi Si & Drost-Lustenberger (2002), Baillet *et al.* (2003) y Guy & Sarabjit (2003), la acción positiva de las enzimas xilanasas sobre el volumen resultante del pan estaría dado por la redistribución del agua de los pentosanos a la fase del gluten, de esta manera el incremento del gluten aumenta la extensibilidad y genera un mayor desarrollo de la masa cocida en el horno. Diversos autores, Popper (1997); Norma y Guillermo (2003); Jaekel Zafalon *et al.* (2012) concuerdan en sus trabajos publicados en que el uso de xilanasas en valores intermedios de rangos entre 5 mg.kg<sup>-1</sup> y 120 mg.kg<sup>-1</sup>, mejoran el volumen específico y la estructura del pan.

La **Figura IV.73** presenta los resultados de volumen específico de los panes elaborados con harinas de las diferentes variedades de trigo, adicionados con xilanasas.





*Letras distintas implican diferencias significativas (P<0,05) - (Tabla VII.38)*

**FIGURA IV.73.** Volumen específico de pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con xilanasa.

Como mostró el ANOVA (**Tabla IV.28**) realizado a los valores correspondientes a volúmenes específicos de los panes elaborados con harinas de las diferentes variedades de trigos, y como se puede observar en la **Figura IV.73** existen dos grupos de cuatro variedades cada uno, que presentan una marcada diferencia de comportamiento tecnológico. El primer grupo compuesto por las variedades 1, 2, 3 y 4, demostraron tener un inferior desempeño sin presentar diferencias significativas entre ellos cuatro, pero si con el resto de los genotipos. El segundo grupo (variedades 5, 6, 7 y 8) presentaron homogeneidad en cuanto a su mejor desempeño tecnológico, en concordancia con los resultados hallados en el ANOVA realizado al volumen específico que incluía a los panes sin aditivar, de Molde como al pan tipo Francés (**Tabla IV.25**). Dentro de este subgrupo que presentó mejor desempeño tecnológico, la variedad 7 fue la que demostró tener una *performance* algo inferior, a pesar de que en el análisis de gluteninas (HMW-GS) fue la única dentro del subgrupo que presentó el alelo “nulo” de locus Glu A1, que está vinculado a un buen comportamiento de productos horneados según Bradová & Štočková (2010). Este resultado algo inferior, podría estar dado por

---

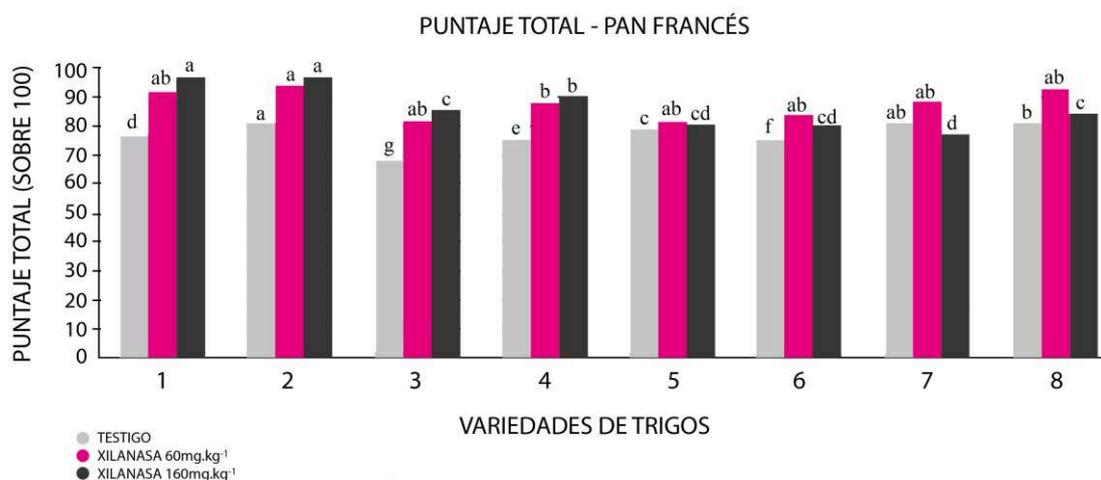


ser la variedad (7), la de menor absorción de agua dentro del subgrupo, y entre todas las variedades estudiadas fue la que menor contenido de gluten, mayor ablandamiento y una menor fuerza panadera. A pesar de poder observar los efectos beneficiosos de las xilanasas en los panes elaborados a partir de esta harina, los valores iniciales de los parámetros citados son inferiores, generando la misma tendencia los resultados tecnológicos obtenidos.

Osella *et al.* (2013), coincide en que la adición de la enzima xilanasas a la masa para la fabricación de pan tipo Francés, incrementa el volumen específico obtenido, mostrando mayor evidencia en los panes elaborados con harinas de menor calidad. Además, Wang *et al.* (2003) reportó un efecto positivo de la enzima sobre la formación de la red del gluten, que se observan principalmente en casos de harinas con bajos contenidos de estas proteínas, como el caso de la variedad 7. Según Hosney (1984); Gan *et al.* (1995) y Courtin & Delcour (2002), y como se mencionó con anterioridad en el Capítulo I, cuando se genera la hidrólisis de los WU-AX (arabinoxilanos insolubles en agua) por acción de las enzimas se redistribuye el agua en el sistema. Este efecto genera una mayor cantidad de agua disponible para el gluten y el almidón. Por lo tanto, otro efecto de las xilanasas sobre el incremento en rendimiento de pan, habría sido producto del aumento del porcentaje de agua absorbido, que concuerda con lo reportado por Maat *et al.* (1992); Rouau *et al.* (1994), Harbak & Thygesen, (2002) y Gupta *et al.* (2015). Los WE-AX (arabinoxilanos solubles) estabilizan las celdas de gas, y originan los efectos positivos esperados sobre el volumen de pan elaborado, como también y en la firmeza y estructura de la miga. En coincidencia con lo reportado por Maat *et al.* (1992) y Harbak & Thygesen (2002), los panes elaborados presentaron un aumento en el volumen específico en el caso de todos los genotipos estudiados a medida que se aumenta la cantidad de enzima agregada. Esta mejora en el volumen de las piezas se puede decir que se debe a una mejor retención del gas de la fermentación. Estos cambios de las propiedades de la masa serían consecuencia de la hidrólisis de pentosanos que ayudarían al incremento de la viscosidad del medio, volviendo más lenta la difusión del CO<sub>2</sub> a través de la masa y facilitando así la retención del gas generando de esta manera mayor volumen de la masa horneada (Osella *et al.*, 2013).

La **Figura IV.74** muestra que la aplicación de la enzima xilanasas mejoró el puntaje total del pan Francés (**Tabla IV.28**).





*Letras distintas implican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) - (Tabla VII.39).*

**FIGURA IV.74.** Puntaje total de pan francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con xilanasa.

Con respecto al efecto del aditivo sobre el puntaje total, en la mayoría de los casos se puede observar que la diferencia fue significativa con respecto al testigo, pero no se evidenció diferencia entre las dosis aplicadas.

Cuando se puso en consideración el ANOVA del puntaje total de los panes tipo Francés elaborados con harinas de los trigos de las diferentes variedades, se observó gran heterogeneidad en las características evaluadas de los panes elaborados. Por lo tanto, los parámetros sensoriales evaluados no presentaron una relación directa con los parámetros físicos tenidos en cuenta en este estudio, evidenciando lo complejo de la percepción humana de los atributos.

Referido a las dosis, se observa que el aumento de cantidad de enzima aplicada no evidencia diferencias significativas (Tabla IV.28), por lo que resultaría más adecuado el uso de la dosis de 60 mg.kg<sup>-1</sup>, ya que la aplicación de 160 mg.kg<sup>-1</sup> de xilanasa implicaría un mayor costo de elaboración.

## ÁCIDO ASCÓRBICO

En la **Tabla IV.29** se presenta el ANOVA realizado a los datos obtenidos de los ensayos de panificación realizados con harinas varietales aditivadas con ácido ascórbico (AA).

**TABLA IV.29.** ANOVA de volumen específico y puntaje total de pan Francés con agregado de ácido ascórbico (AA).

	Volumen específico		Puntaje Total	
	F	Valor P	F	Valor P
AA	20,98 *	0,0000*	3,89 *	0,0257*
Variedades	15,30 *	0,0000*	16,0 *	0,0000*

(\*) Significativo  $P < 0,05$

### Test de Rango Múltiple

AA	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
0	3,14 b	(3,02 - 3,25)	75,7 a	(74,2 - 77,2)
75	3,62 a	(3,51 - 3,74)	72,7 ab	(71,2 - 74,2)
150	3,56 a	(3,45 - 3,68)	74,1 b	(72,6 - 75,6)

Variedad	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Variedad	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
1	3,12 de	(2,94 - 3,31)	1	76,3b	(66,4 - 71,3)
2	3,35 cd	(3,17 - 3,54)	2	78,4 ab	(73,1 - 77,9)
3	2,99 e	(2,80 - 3,18)	3	69,6 c	(73,8 - 78,7)
4	3,06 e	(2,87 - 3,25)	4	76,8 b	(64,8 - 69,7)
5	3,73 ab	(3,54 - 3,92)	5	67,3 c	(67,2 - 72,0)
6	3,98 a	(3,79 - 4,17)	6	80,4 a	(77,9 - 82,8)
7	3,50 bc	(3,31 - 3,69)	7	68,9 c	(74,4 - 79,3)
8	3,79 a	(3,60 - 3,98)	8	75,5 b	(76,0 - 80,9)

Letras distintas implican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

---



Los resultados obtenidos en el ANOVA de la Tabla anterior, muestran que el tratamiento con AA generó diferencias significativas en los volúmenes específicos de los panes como en el puntaje total. También, se hallaron diferencias en el comportamiento ante el AA entre las variedades en ambos parámetros estudiados.

Como se puede ver en la **Tabla IV.29**, las diferencias halladas en los volúmenes específicos de los panes fueron significativas con respecto a los testigos, no encontrándose diferencia entre las dos dosis aplicadas.

El AA reacciona sobre los grupos sulfhidrilos de una harina, previo haber recibido la acción de la ácido dehidroascórbicoreductasa (presente en la harina también) con la consiguiente pérdida de dos átomos de hidrógeno y la formación del ácido dehidroascórbico, siendo este último el agente que actúa como oxidante (Lagrain *et al.*, 2008).

Este compuesto se descompone rápidamente perdiendo su actividad por ser inestable. Consecuentemente, sería necesario que la reacción desde AA a ácido dehidroascórbico se produzca sólo durante el amasado. Un método para prevenir el desarrollo prematuro de esta reacción, consiste en encapsular el AA en grasas con elevado punto de fusión (Quaglia, 1991). Según Pylar (1973b), cuando la masa es tratada con pequeños porcentajes de agentes oxidantes, se vuelve más elástica, más compacta y menos pegajosa que la masa no aditivada. El pan resultante tiene un buen volumen y su textura es suave. Lo recientemente descrito se reflejó en los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que la diferencia significativa en el volumen específico se halló cuando las harinas se aditaron con la dosis menor ( $75 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Nakamura & Kurata (1997) y Lu & Seib (1998) coincidieron, expresando que la dosis óptima de AA a aplicar en harinas era de  $75 \text{ mg.kg}^{-1}$ . También Codinã (2008) en su trabajo, concuerda que en casos de harinas de calidad media, la adición de una dosis de AA de un  $50\text{-}70 \text{ mg.kg}^{-1}$  es suficiente, ya que por encima de este nivel, el efecto de la mejora producida por este aditivo adquiere una tendencia negativa, probablemente debido al agotamiento de los grupos SH reactivos. Mientras, su fuerza establece diferencias en cuanto a la tolerancia al exceso de dosificación, ya que la adición de este oxidante se refleja en el alveograma mediante un aumento de la tenacidad (P), un aumento de la fuerza (W), y una reducción de la extensibilidad (L), lo que supone



---



además un aumento de la relación P/L. Sin embargo, Ribotta *et al.* (1999) plantearon que el AA mejoró el valor de fuerza panadera por aumento del P, pero sin decrecer el L. El uso de AA tiene acción intensa pero no tan duradera, como lo es la del prohibido bromato de potasio; lo que indicaría que es adecuado ajustar las dosis para obtener un resultado óptimo (Castelli, 2002).

En referencia a las variedades utilizadas y en acuerdo por lo publicado por Filipčev *et al.* (2013), el ANOVA mostró diferencias significativas entre los volúmenes específicos de los panes elaborados con las harinas de los diferentes genotipos de trigo. Se observó nuevamente la existencia de dos subgrupos con diferentes comportamientos tecnológicos, compuesto por las mismas cuatro variedades como fueron citados con anterioridad. El grupo de mejor desempeño (variedades 5, 6, 7 y 8) presentó los mayores rendimientos de volumen de pan. A pesar de ello, las variedades que generaron las harinas de inferior calidad (variedades 1, 2, 3 y 4) respondieron mejor al aditivo evaluado para el parámetro de volumen específico, resultando acorde a lo publicado por Codinã *et al.* (2007). La justificación estaría dada por el fortalecimiento de la red de gluten, como consecuencia de ello genera un aumento de la fuerza (W) de la masa y de esta manera existe una mayor retención de CO<sub>2</sub> en la masa. Según Codinã (2008), el equilibrio P/L de las harinas a tratar condiciona inicialmente el nivel de aplicación del AA. Por lo que los resultados obtenidos serían atribuidos a que la acción que ejerce el AA sobre P/L habría sido más limitado en el subgrupo de comportamiento tecnológico superior que la ejercida sobre las variedades 1, 2, 3 y 4, debido a que presentaban mejores características iniciales.

Cuando se evaluó el efecto de este aditivo sobre el puntaje total del pan, las diferencias halladas fueron significativas (P: 0,0257) entre la dosis intermedia (75 mg.kg<sup>-1</sup>) con respecto al testigo y a la dosis mayor. En los casos en que se agrega demasiado agente oxidante, resulta una sobreoxidación y el pan elaborado en tales condiciones resulta con pequeño volumen, su miga exhibe una textura rígida y con pequeños alveolos (Pylar, 1973b). Hrusková & Novotná (2003) en coincidencia con nuestros resultados, plantean que una dosis entre 70 mg.kg<sup>-1</sup> y 100 mg.kg<sup>-1</sup> de AA promueve un buen desarrollo de la masa y mejora la calidad del pan. La razón sería la mejoramiento del “*oven spring*”, resultando alvéolos de la miga más pequeños y un mayor volumen de la pieza del pan. Pero en desacuerdo con lo expuesto anteriormente,



sostienen que dosis hasta  $200 \text{ mg.kg}^{-1}$  no son perjudiciales para la masa, ya que la cantidad de oxígeno necesaria para su acción es limitante. Y en caso de incorporar dosis superiores a éstas, las masas resisten la deformación durante el moldeado y pueden romperse debido a la falta de extensibilidad. El pan presenta bajo volumen con una corteza rugosa y su miga presenta muchos alvéolos grandes. Sin embargo, Codinã (2008) publicó datos similares a los obtenidos en el presente trabajo, donde informó mejoras sensoriales en los panes elaborados con aplicaciones de dosis intermedias de AA.

La percepción sensorial del alimento, el pan en nuestro caso, es muy importante; por lo que el fabricante siempre intenta satisfacer los requerimientos de los consumidores (Hersleth *et al.*, 2005).

Por lo tanto, se debería tener en cuenta la utilización de la dosis más baja ( $75 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), debido a que es la que presenta diferencia en el rendimiento y calidad panadera. Pero se debería usar en casos de baja *performance* tecnológica de las harinas.

### AZODICARBONAMIDA (ADA)

En la **Tabla IV.30** se presenta el ANOVA realizado a los datos obtenidos de los ensayos de panificación realizados con harinas varietales aditivadas con azodicarbonamida (ADA).

**TABLA IV.30.** ANOVA de ensayos de pan Francés con agregado de azodicarbonamida (ADA).

	Volumen Específico		Puntaje total	
	F	Valor P	F	Valor P
ADA	22,25*	0,0000*	0,22	0,8066
Variedades	15,16*	0,0000*	13,85 *	0,0000*

(\*) Significativo  $P < 0,05$



## Test de Rango Múltiple

ADA	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
0	3,14 b	(3,02 - 3,25)	75,7 a	(74,8 - 76,5)
40	3,62 a	(3,51 - 3,73)	75,7 a	(74,8 - 76,6)
80	3,57 a	(3,46 - 3,68)	76,0 a	(75,2 - 76,9)

Variedad	Volumen específico (ml.g <sup>-1</sup> )	Intervalo de confianza	Variedad	Puntaje (Máx. 100)	Intervalo de confianza
1	3,09 c	(2,91 - 3,27)	1	74,4 c	(72,9 - 75,8)
2	3,12 c	(2,93 - 3,30)	2	76,2 bc	(74,7 - 77,6)
3	3,16 c	(2,96 - 3,34)	3	70,6 d	(69,2 - 72,0)
4	3,14 c	(2,95 - 3,32)	4	74,7 c	(73,3 - 76,1)
5	3,91 a	(3,73 - 4,09)	5	76,3 bc	(74,9 - 77,7)
6	3,87 a	(3,68 - 4,05)	6	79,2 a	(77,8 - 80,6)
7	3,49 b	(3,31 - 3,68)	7	77,9 ab	(76,5 - 79,3)
8	3,75 ab	(3,57 - 3,94)	8	77,1 b	(75,7 - 78,5)

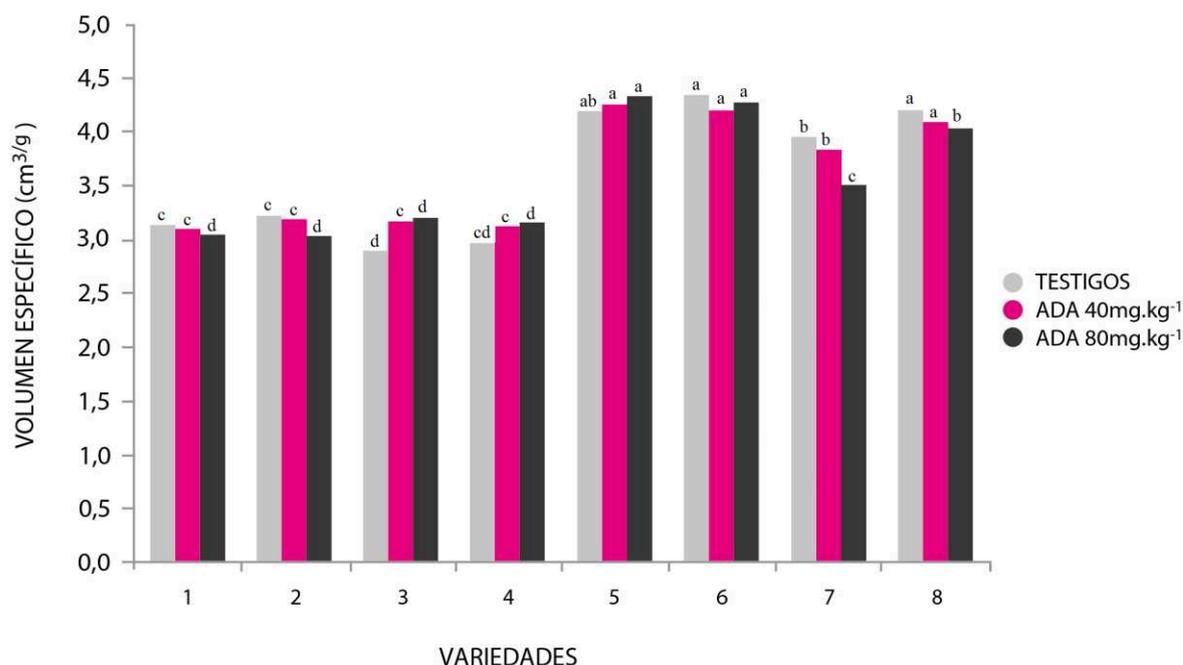
*Letras distintas implica diferencias significativas (P<0,05)*

Cuando se aplicó el aditivo ADA durante la panificación, resultaron panes con mayor volumen específico comparados con los testigos no aditivados. Poniendo en consideración las cantidades utilizadas, no se observaron diferencias significativas entre ambas dosis aplicadas (40 mg.kg<sup>-1</sup> y 80 mg.kg<sup>-1</sup>).

Cuando se evaluaron las características sensoriales del pan elaborado con ADA, el puntaje total no presentó diferencias significativas (P: 0,8066).

La **Figura IV.75** presenta los resultados del efecto de la aplicación de ADA sobre el volumen específico del pan elaborado.



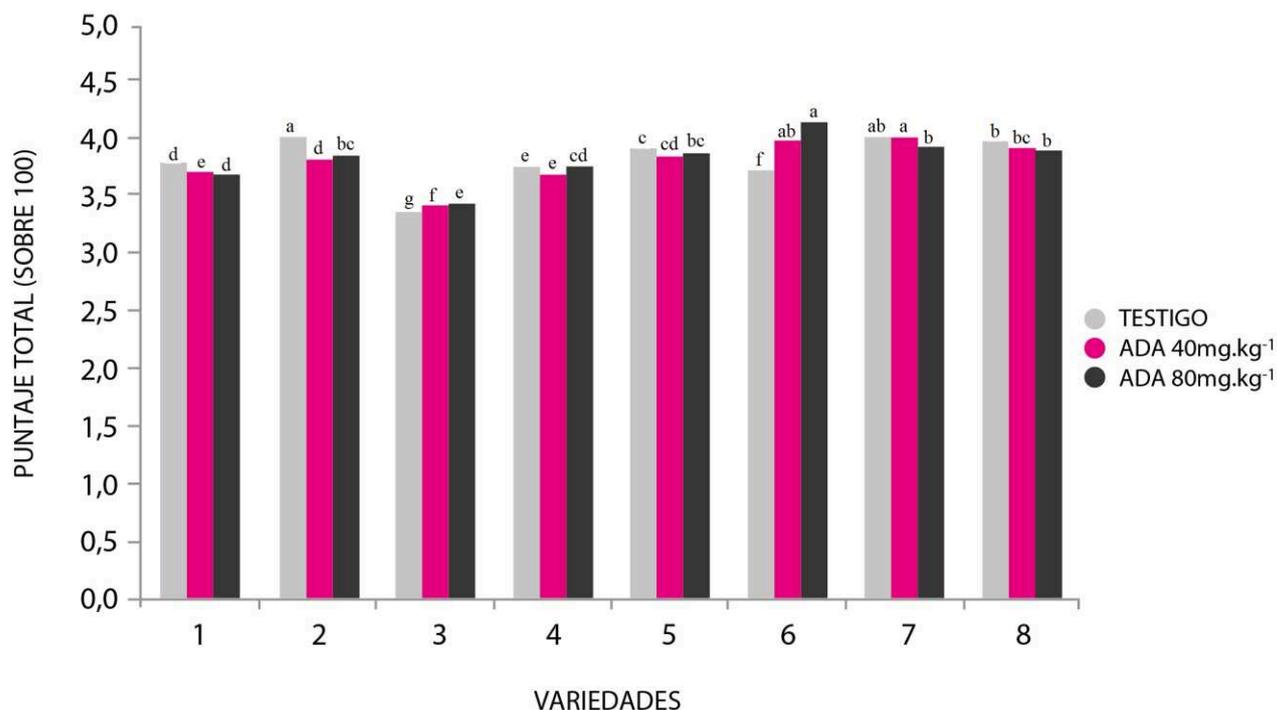


Letras distintas implican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) - (Tabla VII.42).

**FIGURA IV.75.** Volumen específico del pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con ADA .

Analizando cada variedad por separado, podemos ver que el mejoramiento debido a la acción de ADA se produce en ciertos trigos que proveen harinas de baja *performance* panadera (variedades 3 y 4) y que en el ANOVA (Tabla IV.30) no demostraron diferencias significativas entre sí dentro de este subgrupo. Siemianowska *et al.* (2011) informó que el volumen del pan obtenido como las características de los mismos habían variado según los genotipos de donde se obtuvieron las harinas. A pesar de que todas las harinas obtenidas en este estudio presentan características alveográficas relativamente similares, es evidente que las que componen este subgrupo de inferior rendimiento presentan otras características, con mayor posibilidad de mejora tecnológica en el proceso de panificación. Yamada & Preston (1994) establecieron que harinas con una *performance* panadera estándar, presentan una respuesta favorable al agregado del oxidante.

La **Figura IV.76** presenta los resultados del efecto de la aplicación de ADA sobre el puntaje total del pan elaborado.



*Letras distintas implican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) - (Tabla VII.43).*

**FIGURA IV.76.** Puntaje Total otorgado al pan Francés elaborado a partir de harinas varietales, aditivado con ADA.

Este oxidante fue difundido a partir de 1972, que al igual que el AA, tiene la propiedad de convertir los grupos sulfidrilos (SH) en disulfuros (SS) (Fitchett & Frazier, 1986). Las propiedades reológicas de la masa y su estructura tridimensional son dependientes de las interacciones sulfhidrilo (SH) y disulfuro (SS) (Nakamura y Kurata, 1997). Los agentes oxidantes y reductores afectan las propiedades mecánicas de la masa y del gluten muy especialmente a través de la modificación del estado redox de los



grupos sulfhidrilos (SH) y puentes disulfuro (SS) (Larré *et al.*, 2000). La remoción de grupos SH a través de la acción de oxidantes químicos, o por la reacción de agentes bloqueantes como N-etilamida, generalmente mejoran la calidad de la masa, presumiblemente evitando la rotura de los puentes SS y de esa manera mejorando las características del pan (Yamada & Preston, 1992, 1994). Por su parte, Kasarda (1989) reportó que si bien las uniones disulfuro son importantes en la formación del gluten, también existen otras fuerzas secundarias, como puente hidrógeno o enlaces hidrofóbicos que pueden ser responsables para establecer grados de calidad. Por estas razones, además de los ingredientes tradicionales harina, agua, levadura, sal, grasa, hoy en día se le agrega a la preparación gluten, oxidantes, emulsionantes, conservantes, enzimas entre otros componentes que tienen como finalidad la obtención de un producto más apetitoso y de mejor calidad (Aamodt *et al.*, 2005; Tejero, 2002).

Coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, Fitchett & Frazier (1986), Bloksma & Bushnuk (1988) y Vega *et al.* (2010) exponen que se obtienen panes de mejor volumen por la adición de la ADA, dado que es un oxidante que funciona produciendo grupos disulfuros por oxidación de los grupos tioles de las proteínas presentes en la harina. Esto crea la capacidad de que la masa pueda absorber cantidades superiores de agua. Ribotta *et al.* (1999), en coincidencia también con alguno de nuestros resultados, informó que la adición de ADA es capaz de favorecer la obtención de panes de mayor volumen, una estructura de miga abierta, debido a que este oxidante actúa acortando las masas por aumento de la tenacidad (P), mientras que la extensibilidad (L) disminuye, a diferencia de AA que se mantiene estable, como se planteó con anterioridad. También la relación de equilibrio tenacidad / extensibilidad (P/L) se incrementó y el valor de fuerza panadera (W) fue menor.

El aditivo ADA, se adiciona también como blanqueador de harina para mejorar el aspecto del pan elaborado (Noonan *et al.*, 2005), a pesar que los resultados en el presente trabajo no reflejaron mayores influencias sobre el puntaje total obtenido en el pan elaborado. En acuerdo con los resultados presentados, Yamada & Preston (1994) informaron que la adición del oxidante ADA en sus dosis óptimas, tampoco mejoraría significativamente la calidad del pan. Según Alasino *et al.* (2011a), la adición de este





oxidante produce comportamientos variables sobre las características del pan, informando que dosis mayores a  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  podrían provocar efectos no deseados.

Conforme a los resultados obtenidos, se consideró óptima a la dosis mínima  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  de ADA. Esta afirmación se debe a que dosis mayores no generarían volúmenes específicos superiores, como tampoco mejoras significativas en la calidad del pan elaborado. De esta manera, es considerado innecesario el gasto de una aplicación mayor a la dosis citada. Cabe destacar que este aditivo debería aplicar en casos de que las harinas presenten una baja *performance* panadera.

Como conclusión parcial, se puede decir que los análisis realizados muestran en general, que dentro del total de los genotipos evaluados existen dos subgrupos de cuatro variedades cada uno, que presentan una marcada diferencia de comportamiento tecnológico a pesar de que todos poseen su categorización industrial 2 y 3 según la CONASE. Sin embargo, según Ktenioudaki *et al.* (2010), el comportamiento en la cocción de las masas elaboradas con harinas varietales no estaba completa ni solamente explicada por la clasificación previa de los trigos utilizados.

Cuando se evaluaron los volúmenes específicos de los panes elaborados, en el caso que se aplicó xilanasa (XI) con respecto a los testigos, se pudo ver que entre los valores de volumen específico existieron diferencias significativas para ambas dosis aplicadas. Para el ácido ascórbico (AA), resultó que las dosis no dieron diferencias entre sí, pero fue diferente con respecto a los testigos, al igual que ocurrió en el caso de la aplicación del aditivo ADA.

Referido al puntaje total de los panes, los resultados que se obtuvieron, marcan que existieron diferencias significativas en el caso de aplicación de XI con respecto a los testigos. Cuando se realizó el agregado del AA, la dosis menor fue la que arrojó la diferencia significativa respecto a los panes testigos y a la dosis mayor aplicada. En el caso de ADA, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos para el puntaje total del pan.





## **β-glucanos**

Los contenidos β-glucanos expresados en (w/w peso seco) fue del 8% en la levadura obtenida seca, 0,13% en panes no aditivados y 0,25% en el panes con agregado de 10 g de levadura obtenida seca.

Con respecto a la ingesta de β- glucanos a partir de una porción de pan (rodaja de 50 g), se cuantificó en panes testigos 65 mg y en las aditivadas aumenta a 125 mg con la incorporación a la premezcla de 10 g de levadura obtenida seca. Las cantidades halladas estaban dentro del rango sugerido por las normas de la EFSA, que son cantidades entre 50 y 200 mg de β-glucanos de *Saccharomyces* por porción (EFSA, 2011).

### **Influencia de β-glucanos (levadura obtenida seca) en el volumen, la textura y el color del pan**

La media del peso de las muestras de PTA ( $709 \pm 12$  g) fue similar al peso medio de las muestras de PTB ( $709 \pm 2,9$  g). Tal como se esperaba, los panes aditivados presentaron aumento de peso,  $720 \pm 20$  y  $718 \pm 9$  g, respectivamente. Sin embargo, para el caso de las muestras PAA y muestras de PAB, el incremento no fue estadísticamente significativo ( $P > 0,05$ ).

El ANOVA de dos vías realizado, indica que no se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) debido a la adición de β-glucanos (obtenidos de la levadura obtenida seca) a la premezcla, pero el tipo de máquina utilizado tuvo un efecto significativo sobre el volumen del pan ( $P < 0,05$ ). La máquina que poseía dos paletas (A) generó un aumento del volumen del pan elaborado. De acuerdo a Cauvain (2007), el incremento del volumen del pan es logrado con la mezcla vigorosa y el amasado de los ingredientes.

La media y el desvío estándar de los parámetros de la textura y color, tanto de la miga como en la corteza de los panes testigos y aditivados, se resumen a partir de los dos tipos de máquinas diferentes en la **Tabla IV.31**.



**TABLA IV.31.** Valores de media y desvío estándar (DE) de los parámetros de textura y color en miga y corteza, en panes testigos y aditivados.

		Media ± DE			
		Miga		Corteza	
	Máquina	Pan testigo	Pan aditivado	Pan testigo	Pan aditivado
<i>Textura</i>					
Dureza	A	1,13 ± 0,13	1,60 ± 0,25	3,12 ± 0,62 <sup>†</sup>	3,58 ± 0,36 <sup>†</sup>
	B	2,21 ± 0,30	2,39 ± 0,57	4,57 ± 0,71 <sup>††</sup>	4,85 ± 1,08 <sup>††</sup>
Cohesividad	A	0,74 ± 0,04	0,76 ± 0,02	0,82 ± 0,02	0,84 ± 0,03
	B	0,76 ± 0,04	0,77 ± 0,03	0,84 ± 0,01	0,86 ± 0,02
Elasticidad	A	0,67 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,68 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,781 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,56 ± 0,04 <sup>b</sup>
	B	0,69 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,54 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,81 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,43 ± 0,02 <sup>b</sup>
Masticabilidad	A	0,48 ± 0,14	2,59 ± 0,83	5,24 ± 0,87	14,18 ± 2,68
	B	2,08 ± 1,74	5,55 ± 2,00	12,00 ± 4,34	26,14 ± 11,62
<i>Color</i>					
L*	A	70,21 ± 2,33 <sup>a</sup>	72,41 ± 1,19 <sup>b</sup>	50,99 ± 9,32	46,64 ± 4,73
	B	69,39 ± 1,00 <sup>a</sup>	72,11 ± 1,68 <sup>b</sup>	51,39 ± 9,39	51,37 ± 7,64
a*	A	1,08 ± 1,52	19,63 ± 1,67	0,87 ± 1,75	28,78 ± 5,75
	B	19,87 ± 0,85	21,50 ± 0,88	32,10 ± 2,02	30,31 ± 4,08
b*	A	0,26 ± 0,32	0,06 ± 0,37	12,78 ± 3,84	15,09 ± 1,54
	B	0,28 ± 0,20	0,20 ± 0,33	15,24 ± 1,40	14,46 ± 5,8

Máquinas: **A**: Moulinex con 2 paletas y 1650 W de potencia y **B**: Clatronic con 1 paleta y una potencia de 600 W, **a\***: rojo; **b\***: amarillo; **L\***: luminosidad. Las diferencias fueron establecidas mediante un ANOVA de dos vías. En cada parámetro ubicado en columnas, diferentes símbolos acompañan a los números (<sup>†</sup> y <sup>††</sup>) para indicar las diferencias significativas (P <0,05) debido al uso de diferentes máquinas. En las filas, se utilizaron diferentes letras (a y b) para indicar las diferencias significativas (P <0,05) en la miga o corteza de los panes aditivados con β-glucanos.

El ANOVA de dos vías realizado para evaluar el efecto de β-glucanos aportados por la levadura obtenida seca y el tipo de máquina utilizada, reveló que, en general, no se observaron efectos significativos sobre los parámetros de la textura y de color.

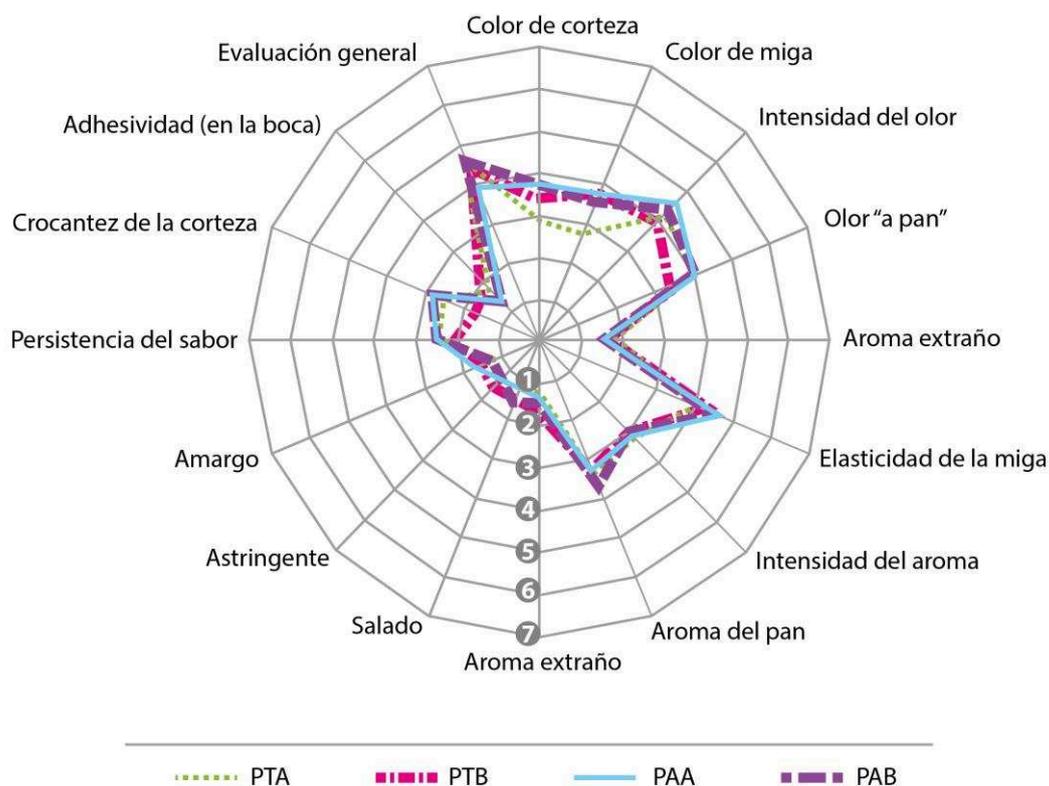
En cuanto a la textura, tanto en el caso de los panes testigos y como los panes aditivados, solamente la elasticidad tenía diferencia significativa (P <0,05) en la miga y la corteza.

Con lo que respecta a color, los valores de  $L^*$  de la miga fueron significativamente diferentes en los panes testigos y aditivados ( $P < 0,05$ ).

En cuanto al efecto del tipo de máquina utilizada en la elaboración de los panes, se observaron diferencias significativas en la dureza de la corteza del pan ( $P < 0,05$ ). En conclusión, la adición de  $\beta$ -glucanos oscurece la miga y el aumenta la elasticidad de la miga y la corteza, ambas características son consideradas importantes por los consumidores.

### Impacto del agregado de $\beta$ -glucanos obtenidos de la levadura seca

Las numerosas características sensoriales que fueron evaluadas, tanto de los panes elaborados con agregado de  $\beta$ -glucanos como también de los panes testigos, se resumieron en un Diagrama de araña (**Figura IV.77**). Esta herramienta permitió visualizar y comparar los atributos resultantes de los análisis sensoriales.



**FIGURA IV.77.** Diagrama de araña con representación de las características sensoriales evaluadas.



El perfil general de los panes testigos y aditivados realizados en ambas máquinas (A y B) fue similar. El ANOVA de dos vías que se realizó para evaluar el efecto del agregado de  $\beta$ -glucanos provenientes de la levadura y el efecto de tipo de máquina. Para el aroma del pan, color de la miga, el olor “a pan” y crocantez de la corteza, la interacción más significativa fue entre la adición de los  $\beta$ -glucanos de la levadura y el tipo de máquina, y fue el efecto importante. Por lo tanto, el ANOVA de dos vías no se llevó a cabo sobre los efectos principales. Las muestras de PTA presentaron significativamente menor color en la miga.

Las muestras de PTB presentaron significativamente menor olor “a pan” y una corteza menos crujiente. Tampoco se encontraron diferencias significativas en lo que respecta al aroma del pan. Los principales efectos de la adición de  $\beta$ -glucanos presentaron diferencias significativas en el color de la corteza y la intensidad del olor, aunque no se observaron diferencias significativas en los demás atributos, es decir, para la evaluación general.



# CONCLUSIONES

CAPÍTULO V





## Capítulo V. CONCLUSIONES

El pan es consumido por toda la población, a nivel mundial es considerado un alimento de gran importancia desde el punto de vista nutricional y por lo accesible desde el punto de vista económico, siendo para los más necesitados la base de su alimentación diaria. La calidad del pan depende de la harina con la que se elabora, más allá que cumpla o no las normas del CAA, y en muchos casos es necesario agregar aditivos para llegar a una calidad estándar o mejorar el producto. En Argentina se han utilizado diferentes tipos de aditivos a lo largo de la industria panadera, siendo algunos prohibidos y otros reemplazados por nuevas alternativas, pero de alguna u otra manera estando presentes como componentes de la elaboración del pan, dependiendo de la calidad de harina.

Es por ello que a continuación se presentan conclusiones acerca del presente trabajo realizado sobre calidad harinas comerciales, caracterización de harinas varietales y el uso aditivos:

- La mayoría de las marcas comerciales seleccionadas para este estudio no respetan las tipificaciones del CAA para el contenido de cenizas debido a un mayor grado de extracción durante la molienda del grano. El comportamiento tecnológico de las harinas resultó adecuado, valorando que se utilizó el método de pan Francés, siendo éste mucho más exigente en cuanto a la calidad panadera de una harina que la panificación en molde. Los valores de humedad encontrados fueron adecuados, lo que aseguró una apropiada conservación desde el punto vista microbiológico.

- Existió una asociación entre parámetros alveográficos y los farinográficos, pero no hubo relación estrecha entre estas características físicas de la masa con el volumen específico. Se pudo concluir que algunas evaluaciones reológicas pudieron predecir ciertamente el comportamiento tecnológico de harina, como las relaciones que se han demostrado entre el volumen específico, el rendimiento de molienda y ablandamiento; o como la





relación entre el rendimiento de molienda, peso de mil semillas y el PH. Sin embargo, la prueba de cocción del pan apareció como una herramienta más precisa para evaluar globalmente los parámetros que determinan la calidad de harina. Por lo que se concluyó que el Análisis de Componentes Principales resultó una herramienta óptima para la predicción de la calidad del pan Francés a partir de las propiedades de las harinas de trigo en estudio.

- Los resultados obtenidos del estudio de gliadinas, mostraron alguna asociación entre los picos cromatográficos de las gliadinas y el volumen específico del pan. Los picos 1 y 2 fueron herramientas que nos dieron pautas de buena calidad (pudiendo ser usadas en mejoramiento). El pico N no presentó una buena correlación acerca de los problemas que puede llegar a mostrar la harina. Pero ambas fueron buenas herramientas para aproximar la calidad.

- Los estudios a las gluteninas, mostraron que sería necesario realizar, además de las pruebas bioquímicas, los ensayos de panificación para determinar con precisión la calidad panadera de las harinas debido a que las características tecnológicas siempre varían por la presencia de los pentosanos y demás componentes que poseen diferente comportamiento conjunto en el horno, ya que es un producto complejo que se obtiene resultado de una sumatoria de interacciones entre los principales constituyentes del pan.

- El pan tipo Francés, fue el que mejor expresó la relación entre las propiedades de la harina de trigo y la *performance* panadera, cuando fue comparado con el pan de Molde. El motivo sería que este último, lleva más ingredientes en su formulación, y además utilizan un molde; por lo tanto, enmascara el verdadero desempeño tecnológico y panadero de las harinas.

- La mayoría de las variedades estudiadas no presentaron un comportamiento conforme a la caracterización industrial de cada variedad de





trigo, en acuerdo con lo reportado por diversos autores acerca de que la mayoría de las características fisicoquímicas del grano y de la masa son de baja heredabilidad; por lo que indicaría la existencia del efecto del ambiente y de la interacción del genotipo con el ambiente sobre la expresión de dichas características.

- Las variaciones de las características reológicas y de las *performances* tecnológicas de las harinas obtenidas a partir de las variedades de trigos comerciales, manifestaron la importancia de estudiar el efecto de los aditivos sobre estas harinas para definir la calidad del tipo de producto a elaborar.

- Las siguientes dosis han resultado de la mejor relación costo / beneficio de la aplicación de cada aditivo: Xilanasa: dosis mínima de  $60 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; AA dosis mínima de  $75 \text{ mg.kg}^{-1}$  y ADA dosis mínima de  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Se debe tener presente que no siempre el aumento de la concentración de aditivo agregado produjo una mejora importante.

- La acción de los aditivos utilizados, se evidenció particularmente en las harinas con menores cualidades iniciales para realizar pan.

- Una porción de pan aditivado con la levadura obtenida seca aumenta la ingesta de  $\beta$ -glucanos en una cantidad entre 65 mg y 125 mg, contenido dentro de las directrices sugeridas por la EFSA. A pesar de que este aditivo natural oscurece la miga, se observó un aumento de la elasticidad de la miga y de la corteza. Los análisis descriptivos realizados por el panel entrenado corroboraron diferencias tanto en el color de la corteza del pan y la intensidad del olor, aunque no fueron significativas. No se observaron diferencias con lo que respecta a los demás atributos, es decir, para la evaluación general.

- El tipo de máquina (con 1 ó 2 paletas) tiene un impacto menor *sobre* las características de pan. Por lo tanto, la levadura obtenida seca puede ser utilizada como ingrediente en el pan para aumentar la ingesta de  $\beta$ -glucanos



---



sin comprometer las características sensoriales, contribuyendo así a la valorización de los subproductos de la industria cervecera. Además, la levadura de cerveza es reconocida como una buena fuente de cromo y vitaminas del grupo B. Por consiguiente, sería pertinente la realización de más estudios para cuantificar el aumento de estos compuestos bioactivos en panes aditivados.

- En la industria molinera y panadera, sería de utilidad incluir información de las variedades de las cuales se obtienen las harinas, para obtener una información más acabada, más allá de las características reológicas y algunos parámetros fisicoquímicos como se incluyen como ineludibles en la actualidad. De esta manera, también se podría realizar un uso más adecuado de los aditivos y por lo tanto elaborar productos de superior calidad.



# BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO VI



---

## Capítulo VI. BIBLIOGRAFÍA

Aamodt, A.; Magnus, E.M. & Faergestad, E.M. (2003). Effect of flour quality, ascorbic acid, and datem on dough rheological parameters and hearth loaves characteristics. *Journal of Food Science* 68, 2201- 2210.

Aamodt, A.; Magnus, E.M., Hollung, K., Uhlen, A.K. & Faegstad, E.M. (2005). Dough and hearth bread characteristics influenced by protein composition, protein content, DATEM, and their interactions. *Journal of Food Science*, 70 (3), 214-221.

Agrobit (2014). Disponible en: [www.agrobit.com.ar](http://www.agrobit.com.ar), visitada el 25/10/2014.

Aimanianda, V., Clavaud, C., Simenel, C., Fontaine, T., Delepierre, M. & Latge, J.P. (2009). Cell wall beta-(1,6)-glucan of *Saccharomyces cerevisiae*: structural characterization and in situ synthesis. *Journal of Biological Chemistry*, 284, 13401–13412.

Alasino, M., Osella, C., de la Torre, M. & Sánchez, H. (2011a). Efecto de oxidantes y emulsionantes sobre la calidad de pan elaborado con harina de arvejas (*Pisum sativum*) inactivadas enzimáticamente. *Información Tecnológica*, 22, 42-50.

Alasino, N; Aringoli, E. & Sánchez, H. (2011b). Efecto de la combinación oxidante-reductor sobre el volumen específico del pan de molde. *FABICIB* 15, 23-32.

Alimentaria on line, Grupo Vilbo – España. (2004). Disponible en [www.alimentariaonline.com](http://www.alimentariaonline.com), visitada el 16/09/2015.

- 
- 
- Altıntaş, S.; Toklu, F.; Kafkas, S.; Kilian, B. & Brandolini, A. & Özkan, H. (2008). Estimating Genetic Diversity in Durum and Bread Wheat Cultivars from Turkey using AFLP and SAMPL Markers. *Plant Breeding* 127, 9-14.
- Andrews, J; Hay, R.L; Skerritt, J.H. & Sutton, K.H. (1994). HPLC and immune assay based glutenin subunit analysis: screening for dough properties in wheats grown under different environmental conditions. *Journal of Cereal Science*, 20: 203–215.
- American Association of Cereal Chemist (AACC). (2000). Approved Methods of AACC.10th Edition. American Association of Cereal Chemist, St. Paul. MN.
- Antes, S. & H. Wieser. (2001). Reoxidation Behavior of Wheat and Rye Glutelin Subunits. *Cereal Chemistry* 78, 8-13.
- Aplevicz, K.S.; Ogliari, P.J. & Sant'Anna E.S. (2013). Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 49 (2), 233-239.
- Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist (AACC). (2000). Publicado por American Association of Cereal Chemist Inc. 10° edición .St. Paul, Minnesota, USA.
- Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). Disponible en:  
[<http://www.fediap.com.ar/administracion/pdfs/Agroalimentos%20Argentinos%20II%20-%20AACREA.pdf>], visitada el 22/6/2011.
- Atwell W.A; Hood, L.F; Lineback, D.R; Varriano-Marston, E. & Zobel, H.F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33, 306-311.
- 
- 

- 
- 
- Auger, F; Morel, M.H; Dewilde, M. & Redl, A. (2009). Mixing history affects gluten protein recovery, purity, and glutenin re-assembly capacity from optimally developed flour–water batters. *Journal of Cereal Science* 49, 405–412.
- Averous, L. (2015). Estructura del gránulo de almidón y organización molecular de los componentes del gránulo de almidón. Disponible en: [<http://www.biodeg.net/>], visitada el 01/10/2015.
- Axelsson, P. & Lindström, M.E. (2004). Influence of the conditions during birch kraft cooking on unbleached brightness, and on ECF - and TCF- bleachability. *Nordic Pulp Paper Res. J.* 19: 309-317.
- Baardseth, P; Kvaal, K.; Lea, P; Ellekjær, M.R. & Færgestad, E.M. (2000). The Effects of Bread Making Process and Wheat Quality on French Baguettes. *Journal of Cereal Science* 32, 73–87.
- Badui Dergal, S. (1999). Química de los alimentos. Editorial Pearson Educación. México, pp 648.
- Baillet, E., Downey, G. & Tuohy, M. (2003). Improvement of texture and volume in white bread rolls by incorporation of microbial hemicellulose preparations. En: Courtin, C.M., Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A. (Eds.), *Recent Advances in Enzymes in Grain Processing*. Laboratory of Food Chemistry, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, pp. 255–259.
- Banco Mundial. (2015). Disponible en: [<http://datos.bancomundial.org/indicador/>], visitada el 15/07/2015.
- Barrera G.N, Pérez G.T., Ribotta P.D. & León A.E. (2007). Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. *Eur. Food Res. Technol.*, 225, 1-7.
- 
- 

- 
- 
- Barrera, G.N.; Bassi E., Reyes Martínez R.J., León A.E. & Ribotta P.D. (2012). Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Agriscientia* vol. 29 no.2, Córdoba.
- Bassett, M.N., Perez-palacios, T. & Cipriano, I. (2014). Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: study of its quality characteristics. *Journal of Food Quality*, 37, 107– 116.
- Belitz, H.D. & Grosch, W. (1988). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España, pp. 813.
- Bello-Pérez, L.A.; Ottenhof, M.A; Agama-Acevedo E. & Farhat, I.A. (2005). Effect of storage time on the retrogradation of banana starch extrudate. *J. Agric. Food Chem.* 53: 1081-1086.
- BeMiller, J.N. (1993). Starch-based gums. In: *Industrial gums, polysaccharides and their derivatives*. Whistler R. L; BeMiller, J.N. (eds.) Ed. Academic Press, New York, pp. 579-598.
- Bergman, C; Gualberto D; Campbell K; Sorrells M. & Finney P. (2000). Kernel morphology variation in a population derived from a soft by hard wheat cross and associations with end-use quality traits. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty, USDA Agricultural Research Service. Lincoln, Nebraska.
- Berman, M; Bason M.L; Ellison, F; Peden G.C. & Wrigley, W. (1996). Image analysis of whole grains to screen for flour-milling yield in wheat breeding, *Cereal Chem.*, 73, 323-327.
- 
- 

---

Birch, A.N., Petersen, M.A. & Hansen, A.S. (2013). The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature. *LWT – Food Science and Technology*, 50, 480–488.

BitesizeBio. Disponible en: [www.bitesizebio.com](http://www.bitesizebio.com), visitada el 05/06/2015.

Bloksma, A.H. (1978). Rheology and chemistry of dough. In: Wheat chemistry and technology (Edited by Y. Pomeranz). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN-USA. Pp. 523-527.

Bloksma, A.H. & Bushnuk, W. (1988). Rheology and chemistry of dough. En: Pomeranz Y. (Ed.). *Wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American of Cereal Chemists, pp. 131-217.

Bolsa de Cereales Rosario. Disponible en:

[<https://www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx>], visitada el 12/05/2015.

Bot A., Sánchez H.D., de La Torre M.A. & Osella C.A. (2014a). Mother dough in bread making. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(2), 28.

Bot B., Sánchez H.D., de la Torre M. & Osella C. (2014b). Effect of Sourdough and Oxidants on French bread quality. *Accounts of Biotechnology Research*, 1(1), 8-16.

Boz, H; Gercekaslan, K.E; Karaoglu, M.M. & Kotancilar, G.H. (2012). Differences in some physical and chemical properties of wheat grains from different parts within the spike. *Turk J. Agric. For.* 36, 309-316.

Brach, AM. (2013). Factores que determinan la calidad del trigo para pan. Diario “El mercurio”. Suplemento Campo - Sección Noticias. Santiago de Chile, 27/02/2013. Chile.

---

- 
- 
- Bradová J. & Štočková L. (2010): Evaluation of winter wheat collection in terms of HMW- and LMW-glutenin subunits. *Czech Journal of Genetic and Plant Breeding*, 46 (Special Issue): 96–99.
- Branlard G; Dardevet, M; Saccomano, R; Lagoutte, F. & Gourdon, L. (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 119:59-67.
- Brownell, H.H. (1970). Spruce milled wood lignin and lignin-carbohydrate complex: molecular size and shape and frequency of lignin-carbohydrate linkages. *Tappi* 53:1278-1281.
- Bushuk, W. & V.F. Rasper (1994). *Wheat: Production, Properties and Quality*. Published by Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, 157- 158.
- Butt, M.S; Tahir-Nadeem M; Ahmad Z. & Sultan M.T. (2008). Xylanases in Baking Industry, *Food Technol. Biotechnol.* 46 (1) 22–31.
- Caballero, A., Ruiz, L., Copa-Patiño, J.L., Soliveri, J., Popper, L. (2007). Efectos de la adición exógena de complejos enzimáticos con actividad principal xilanasa sobre las propiedades viscoelásticas de las masas de harina de trigo. *Revista Alimentaria*, 380, 85-91.
- Calderini, D.F., Abeledo L.G., Savin R. & Slafer, G.A. (1999). Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre and post-anthesis under field conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26: 453-458.
- 
- 

- 
- 
- Calvel, R. (1983). *La Panadería Moderna*. Ed. América Lee, Buenos Aires - Argentina. 2ª Ed., (7).
- Calvel, R. (1996). El sabor del pan, Pan Rustique de harina pura de trigo, Molinería y Panadería, 6, 18-20. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Organizado por el Instituto Politécnico Nacional. Puerto Vallarta, México.
- Campos, P; López, J.R & Sa Pereyra, E. (2008). Evaluación de Cultivares de Trigo Pan - Campaña 2007-2008. *Desafío 21*. Publicación de la EEA INTA Bordenave. Año 14, N° 30, 9-12.
- Castelli, E. (2002). Ensayo comparativos de sustitutos del bromato de potasio para su uso en panificación. *Invenio*, Universidad del Centro Educativo Latinoamericano. Rosario, Argentina. Vol. 5, N° 8, pp. 133-140.
- Cauvain, S.P. (2007). Breadmaking processes. In: *Technology of Breadmaking*. Cauvain S.P. & L.S. Young (Eds.). New York: Springer Science and Business Media, LLC. Pp. 21–50.
- Celantano, N. & Montero, K. (2004). Tesina de Maestría: Clasificación del Trigo Argentino para su Comercialización. Maestría en Agronegocios. Universidad del CEMA. Disponible en: [[http://www.ucema.edu.ar/posgrado-download/tesinas2004/MAG\\_Celantano.pdf](http://www.ucema.edu.ar/posgrado-download/tesinas2004/MAG_Celantano.pdf)], visitada el 04/08/2015.
- Chopin technologies. Disponible en: [www.chopin.fr](http://www.chopin.fr), visitada el 12/05/2015.
- Código Alimentario Argentino (CAA), Capítulo IX, art. 661. Alimentos farináceos – cereales, harinas y derivados.



- 
- 
- Codină G.G., Cretu, I; Pâslaru, V. & Arghire, C. (2007). Ascorbic acid influence on dough's behaviour. *Journal of agroalimentary processes and technologies*, XIII (1), 299-302.
- Codină, G.G. (2008). Effects of different doses of ascorbic acid on alveograph and bread making quality of wheat flour with average quality as starting material. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 14, 87-92.
- Collado, L.S. & Corke H. (1996). Use of wheat-sweet potato composite flours in yellow-alkaline and white-salted noodles, *Cereal Chem.*, 73, 439-444.
- Cooper Bribiesca, B.L. (2013). Enzimas xilanolíticas bacterianas y sus aplicaciones industriales. *Vertientes*, 16 (1): 19-22.
- Cornish, G.B; Bekes, F; Allen, H.M. & Martin, D.J. (2001). Flour proteins linked to quality traits in an Australian doubled haploid wheat population. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52:1339–1348.
- Courtin, C.W. & Delcour, J.A. (2002). Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *J Cereal Sci* 35, 225–243.
- Cuniberti, M. (1999). Factores que influyen en la calidad panadera del trigo. Trabajo especial realizado por el INTA en la Estación Experimental Marco Juárez. *Trigo Suplemento Especial. Revista CREA (Consortio Regional de Experimentación Agrícola) N° 224*, 38-44.
- Cuniberti, M. (2001). Parámetros de calidad que definen al trigo argentino. *Publicación técnica de trigo. Campaña 2001. N° 5. INTA de Marcos Juárez, Córdoba.*
- Cuniberti, M. (2004). Propuesta de clasificación del trigo argentino. *IDIA*, 21, 6:21-25.
- 
- 

- 
- 
- Cuniberti, M. & L. Mir. (2012). Relación gluten/proteína en trigo, Lab. Calidad Industrial de Cereales y Oleaginosas- INTA Marcos Juárez. Recuperado de: <http://inta.gob.ar/documentos/relacion-gluten-proteina-en-trigo>
- Daniel, C. & Triboi, E. (2000). Effects of Temperature and Nitrogen Nutrition on the Grain Composition of Winter Wheat: Effects on Gliadin Content and Composition. *Journal of Cereal Science* 32, 45–56.
- Daniel, C. & Triboi, E. (2002). Changes in wheat protein aggregation during grain development: Effect of temperatures and water stress, *European Journal of agronomy*, 16, 1-12.
- Decock P. & Cappelle S. (2005). Bread technology and sourdough technology. *Trends in Food Science and Technology*, 16 (1–3), 113–120.
- De La Horra A.E; Seghezzo M.L; Molfese E; Ribotta P.D. & León A.E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos, *Agriscientia*, 29(2), 81-89.
- de la Olán, M; Espitia Rangel, E; López Sánchez, H; Villaseñor Mir, H.E; Peña Bautista, R.J. & Herrera Hernández, J. (2012). Physical quality from rainfall Mexican bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (2), 271-283.
- de la Vega Ruiz, C. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13(38), 27 – 32.
- De Sá Souza E. (2009). Tecnología de productos panificados. Procesos de panificación de panes y confituras. *Journal of Food Science* 70, 2, 95-101.
- 
- 

- 
- 
- de Vries R.P & Visser, J. (2001). Aspergillus enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 65:497-522.
- Defloor I. & Delcour, J.A. (1999). Impact of maltodextrins and antistaling enzymes on the differential scanning calorimetry staling endotherm of baked bread doughs. *J. Agric. Food Chem.* 47, 737-741.
- Dervilly G; Leclercq C; Zimmermann D; Roue C; Thibault JF. & Saulnier L. (2002). Isolation and characterization of high molar mass water-soluble arabinoxylans from barley and barley malt. *Carbohydr. Polym.* 47, 143–149.
- De Vuyst, L. & Vancanneyt, M. (2007). Biodiversity and identification of sourdough lactic acid bacteria. *Food Microbiol* 24(2), 120-127.
- Dick, J.W. & Quick, J.S. (1983). A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation of durum wheat breeding lines. *Cereal Chem.* 60, 315.
- Dimitri, M. J. & Orfila, E. G. (1985). Tratado de Morfología y Sistemática Vegetal. ACME, S.A.C.I., Buenos Aires.
- Dirección de Industria Alimentaria. Disponible en:  
[[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/37/cadenas/Farinaceos\\_derivados\\_trigo.htm](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/37/cadenas/Farinaceos_derivados_trigo.htm)], visitada el 22/05/2015.
- Dirección Nacional de Transf. y Comerc. de Productos Agrícolas y Forestales – Padrón de Operadores de granos ONCCA (2011). Recuperada de:  
[[https://serviciosucesci.magyp.gob.ar/principal.php?nvx\\_pagina=granos.php](https://serviciosucesci.magyp.gob.ar/principal.php?nvx_pagina=granos.php)]
- 
- 

---

Dirección Nacional Transf. y Comerc. de Productos Agrícola y Forestales – Dir. Mdos. Agroalimentarios e INDEC (2011). Disponible en: [www.indec.gob.ar](http://www.indec.gob.ar)

Dong, W. & Hosney, R.C. (1995) .Effects of Certain Breadmaking Oxidants and Reducing Agents on Dough Rheological Properties. *Cereal Chem.* 72(1), 58-64.

Dubois M.E., Gaido Z.A., Manera G.A. & Maich R.H. (1998). Evaluación del efecto de dos ciclos de selección recurrente por rendimiento en semilla sobre la calidad panadera en trigos (*Triticum aestivum* L.) aptos para la región semiárida del centro de Argentina. *Phyton* 62(1/2): 167-174.

Dubois M.E. & Gaido Z.A. (2004). Calidad panadera en cuatro ciclos de selección recurrente de trigo pan. *VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal*. Bahía Blanca, Argentina. Pp.17-18.

Dupont, F.M. & Altenbach, S.B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. of Cereal Science*, 38: 133-146.

Durán E.; León, A.E., Barber, B. & Benedito de Barber C. (2001). Effect of low molecular weight dextrans on gelatinization and retrogradation of Storch. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 203-207.

Echeverría, H. (2006). Estrategias de fertilización para aumentar el rendimiento y la calidad. Unidad Integradora INTA-FCA Balcarce. Recuperada de: Portal Agrolluvia.com

Eduardo, M., Svanberg, U., Oliveira, J. & Ahrné, L. (2013). Effect of cassava flour characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *International Journal of Food Science*, Article ID 305407, 1-10.

---

EFSA. (2011). Scientific opinion on the safety of “yeast beta-glucans” as a novel food ingredient. *EFSA Journal*, 9, 2137.

El club del pan: [www.elclubdelpan.com](http://www.elclubdelpan.com), visitada el 12/08/2015.

Espitia Rangel, E; Martínez Cruz, E; Peña Bautista, R; Villaseñor Mir, H. & Huerta Espino, J. (2008). Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agricultura técnica en México*, 34(1), 57-67.

Evans, L.T. & Peacock, W.J. (Eds) (1981). *Wheat Science. Today and tomorrow*. Cambridge University Press, pp 304.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2000). Disponible en: [<http://ben.upc.es/documents/eso/aliments/HTML/cereal-2.html>], visitada en febrero de 2015.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: [<http://www.fao.org/docrep/018/i3307s/i3307s.pdf>], visitada en febrero de 2015.

Federación Argentina de la Industria Molinera (FAIM). (2014). Disponible en: [www.faim.com.ar](http://www.faim.com.ar) , visitada el 11/08/2014.

Ferraguti F; Castellarín, J; Albrecht, R; Almada G; Andriani, J; Capurro J; Cavallero G; Cencig G; Condori, A; De Emilio, M; Dickie M. J; Gentili O; Keller O; Malmantile A; Martins L; Mendez, J.M; Pagani R; Pescetti H & y Rossi, J. (2013). Rendimiento y estabilidad de variedades de trigo durante la campaña 2012. *Informe de la EEA INTA Oliveros*.

---



Ferreira, I.M.P.L.V.O; Pinho, O; Vieira, E. & Távarela, J.G. (2010). Brewer's Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 77–84.

Filipčev, B; Šimurina, O; Bodroža-Solarov, M. & Obreht, D. (2013). Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers. *Hem. Ind.* 67 (3), 443–453.

Fitchett, C. & Frazier P. (1986). Action of Oxidants and others Improver. Chemistry and Physics of Baking. Edited by Blanshard J., Frazier, P.y Galliard, T. The Royal Society of Chemistry, Burlington House, Londres UK, pp.179-198.

Futuro y Opciones (fyo). 2003. Disponible en: [www.fyo.com](http://www.fyo.com), visitada el 04/08/2015.

Gaido, Z.A; Maich R.H. & Dubois, M.E. (2000). Calidad panadera en líneas de trigo pan con crecientes rendimientos potenciales en semilla. *Phyton* 69: 85-90.

Gaido, Z. A. & Dubois, M.E. (2008). Influencia del estrés térmico en la calidad panadera del trigo: progenies con diferentes niveles de sensibilidad. *Agriscientia*, Vol.25, N°2.

Gallardo, A.E., Sánchez, H.S. & Osella, C.A. (2015). Relationship between wheat flour properties and french bread characteristics using principal component analysis. *Accounts of Biotechnology Research*, 2 (2), 37-44.

Gan, Z; Ellis, P.R. & Schofield, J.D. (1995). Mini review: Gas cell stabilization and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21: 215-230.

García, M.O. (2004). Comercio de trigo pan Características de la oferta y demanda mundial (con especial referencia a la situación argentina). SAGPyA. Dirección

---





Nacional de Mercados. *Programa Nacional de Calidad de Trigo*. Disponible en: [www.minagri.gob.ar](http://www.minagri.gob.ar), visitada el 04/08/2015.

Goesaert, H; Brijs, K; Veraverbeke, W.S; Courtin, C.M; Gebruers, K & Delcour, J.A. (2005). Wheat flours constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in food science and technology*, 16, 12-30.

Graybosch, R.A., Peterson, C.J; Baenziger, P-S. & Shelton, D.R. (1995). Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. *Journal of Cereal Science*, 22: 45-51.

Graybosch, R; Peterson, J; Shelton, D. & Baenziger, S. (1996). Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Science*, 36 (2), 296-300.

Greenwood C. (1976). Starch. En: *Advances in Cereal Science and Technology*. Pomeranz Y. (Ed.). *American Association of Cereal Chemists, USA. Vol. 1*, pp. 119-157.

Guan, J. & Hanna, A.M. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, (5) 2329-2339.

Guardaa, A; Rosellb, C.M; Benedito, C; & Galottoc, M.J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 18 (2) 241–247.

Gupta, V.K. (Ed.); Mach, R.L. (Ed.) & Sreenivasaprasad, S. (Ed.). (2015). *Fungal Biomolecules: Sources, Applications and Recent Developments. 1<sup>st</sup> Edition*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-95829-2. USA.



- 
- 
- Guy, R.C.E. & Sarabjit, S.S. (2003). Comparison of effects of xylanases with fungal amylases in five flour types, en: Courtin, C.M. et al. (Ed.), *Recent Advances in Enzymes in Grain Processing. Laboratory of Food Chemistry*, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, pp. 235–239.
- Harbak, L. & Thygesen, H.V. (2002) Safety evaluation of a xylanase expressed in *Bacillus subtilis*. *Food Chem. Toxicol.* 40:1–8.
- Heenan, S.P; Dufour, J.P; Hamid, N; Harvey, W. & Delahunty, C.M. (2009). Characterization of fresh bread flavour: Relationships between sensory characteristics and volatile composition. *Food Chemistry* 116, 249-257.
- Hernández Ordoñez, M. & Duran Osorio, D. (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10 (2), 61-74.
- Hersleth, M; Berggre, R; Westad, F. & Martens, M. (2005). Perception of Technology I. *Chicago Siebel Publishing Company*, pp 269-281.
- Heyne, E. G. (1987). Wheat and wheat improvement (Vol. 2). S. H. Mickelson, W. R. Luellen, & D. R. Buxton (Eds.). Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Hook S.C.W., Bone G.T. & Fearn T. (1984). The influence of air temperature and relative humidity on milling performance and flour properties, *J.Sci.Food Agric.*, En: .Wheat, chemistry and technology., Y. Pomeranz, 35, 597-600 (1990).
- Horvat, D; Kurtanj, Z; Drezner, G; Simic, G. & Magdic, D. (2009). Effect of HMM Glutenin Subunits on Wheat Quality Attributes. *Food Technol. Biotechnol* 47(3), 253–259.
- 
- 

- 
- 
- Hoseney, R; Finney, K; Pomeranz, Y. & Shorgen, M. (1969). Functional Breadmaking and biochemical properties of wheat flour components. V: Role of total extractable lipids. *Cereal Chem.* 46: 606-610.
- Hoseney RC. (1984). Functional properties of pentosans in baked foods. *Food Technology*, 38: 114-117.
- Hoseney, C.R. (1998). Principles of cereal science and technology, *American Association of Cereal Chemists*, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 2nd Edition.
- Hruskova', M., & Novotna', D. (2003). Effect of ascorbic acid on the rheological properties of wheat fermented dough. *Czech Journal of Food Sciences*, 21, 137–144.
- Huebner, F.R. & Bietz, J.A. (1993). Improved chromatographic separation and characterization of ethanol-soluble wheat. *Cereal Chemistry*, 70, 506–511.
- Huebner, F.R.; Nelsen, T.C. & Bietz, J.A. (1995). Differences among gliadins from Spring and Winter Wheat cultivars. *Cereal Chem.* 72, 341-343.
- ICTA, Ingeniería en Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponible en: [www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br) , visitada el 16/10/2015.
- İlker, E; Altınbaş, M. & Tosun, M. (2009) Selection for test weight and kernel weight in high yielding wheat using a safety-first index. *Turk J Agric For* 33: 37-45.
- Instituto Nacional de Semillas (INASE). (2011). Disponible en : [www.inase.gov.ar](http://www.inase.gov.ar), visitada el 03/08/2011.
- 
- 

- 
- 
- INTA Manfredi. (2003). Proyecto Nacional N° 520207. *Desarrollo y difusión de Tecnología para aumentar la eficiencia de cosecha y poscosecha y mejorar la calidad de cereales y oleaginosas.*
- IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma IRAM 15853, (2012). Cereales. Método de determinación de la masa de 1000 granos. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [www.iram.org.ar](http://www.iram.org.ar) , visitada el 25/07/2012.
- ISO (*International Organization for Standardization*) - Norma 7971-2 (1995). Método de determinación del peso específico. Buenos Aires, Argentina.
- ISO (*International Organization for Standardization*) - Norma 8586 (2012). ISO. (2012). *Sensory Analysis – General Guidelines for the Selection, Training and Monitoring of Selected Assessors and Expert Sensory Assessors.* Ginebra, Suiza.
- Jacobs, H. & Delcour, J.A. (1998). Hydrothermal modification of granular starch with retention of the granular structure: A review: *Journal of agricultural and food chemistry.* 46 (8), 2895-2905.
- Jaekel Zafalon L; da Silva C.B; Steel, C.J; Chang, Y.K. (2012). Influence of xylanase addition on the characteristics of loaf bread prepared with white flour or whole grain wheat flour. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 32(4): 844-849.
- Jenkins P.J; Cameron R.E. & Donald, A.M. (1993). A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch/starke*, (45) 417-420.
- Jenner, C.F., Ugalde, T.D. & Aspinall, D. (1991). The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18: 211-226.
- 
- 

- 
- 
- Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L.H., Larsen, E. & Thybo A.K. (2011). Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *Journal of Cereal Science* 53, 259 – 268.
- Jiang Z.Q; Yang S.Q; Tan S.S; L.T. Li & Li X.T. (2005). Characterization of a xylanase from the newly isolated thermophilic *Thermomyces lanuginosus* CAU44 and its application in bread making. *Letters in Applied Microbiology* 41, 69–76.
- Jiménez López, M.T. (1999). Participación de los carbohidratos (amiláceos y pentosanas) en los mecanismos físico-químicos implicados en la alteración del pan y su relación con las alternativas tecnológicas para prolongar la vida de conservación. *Tesis Doctoral*. Universidad de Valencia.
- Kaid, N; Rakotozafy, L.; Potus, J. & Nicolas, J. (1997). Studies on the Glutathione-dehidroascorbate Oxidoreductase from Wheat Flour, *Cereal Chemistry*, 74, 606-610.
- Kamal A.H.M; Kim, K.H; Shin, D.H; Seo, H.S; Shin, K.H; Park, C.S; Heo, H.Y. & Woo, S.H. (2009). Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using Maldi-T of Mass Spectrometry, *Plant Omics Journal*, 2(3), 110-119.
- Kapur, N.K; Ashen, D. & Blumenthal, R.S. (2008). High density lipoprotein cholesterol an evolving target of therapy in the management of cardiovascular disease. *Journal of Vascular Health and Risk Management*, 4, 39–57.
- Karamanos, R; Flore, N. & Harapiak, J. (2005). Effect of post-emergence nitrogen application on the yield and protein content of wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(2): 327-342.
- 
- 

- 
- 
- Kasarda, D.D. (1989). Glutenin structure in relation to wheat quality. En: Wheat is Unique. Pomeranz, Y. (Ed.). *American Association of Cereal Chemists*. (St. Paul, MN.), 277-302.
- Khatkar, B. S; Fido, R. J; Tatham, A. S. & Schofield, J. D. (2002). Functional Properties of Wheat Gliadins. I. Effects on Mixing Characteristics and Bread Making Quality. *Journal of Cereal Science*, 35, 299–306.
- Kichey, T; Hirel, B; Heumez, E.; Dubois, F. & Le Gouis, J. (2007). In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic trait and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*, 102: 22-32.
- Kittisuban, P, Ritthiruangdej, P. & Suphantharika, M. (2014). Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast b-glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. *LWT – Food Science and Technology*, 57, 738–748.
- Knutzon, C.A. & Grove, M.J. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 71(5),466-469.
- Kohli, M. M.; Díaz, M.; Castro, M. (Eds.) (2003). Estrategias y Metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- Ktenioudaki, A; Butler, F & Gallagher, E. (2010). Rheological properties and baking quality of wheat varieties from various geographical regions. *Journal of Cereal Science*, 51(3):402-408.
- La gastronomía de José Soler. Disponible en: [www.gastrosoler.com](http://www.gastrosoler.com), visitada el 04/09/2015.
- 
- 

- 
- 
- Lagrain, B; Thewissen, B.G; Brijs, K. & Delcour, J.A. (2008). Mechanism of gliadin-glutenin cross-linking during hydrothermal treatment. *Food Chemistry*, 107, 753-760.
- La guía – Sección Química. Disponible en: [<http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/el-almidon-y-su-quimica>], visitada el 02/09/2015.
- Larré, C., Papini-Deneri, S; Popineau, Y; Deshayes, G; Desserme, C. & Lefebvre, J. (2000). Biochemical Analysis and Rheological Properties of Gluten Modified by Transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 77, 121- 127.
- Lawless, H.T. & Heymann H. (2014). In: *Bakery Products Science and Technology*, Weibiao Zhou, (Ed), Hui Y.H. (Co-Ed), Wiley-Blackwell, 2<sup>nd</sup> Edition, 286.
- Lezcano, E.P. (2012). Evolución de los principales indicadores sectoriales en el período 2002-2011. *Cadena de la Harina de Trigo – segunda parte. Alimentos Argentinos – MinAgri*, pp. 4. Disponible en: [www.alimentosargentinos.gob.ar](http://www.alimentosargentinos.gob.ar) , visitada el 25/12/2014.
- Linlaud, N.E; Gómez, A.V; Puppo, M.C. & Ferrero, C. (2006). Efecto de emulsificantes sobre la calidad de masa panaria de harinas de trigos comerciales. Congreso; *XXVI Congreso Argentino de Química* Dr. Angel del Carmen Devia. San Luis – Argentina.
- Loewy, T. (1995). Fertilización y proteína en el grano de trigo. *Boletín Técnico N° 10 EEA INTA Bordenave*, Buenos Aires, Argentina, 1-6.
- Luna Fernández, M. & Bárcenas-Pozos, M.E. (2011). Envejecimiento del pan: causas y soluciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 5 (2), 40-53.
- 
- 

- 
- 
- Loussert C; Popineau, Y. & Mangavel, C. (2008). Protein bodies ontogeny and localization of prolamin components in the developing endosperm of wheat caryopses. *Journal of Cereal Science*, 4: 445–456.
- Lu Xiuzhen & Seib A.P. (1998). Assay of dehydroascorbic acid in bread and dough added as a crystalline dimer. *Cereal Chemistry*, 75(2), 200-206.
- Maat, J; Roza, M; Verbakel, J; Stam, H; da Silra, M.J.S; Egmond, M.R; Hagemans, M.L.D; van Garcom, R.F.M; Hessing, J.G.M; van Derhondel, C. & van Rotterdam, C. (1992). Xylanases and their application in baking, en: Visser, J; Beldman, G; van Someren, M.A.K; Voragen, A.G.J. (Eds.), *Xylan and Xylanases*. Elsevier, Amsterdam, pp. 349–360.
- Marshall D.R, Mares, D.J.; Moss, H.J. & Ellison, F.W. (1986). Effects of grain shape and size on milling yields in wheat, II. Experimental studies, *Aust. J.Agric.Res.* 37, 331-342.
- Maurandi López, A. (2012). Curso de fundamentos estadísticos para investigación (con SPSS, Excel y R). Plan de formación del personal de Administración y Servicios de la Universidad de Murcia. Disponible en: [www.um.es/sai](http://www.um.es/sai), visitada el 25/07/2015.
- Martins, Z.E.; Erben, M; Gallardo, A.E; Silva, R; Barbosa, I; Pinho, O. & Ferreira, I.M.P.L.V.O. (2015). Effect of spent yeast fortification on physical parameters, volatiles and sensorial characteristics of home-made bread. *International Journal of Food Science & Technology* 50 (8), 1855–1863.
- Mares, D. & Mrva, K. (2008). Late-maturity  $\alpha$ -amylase: low falling number in wheat in the absence of preharvest sprouting. *J. Cereal Sci* 4: 6-17.
- 
- 

- 
- 
- Martre, P; Porter, J.R; Jamieson, P.D. & Triboï, E. (2003). Modeling Grain Nitrogen Accumulation and Protein Composition to Understand the Sink/Source Regulations of Nitrogen Remobilization for Wheat. *Plant Physiol.*, 133(4): 1959–1967.
- Méndez, M; Melchiori, R.; Villarroel, D.; Juan, N.; Vélez, J. & Albarenque, S. (2012). Rendimiento y proteína de diferentes variedades de trigo en función de la dosis de fertilización nitrogenada. *Ediciones INTA 2012*, 1- 6.
- Metakovskii, E.V; Wrigley, C.W; Bekes, F. & Gupta, R.B. (1990). Gluten polypeptides as useful genetic markers of dough quality in Australian wheats. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41, 289–306.
- Mikhaylenko, G; Czuchajowska, L; Baik, B-K. & Kidwell, K.K. (2000). Environmental influences on flour composition, dough rheology and baking quality of spring wheat. *Cereal Chemistry*, 77(4): 505-511.
- Miller, K.A. & Hosenev, R.C. (1999). Effect of Oxidation on the Dynamic Rheological Properties of Wheat Flour-water Doughs, *Cereal Chemistry*, 76, 100-104.
- Mut, Z; Aydin, N; Bayramoglu, H.O. & Ozcan, H. (2010). Stability of some quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. *J. Environ. Biol.*, 31: 489-495.
- Nakamura M. & Kurata T. (1997). Effect of L-ascorbic acid on the rheological properties of wheat flour-water dough, *Cereal Chemistry*, 74: 647-650.
- Naumann, E; Van Rees, A.B; Onning, G; Oste, R; Wydra, M. & Mensink, R.P. (2006). Beta-glucan incorporated into a fruit drink effectively lowers serum LDL-cholesterol concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 601–605.
- 
- 

- 
- 
- Nazare, J.A; Normand, S; Oste Triantafyllou, A; Brac de la Perriere, A; Desage, M. & Laville, M. (2009). Modulation of the postprandial phase by beta-glucan in overweight subjects: Effects on glucose and insulin kinetics. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, 361–369.
- Noonan, G.O; Warner, C.R; Hsu, W; Begley, T.H; Perfetti, G.A & Diachenko, G.W. (2005). The determination of semicarbazide (N-aminourea) in commercial bread products by liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(12), 4680-5.
- Norma, A. & Guillermo, A.O. (2003). Production, purification and characterization of a low-molecular-mass xylanase from *Aspergillus* sp. and its application in baking. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, (104), 159-171.
- Ordoñez, H. (2000). *Glosario de la Nueva Economía y Negocios Agroalimentarios*, Documento preliminar para el debate Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Osborne, T. (1924). En: *The Vegetable Proteins*. 2<sup>da</sup> Edición. Ed. Longmans and Green, Nueva York.
- Osella C.A; Sánchez H.D; González R.J. & de la Torre M.A. (2006). *Molienda de Trigo: Ensayos comparativos de Escala Industrial con Planta Piloto*, *Información Tecnológica - La Serena-Chile*, 17(3), 33-39.
- Osella C.A; Robutti J; Sánchez H.D; Borrás F. & de La Torre M.A. (2008). Dought properties related to baking quality using PCA (Principal Component Analysis), *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6(2), 95-100.
- 
- 

- 
- 
- Osella C; de la Torre M; Erben M; Gallardo A. & Sánchez H. (2013). Effect of xylanase on the technological behaviour of wheat flours. *Academia Journal of Food Research* 1(2): 033-039.
- Osella, C. (2015). Material de estudio de la Cátedra Química y Tecnología de Cereales. ITA – FIQ – UNL.
- Payne, P; Corfield, K.G; Holt, L. & Blackman, J.A. (1981). Correlations between the inherence of certain high-molecular-weight subunits of glutenin and bread-making qualities in progenies of six crosses of bread wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32, 51-60.
- Payne, P. (1987). Genetics of Wheat Storage Proteins and the Effect of Allelic Variation on Bread-Making Quality. *Annual Review of Plant Physiology*, 38, 141-153.
- Peña, R. J; Amaya, A; Rajaram, S. & Mujeeb-Kazi, A. (1990). Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science*, 12, 105-112.
- Perten Instruments. Disponible en: <http://www.perten.com/es/Productos/Falling-Number/Metodo-Falling-Number/>, visitada el 21/11/2012.
- Petravic -Tominac, V; Zechner-Krpan, V; Berkovic, K. *et al.* (2011). Rheological properties, water-holding and oil-binding capacities of particulate  $\beta$ -glucans isolated from spent Brewer's yeast by three different procedures. *Food Science and Biotechnology*, 49, 56–64.
- Polaina, J. (2004). Estructura, función e ingeniería molecular de enzimas implicadas en la digestion de carbohidratos. *Mensaje Bioquímico*, Vol. XXVIII. Depto.
- 
- 

- 
- Bioquímica, Fac. Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd Universitaria, México, DF, México.
- Pomeranz Y. (1988). Chemical composition of kernel structures, En: *Wheat Chemistry and Technology*, 3rd Edition, Y. Pomeranz, (Ed.), Am. Assoc. *Cereal Chem.* St.Paul, MN. Pp. 97-157.
- Popper, L. (1997). Simple approaches for identification of baking active xylanases. En: Angelino, F. *et al.* (Eds.). *The first European symposium on enzymes and grain processing*. Zeist: TNO Nutrition and Food Research Institute, 110-120.
- Popper, L. (2005). Enzimas – Las mejores amigas de las harinas Las pequeñas ayudantes de los fabricantes de harinas. Disponible en: [www.muehlenchemie.de](http://www.muehlenchemie.de), visitada el 18/11/2013.
- Popper, L; Schäfer, W. & Freund, W. (2007). *Future of flour: Dough rheology as a function of flour treatment (Monografía)*. Alemania. Mühlenchemie GmbH & Co KG. Recuperado de: [www.muehlenchemie.de](http://www.muehlenchemie.de), visitada el 13/10/2013.
- Programa Nacional de Calidad de Trigo. (2004). SAGPyA. Disponible en: [www.minagri.gob.ar](http://www.minagri.gob.ar) , visitada el 12/12/2014.
- Proyecto Fertilizar – INTA Pergamino. Fertilización y Calidad en Trigo. Disponible en: [www.fertilizando.com](http://www.fertilizando.com), visitada el 14/07/2015.
- Pyler, E. (1973a). Aspect of Physical Chemistry oxidation and Reduction. *Baking Science and Bread: A Comparison of Consumers and Trained Assessors. Technology I*. Chicago Siebel Publishing Company, 269-281.
- Pyler, E. (1973b). *Physical and Chemical Testing Method. Baking Science and Technology II*. Chicago Siebel Publishing Company, 834-859.
-

- 
- 
- Qi Si, J. & Drost-Lustenberger, C. (2002). Enzymes for bread, pasta and noodle products, in: Whitehurst, R.J., Law, B.A. (Eds.), *Enzymes in Food Technology*. Sheffield Academic Press Ltd., Sheffield, pp. 19–56.
- Quaglia, G. (1991). Los mejorantes. *Ciencia y tecnología de la panificación*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España), 163-170.
- Quattrocchio, A., Echeverría, H.E. & Alonso S.I. (2004). Fertilización nitrogenada en cultivares de trigo pan para rendimiento y calidad panadera. XII *Congreso Nacional de AAPRESID*. Rosario 10-13/8/2004.
- Ranganna, S. (1977). Manual of Analysis of fruit and vegetable products. New Delhi. Cap. 6, pp. 108 - 109.
- Ribotta, P., Morcillo, M. & León, A. (1999). Efecto de distintos oxidantes sobre la calidad de panes elaborados por el método tradicional argentino. *Agriscientia*, XVI, 3-10.
- Robutti, J; Borrás, F.; Cuniberti, M. & Tombetta, E. (1994). Composición de las gliadinas de trigos argentinos y su relación con la calidad industrial. Pag. 233 en: III Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca.
- Robutti, J.L; Borrás, F; Sánchez, H.D; Osella, C.A. & de la Torre, M.A. (1998). Evaluación tecnológica y bioquímica de líneas de trigo para producción de galletas crujientes (crackers). *Información Tecnológica*, 9, 113-122.
- Rodrigo, L. & Salvador Peña, A. (2013). Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca. 1ra.Ed. Omnia Science, Omnia Publisher S.L. España. Pp. 468.
- 
- 

- 
- 
- Rodríguez, P; San Martín, M. E. & González de la Cruz, G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y Vacío*, 13, 61-65.
- Rodríguez-González, R.E; Ponce-Medina, J.F; Rueda-Puente, E.O; Avendaño-Reyes, L; Paz Hernández, J.J; Santillano-Cazares, J. & Cruz-Villegas, M. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (2), 543-558.
- Ronda F., Rodríguez de la Calle M. & Pando V. (2012). Enriquecimiento de pan sin gluten con  $\beta$ -Glucanos extraídos del hongo *Pleurotus ostreatus*. CESIA2012-VII Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. Tecnología de los Alimentos. Universidad de Castilla-La Mancha ISBN: 978-84-695-4196-8. Pp. 176. Ciudad Real, 7-9 noviembre 2012.
- Rooney, L.W. & Huang, D.P. (2001). Starches for snack foods En: *Snack foods processing*, ed. Lusas, E.W., Rooney, L. W. Lancaster, Pennsylvania. Technomic Publishing Company, Inc. 115-130.
- Rouau, X; El Hayek, M. L & Moreau, D. (1994). Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science*, 19, 259-272.
- Rubianes Manzano, J. (2007). *Prolaminas y marcadores moleculares relacionados con la calidad en Trigo Duro (Triticum turgidum L.)* Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- 
- 

- 
- 
- Salmenkallio-Marttila, M. Roininen, K. Autio K. & Lähteenmäki L. (2004). Effects of gluten and transglutaminase on microstructure, sensory characteristics and instrumental texture of oat bread. *Agric. Food Sci.*, 13, 138-150.
- Sánchez H.D; Mancuello J.C & Fabre H.C. (1983). Essai de panification pour le pain français. *Industries de Céréales*. 25: 29-32.
- Sánchez H.D; de La Torre, M.A; Osella, C.A. & Mancuello, J.C. (1986). Effet du contenu élevé d'amidon endommagé sur le comportement de la farine de blé, *Industries Des Céréales*, 42, 7-11.
- Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M., & Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. *Scientia Agropecuaria*, 2, 123-131.
- Šašek A., Černý J., Sýkorová S., Bradová J. (2000): Inovované katalogy bílkovinných genetických markerů pšenice seté a ječmene. ÚZPI, Praha.
- Savin, R. & Sorlino, D. (2003). Calidad de los Granos y estimadores más comunes. Producción de Cultivos de Granos, Bases Funcionales para su Manejo. Editor Responsable: Antonio Pascale, Coordinadores: E. Satorre, R. Benech Arnold, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M.E. Otegui, R. Savin. Editorial Facultad de Agronomía – UBA. Capítulo 3. 27-50.
- Schofield, J.D. & Booth, M.R. (1983). Wheat proteins and their technological significance, en *Developments in Food Proteins-2* Ch.1 Ed. Hudson, B.J.F. *Applied Science Publishers*.
- Schofield, J.D. (1994). Wheat Production, Properties and Quality. Bushuk, W. y Rasper V.F. (Eds.). 1º Ed. *Blackie Academic and Professional*, Glasgow, UK. 73–99.
- 
- 

- 
- 
- Schuler S.F., Bacon, R.K; Finney, P.L. & Gbur, E.E. (1995). Relationship of test weight and kernel properties to milling and baking quality in soft red winter wheat, *Crop Sci.*, 35, 949-953.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGPYA) Disponible en: [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar), visitada el 02/08/10.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGPYA). Guía de Aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura en panaderías y confiterías. Disponible en: [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar), visitada el 29/06/14.
- Seghezzo, M.L. (2015). Calidad en trigo candeal. 1ra Ed. – Tres Arroyos, Buenos Aires. EEA Barrow. *Ediciones INTA*. Pp. 22.
- Shewry, P.R; Tatham, A.S; Forde. J; Kreis, M. & Miflin, B.J. (1986). The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of Cereal Science* 4, 97-106.
- Shewry, P.R. & Halford, N. G. (2002). Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53 (370), Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue, 947–958.
- Shewry, P.R; Halford, N.G.; Tatham, A.S; Popineau, Y; Lafiandra, D. & Belton. P.S. (2003). The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 45, 219-302.
- Shuey, W.C. (1960). A wheat sizing technique for predicting flour milling yield. *Cereal Sci. Today*, 5, 71-75.
- 
- 

- 
- 
- Shuey, R. T. (1975). *Semi-Conducting Ore Minerals*. Elsevier, Amsterdam.
- Shuey W.C. (1990). A wheat sizing technique for predicting flour milling yield, *Cereal Sci. Today*, en: *.Wheat, chemistry and technology*. Y. Pomeranz, 5, 71-75.
- Siemianowska, E; Skibniewska, K.A; Warechowska, M; Jędrzejczak, M.F. & Tyburski, J. (2011). *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering* 5 (11), 641-646.
- Sigma Aldrich. Disponible en: [www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com), visitada el 24/09/2015.
- Slafer, G.A.; Miralles, D; Savin, J.R; Whitechurch, E.M. & González, F.G. (2004). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina, pp. 99-132.
- Slideshare. Disponible en: [<http://es.slideshare.net/ximenarajasortiz/trigo-ecofisiologia-14592630>], visitada el 09/09/2015.
- Steffolani M.E; Ribotta P.D; León A.E. & Pérez G.T. (2005). Efecto de las enzimas Transglutaminasa y Glucosa Oxidasa sobre las propiedades de la masa. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Organizado por el Instituto Politécnico Nacional. Puerto Vallarta, México.
- Steffolani M.E., Pérez, G.T; Ribotta, P.D. & León A. (2007). Relationship between variety classification and bread making quality in Argentine wheat, *International Journal of Agricultural Research*, 2(1), 33-42.



- 
- 
- Stone, P.J. & Nicolas, M.E. (1996). Varietal differences in mature protein composition of wheat resulted from different rates of polymer accumulation during grain-filling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23, 727-737.
- Stone, P.J. & Savin R. (1999). Grain quality and its physiological determinants. In *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. E.H. Satorre and G.A. Slafer (Eds.). Food Product Press, New York, pp 50-120.
- Švec, I.; Hrušková, M. & Jirsa, O. (2007). Effects of Wheat Cultivar and Harvest Year on Technological Quality Studied by Univariate and Multivariate Analyses. *Czech J. Food Sci.* 25, (5) 249–256.
- Swieca, M; Gawlik-Dziki, U; Dziki, D; Baraniak, B. & Czy, J. (2013). The influence of protein flavonoid interactions on protein digestibility *in vitro* and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. *Food Chemistry*, 141, 451–458.
- Takayama, T; Ishikawa, N. & Taya, S. (2006). The effect to the protein concentration and flour quality of nitrogen fertilization at 10 days after heading in wheat. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 40: 291-297.
- Tecnología de granos y semillas. Disponible en:  
[<https://tecgranosysemillas.wordpress.com/presentacion-del-programa/>], visitada el 02/12/2014.
- Tejero, F. (2002). Enranciamiento: los antioxidantes. Molinería y Panadería. España. Disponible en: [[http:// www.Molinería y Panadería Digital](http://www.Molinería y Panadería Digital)].
- Thomas, D. J., Atwell, W. A. (1999). En: *Starches Minnesota*: Egan Press. Pp 1-47.



- 
- 
- Torres-González, M.P; Jiménez-Munguía, M.T & Bárcenas-Pozos, M.E. (2014). HARinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos* 8(1), 94-102.
- Tosi, E.A; Re, E.D; Masciarelli, R; Sánchez, H.D; Osella, C.A & de la Torre, M.A. (2002). Whole and deffated hyperproteic amaranth flours tested as wheat flour supplementation in mold breads. *Lebensm -Wiss u-Technol.* 35: 472-475.
- Triboi, E.; Abad, A; Michelena, A; Lloveras, J; Ollier, J.L. & Daniel, C. (2000). Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur J. Agron.*13:47-64.
- Trigo Argentino. (2002). Informe institucional sobre su calidad. Campaña 2000/2001. Disponible en: [www.trigoargentino.com.ar](http://www.trigoargentino.com.ar), visitada el 12/05/2014.
- Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: [www.agro.unc.edu.ar](http://www.agro.unc.edu.ar) , visitada el 29/05/2015.
- Universidad de Barcelona. Disponible en: [www.ub.edu](http://www.ub.edu), visitada el 13/10/2014.
- Uthayakumar, S. & Lukow, O.M . (2005). Improving wheat for bread and tortilla production by manipulating glutenin-to-gliadin ratio. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2111-2118.
- USDA. (2011). Disponible en: [www.novitas.com.ar](http://www.novitas.com.ar), visitada el 25/04/2014.
- USDA. (2015). Disponible en: [www.bolsadecereales.com.ar](http://www.bolsadecereales.com.ar), visitada el 12/05/ 2015.
- van Oort, M. (2010). Enzymes in bread making. In: Whitehurst, R.J. y van Oort, M., *Enzymes in food technology*. While-Blackwell.
- 
- 

- 
- 
- Vega, O.A; De Marco, R.V. & Di Risio, C.D. (2010). Efecto del empleo de ácido ascórbico, azodicarbonamida y las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa sobre los parámetros fermentativos de una masa panaria. *Vector*, 5, 27-34.
- Velich, T; Delfino, S; Tolentinati, P. & Di Lorenzo, C. (2004). Vigilancia del uso indebido de bromato de Potasio en Argentina. *Instituto Nacional de Alimentos – ANMAT – Ministerio de Salud y Ambiente*. Vol. 12 (5), 49 - 80.
- Veraverbeke, W; Larroque, O; Békés, F. & Delcour, J. (2000). In Vitro Polymerization of Wheat Glutenin Subunits with Inorganic Oxidizing Agents. II. Stepwise Oxidation of Low Molecular Weight Glutenin Subunits and a Mixture of High and Low Molecular Weight Glutenin Subunits, *Cereal Chemistry*, 77, 589-594.
- Veraverbeke, W.S. & Delcour, J.A. (2002). Wheat protein composition and properties of wheat gluten in relation to bread making functionality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 179 – 208.
- Volman, J.J; Ramakers, J.D. & Plat, J. (2008). Dietary modulation of immune function by beta-glucans. *Physiology & Behavior*, 94, 276–284.
- Wang, M., Hamer, R.J., van Vliet, T; Gruppen, H; Marseille, J.P. & Weegels, P.L. (2003). Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: Mechanistic considerations. *J. Cereal Sci.* 37, 55- 64.
- Wang M, van Vliet T. & Hamer R.J. (2005). Interaction of water unextractable solids and xylanase with gluten protein: effect of wheat cultivar. *Journal of Cereal Science*, 41, 251-258.
- Wardlaw, C.M. & Wrigley, C.M. (1994). Heat tolerance in temperate cereals: An overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21:695-703.
- 
- 

- 
- 
- Weegels, P.L.; Hamer, R.J. & Schofield, J.D. (1996). Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 23:1–18.
- Weightman R.M., Millar, S; Alava, J; Foulkes, M.J; Fish L. & Snape, J.W. (2008). Effects of drought and the presence of the 1BL/1RS translocation on grain vitreosity, Hardness and protein content in winter wheat, *Journal of Cereal Science*, 47, 457-468.
- Wieser, H. & Seilmeier, W. (1998). The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J. Sci. Food Agric.* 76, 49-55.
- Wrigley, C.W. & Bietz, J.A. (1988). Proteins and amino acids, In *Wheat Chemistry and Technology*. Vol. I. Ed. Y. Pomeranz, AACC Inc. St. Paul, MN. pp 159-275.
- Yamada, Y. & Preston, K. (1992). Effects of Individual Oxidants on Oven Rise and Bread Properties of Canadian Short Process Bread. *Journal of Cereal Science*, 15, 237-251.
- Yamada, Y. & Preston, K. (1994). Sponge-and-Dough Bread: Effects of Oxidants on Bread and Oven Rise Properties of a Canadian Red Spring Wheat Patent Flour, *Cereal Chemistry*, 71, 297-300.
- Yamazaki, W.T. & Lord, D.D. (1971). Soft Wheat Products. In: *Wheat, Chemistry and Technology*, Pomeranz, Y. (Ed.). American Association of Cereal Chemistry, St Paul, MN. pp: 743-776.
- Zhang, Z. & Scanlon, M.G. (2011). Solvent effects on the molecular structures of crude gliadins as revealed by density and ultrasound velocity measurements. *Journal of Cereal Science*, 21 (7), 1092–1100.
- 
- 

---



Zehentbauer, G. & Grosch, W. (1998). Crust aroma of baguettes I. Key odorants of baguettes prepared in two different ways. *Journal of Cereal Science*, 28, 81–92.

Zeng, M., C.F. Morris, I.L. Batey & C.W. Wrigley. (1997). Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. *Cereal Chem.* 74 (1), 63-71.



# ANEXO

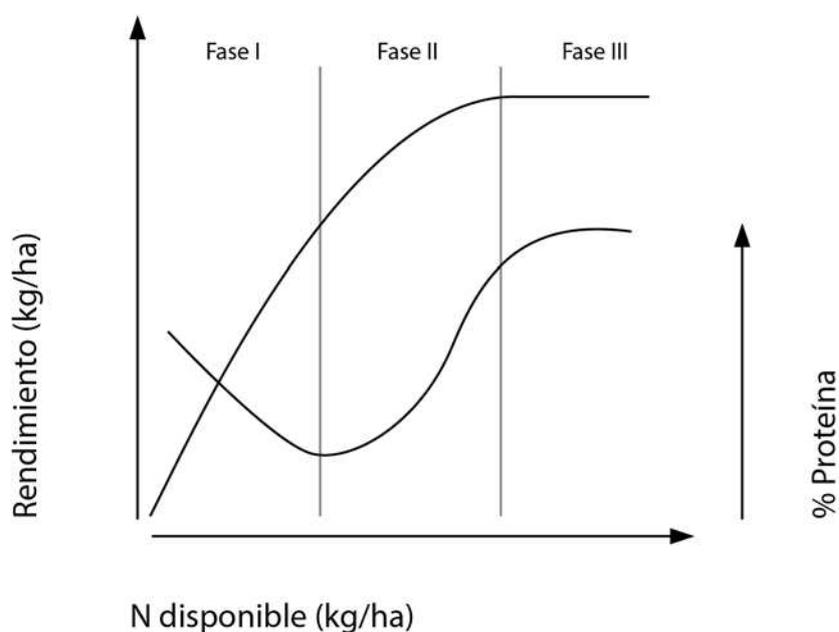
## CAPÍTULO VII



## Capítulo VII. ANEXOS

### Relación entre rendimiento de grano, contenido de proteínas y N edáfico.

Figura I. Relaciones entre emprendimiento y porcentaje de proteínas según disponibilidad de nitrógeno en el suelo.



*Línea gruesa: Rendimiento (kg/ha); línea fina: % de proteína en grano.*

**Figura VII.78.** Relación entre el rendimiento en grano y contenido de proteínas según disponibilidad de N edáfico.

Fuente: Stone & Savin (1999)

En esta Figura se grafican la variación de los pesos de las distintas fracciones de proteínas después de antesis.



## Resultados de determinaciones reológicas de las harinas obtenidas a partir de variedades comerciales de trigo

### - Gluten húmedo y farinogramas

**Tabla VII.32.** Valores promedio de contenido de gluten húmedo, parámetros farinográficos y farinogramas de harinas varietales.

Variedades	Gluten húmedo [%]	Abs. de agua Base 14% H°	Tiempo de desarrollo [min]	FARINOGRAMA		FARINOGRAMA (representativo de la muestra)
				Estabilidad [min]	Ablandamiento [UB]	
1	29,5	58,6	2,0	1,5	90	
2	27,0	64,2	2,6	2,9	50	
3	24,0	64,9	2,2	9,5	82	
4	28,0	65,5	2,3	11	90	
5	26,4	67,4	2,5	1,5	100	
6	26,7	65,1	2,2	1,3	120	
7	16,4	59,5	1,6	0,4	130	
8	20,2	60,0	1,7	1,4	125	





**- Alveogramas**

**Tabla VII.33.** Valores promedios y desvíos estándar de los valores de parámetros alveográficos y alveogramas de harinas varietales.

<b>ALVEOGRAMA</b>				
<b>Variedades</b>	<b>P</b>	<b>P/L</b>	<b>W</b>	<b>ALVEOGRAMA (representativo de la muestra)</b>
<b>1</b>	157	3,56	275	
<b>2</b>	143	2,90	286	
<b>3</b>	142	3,46	345	
<b>4</b>	157	4,13	267	
<b>5</b>	110	4,00	292	
<b>6</b>	150	4,10	268	
<b>7</b>	113	3,90	176	
<b>8</b>	107	2,60	188	





## Resultados de análisis tecnológicos de las harinas obtenidas

### - Testigos: Pan Francés y Pan de Molde

**Tabla VII.34.** Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés y pan de Molde elaborado a partir de harinas varietales.

Variedades	Pan Francés					Pan de Molde				
	Volumen Específico [ml.g <sup>-1</sup> ]	DE	Puntaje total	DE	Calificación	Volumen Específico [ml.g <sup>-1</sup> ]	DE	Puntaje total	DE	Calificación
1	3,1	0,05	75,7	0,2	Bueno	3,6	0,10	82,6	0,35	Muy Bueno
2	3,2	0,10	80,1	0,4	Muy Bueno	4,1	0,06	92,7	0,29	Excelente
3	2,9	0,07	66,7	0,3	Regular	3,8	0,11	76,5	0,40	Bueno
4	3,0	0,09	74,9	0,4	Bueno	3,4	0,11	83,7	0,40	Muy Bueno
5	4,2	0,14	77,8	0,5	Bueno	4,3	0,14	82,1	3,14	Muy Bueno
6	4,3	0,13	74,0	0,5	Bueno	4,5	0,12	89,0	1,06	Muy Bueno
7	4,0	0,10	79,9	0,4	Bueno	4,1	0,13	81,3	0,69	Muy Bueno
8	4,2	0,13	79,4	0,5	Bueno	4,4	0,13	88,4	0,76	Muy Bueno





## Pruebas de panificación con agregado de aditivos

- **Xilanasa**

**Tabla VII.35.** Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborado a partir de harinas varietales con agregado de xilanasa,

<b>Pan Francés + XI</b>										
Variedades	Volumen Específico [ml.g <sup>-1</sup> ]	Dosis: 60 mg.kg <sup>-1</sup>				Dosis: 160 mg.kg <sup>-1</sup>				
		DE	Puntaje total	DE	Calificación	Volumen Específico [ml.g <sup>-1</sup> ]	DE	Puntaje total	DE	Calificación
1	3,6	0,16	90,0	1,08	Excelente	4,1	0,14	94,5	0,49	Excelente
2	3,9	0,10	92,7	0,41	Excelente	4,3	0,12	94,7	0,58	Excelente
3	3,8	0,10	80,7	1,07	Muy Bueno	4,2	0,09	83,8	0,22	Muy Bueno
4	3,8	0,11	60,5	44,81	Muy Bueno	4,2	0,12	89,1	1,11	Excelente
5	4,9	0,12	80,0	3,00	Muy Bueno	5,3	0,11	79,1	4,52	Muy Bueno
6	4,9	0,10	82,7	1,46	Muy Bueno	5,2	0,13	78,7	6,68	Bueno
7	4,5	0,11	87,0	0,60	Muy Bueno	5,1	0,10	76,2	2,12	Bueno
8	5,0	0,10	91,0	2,34	Excelente	5,2	0,11	82,8	1,12	Muy Bueno





- **Ácido Ascórbico**

**Tabla VII.36.** Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborados a partir de harinas varietales con agregado de ácido ascórbico.

<b>Pan Francés + AA</b>										
<b>Dosis: 75 mg.kg<sup>-1</sup></b>						<b>Dosis: 150 mg.kg<sup>-1</sup></b>				
<b>Variedades</b>	<b>Volumen Específico [ml.g<sup>-1</sup>]</b>	<b>DE</b>	<b>Puntaje total</b>	<b>DE</b>	<b>Calificación</b>	<b>Volumen Específico [ml.g<sup>-1</sup>]</b>	<b>DE</b>	<b>Puntaje total</b>	<b>DE</b>	<b>Calificación</b>
<b>1</b>	3,1	0,11	76,0	1,70	Bueno	3,13	0,11	77,2	1,90	Bueno
<b>2</b>	3,4	0,09	77,0	0,25	Bueno	3,56	0,12	82,6	0,64	Muy Bueno
<b>3</b>	2,9	0,10	66,5	0,59	Regular	2,92	0,12	66,7	0,47	Regular
<b>4</b>	3,0	0,09	77,3	0,76	Bueno	2,99	0,10	77,5	0,74	Bueno
<b>5</b>	4,1	0,16	61,9	1,51	Regular	3,96	0,15	64,2	0,86	Regular
<b>6</b>	4,6	0,13	81,6	1,17	Muy Bueno	4,23	0,06	83,9	0,63	Muy Bueno
<b>7</b>	3,7	0,08	66,3	0,40	Regular	3,63	0,08	64,7	1,45	Regular
<b>8</b>	4,1	0,09	75,2	0,45	Bueno	4,10	0,09	75,6	0,56	Bueno





- **Azodicarbonamida**

**Tabla VII.37.** Valor promedio y desvío estándar de volumen específico, puntaje total y calificación de pan tipo Francés elaborado a partir de harinas varietales con agregado de azodicarbonamida.

<b>Pan Francés + ADA</b>										
<b>Dosis: 40 mg.kg<sup>-1</sup></b>						<b>Dosis: 80 mg.kg<sup>-1</sup></b>				
<b>Variedades</b>	<b>Volumen Específico [ml.g<sup>-1</sup>]</b>	<b>DE</b>	<b>Puntaje total</b>	<b>DE</b>	<b>Calificación</b>	<b>Volumen Específico [ml.g<sup>-1</sup>]</b>	<b>DE</b>	<b>Puntaje total</b>	<b>DE</b>	<b>Calificación</b>
<b>1</b>	3,1	0,12	74,1	1,20	Bueno	3,0	0,07	73,4	0,50	Bueno
<b>2</b>	3,2	0,15	76,0	0,50	Bueno	3,0	0,09	76,8	2,52	Bueno
<b>3</b>	3,2	0,13	68,0	0,75	Regular	3,2	0,12	68,1	0,90	Regular
<b>4</b>	3,1	0,13	73,6	0,81	Bueno	3,2	0,08	74,8	0,54	Bueno
<b>5</b>	4,3	0,12	76,7	0,36	Bueno	4,3	0,14	76,6	0,93	Bueno
<b>6</b>	4,2	0,13	79,4	1,36	Muy Bueno	4,3	0,12	82,6	0,95	Muy Bueno
<b>7</b>	3,8	0,14	79,9	0,52	Muy Bueno	3,5	0,08	78,1	1,46	Bueno
<b>8</b>	4,1	0,11	78,0	0,80	Bueno	4,0	0,11	77,7	1,12	Bueno



## Análisis de Varianza (ANOVA)

- **Xilanasa**

**Tabla VII.38.** Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de XI (60 mg.kg<sup>-1</sup> y 160 mg.kg<sup>-1</sup>).

TESTIGO Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Volumen Especifico..	24	0,96	0,95	3,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Variedades	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Error	0,29	16	0,02		
Total	8,30	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0183 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

6	4,33	3	0,08	A
8	4,23	3	0,08	A
5	4,20	3	0,08	A B
7	3,97	3	0,08	B
2	3,20	3	0,08	C
1	3,17	3	0,08	C
4	2,97	3	0,08	C D
3	2,90	3	0,08	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

XILANASA 60mg Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
XILANASA 60mg Volumen Espe..	24	0,97	0,96	2,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,47	7	1,07	75,34	<0,0001
Variedades	7,47	7	1,07	75,34	<0,0001
Error	0,23	16	0,01		
Total	7,70	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0142 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

8	5,00	3	0,07	A
5	4,93	3	0,07	A
6	4,93	3	0,07	A
7	4,50	3	0,07	B
2	3,93	3	0,07	C
3	3,80	3	0,07	C D
4	3,77	3	0,07	C D
1	3,60	3	0,07	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

XILANASA 160mg Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
XILANASA 160mg Volumen Esp..	24	0,97	0,95	2,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,84	7	0,83	69,00	<0,0001
Variedades	5,84	7	0,83	69,00	<0,0001
Error	0,19	16	0,01		
Total	6,03	23			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0121 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

5	5,30	3	0,06	A
8	5,17	3	0,06	A
6	5,17	3	0,06	A
7	5,10	3	0,06	A
2	4,33	3	0,06	B
4	4,20	3	0,06	B
3	4,17	3	0,06	B
1	4,13	3	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**Tabla VII.39.** Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de XI ( $60 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $160 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

## TESTIGO Puntaje

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Puntaje	24	0,99	0,99	0,51

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Variedades	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Error	2,40	16	0,15		
Total	418,54	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,1500 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
2	80,13	3	0,22	A
7	79,90	3	0,22	A B
8	79,37	3	0,22	B
5	77,83	3	0,22	C
1	75,67	3	0,22	D
4	74,87	3	0,22	E
6	74,03	3	0,22	F
3	66,70	3	0,22	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## XILANASA 60mg Puntaje

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
XILANASA 60mg Puntaje	24	0,35	0,07	19,16

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2228,43	7	318,35	1,26	0,3309
Variedades	2228,43	7	318,35	1,26	0,3309
Error	4054,02	16	253,38		
Total	6282,45	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 253,3763 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
2	92,67	3	9,19	A
8	91,03	3	9,19	A B
1	90,03	3	9,19	A B
7	87,03	3	9,19	A B
6	82,67	3	9,19	A B
3	80,70	3	9,19	A B
5	80,00	3	9,19	A B
4	60,53	3	9,19	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## XILANASA 160mg Puntaje

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
XILANASA 160mg Puntaje	24	0,88	0,83	3,54

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1077,39	7	153,91	17,04	<0,0001
Variedades	1077,39	7	153,91	17,04	<0,0001
Error	144,51	16	9,03		
Total	1221,90	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 9,0317 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
2	94,67	3	1,74	A
1	94,47	3	1,74	A
4	89,13	3	1,74	B
3	83,77	3	1,74	C
8	82,83	3	1,74	C
5	79,10	3	1,74	C D
6	78,67	3	1,74	C D
7	76,17	3	1,74	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

- **Ácido Ascórbico**

**Tabla VII.40.** Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de AA ( $75 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

**TESTIGO Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Volumen Específico..	24	0,96	0,95	3,74

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Variedades	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Error	0,29	16	0,02		
Total	8,30	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0103 gl: 16

Variedades	Medias	n	E.E.
6	4,33	3	0,08 A
8	4,23	3	0,08 A
5	4,20	3	0,08 A B
7	3,97	3	0,08 B
2	3,20	3	0,08 C
1	3,17	3	0,08 C
4	2,97	3	0,08 C D
3	2,90	3	0,08 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**AA 75mg Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
AA 75mg Volumen Específico..	24	0,97	0,96	3,28

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,98	7	1,14	80,50	<0,0001
Variedades	7,98	7	1,14	80,50	<0,0001
Error	0,23	16	0,01		
Total	8,21	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0142 gl: 16

Variedades	Medias	n	E.E.
6	4,60	3	0,07 A
8	4,17	3	0,07 B
5	4,10	3	0,07 B
7	3,73	3	0,07 C
2	3,37	3	0,07 D
1	3,10	3	0,07 E
4	3,07	3	0,07 E
3	2,90	3	0,07 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**AA 150mg Volumen Específico [cm<sup>3</sup>/g]**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
AA 150mg Volumen Específico..	24	0,97	0,95	2,97

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,53	7	0,79	70,26	<0,0001
Variedades	5,53	7	0,79	70,26	<0,0001
Error	0,18	16	0,01		
Total	5,71	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0113 gl: 16

Variedades	Medias	n	E.E.
6	4,23	3	0,06 A
8	4,10	3	0,06 A B
5	3,97	3	0,06 B
7	3,60	3	0,06 C
2	3,60	3	0,06 C
1	3,13	3	0,06 D
4	3,00	3	0,06 D E
3	2,90	3	0,06 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



**Tabla VII.41.** Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de AA ( $75 \text{ mg.kg}^{-1}$  y  $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

**TESTIGO Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Puntaje	24	0,99	0,99	0,51

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Variedades	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Error	2,40	16	0,15		
Total	418,54	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,1500 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
2	80,13	3	0,22	A
7	79,90	3	0,22	A B
8	79,37	3	0,22	B
5	77,83	3	0,22	C
1	75,67	3	0,22	D
4	74,87	3	0,22	E
6	74,03	3	0,22	F
3	66,70	3	0,22	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**AA 75mg Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
AA 75mg Puntaje	24	0,98	0,98	1,36

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	999,15	7	142,74	145,09	<0,0001
Variedades	999,15	7	142,74	145,09	<0,0001
Error	15,74	16	0,98		
Total	1014,89	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,9838 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
6	81,57	3	0,57	A
4	77,33	3	0,57	B
2	77,03	3	0,57	B C
1	76,00	3	0,57	B C
8	75,23	3	0,57	C
3	66,47	3	0,57	D
7	66,27	3	0,57	D
5	61,90	3	0,57	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**AA 150mg Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
AA 150mg Puntaje	24	0,99	0,98	1,38

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1299,92	7	185,70	177,35	<0,0001
Variedades	1299,92	7	185,70	177,35	<0,0001
Error	16,75	16	1,05		
Total	1316,67	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1,0471 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedad	Medias	n	E.E.	Letras
6	83,91	3	0,59	A
2	82,62	3	0,59	A
4	77,53	3	0,59	B
1	77,17	3	0,59	B C
8	75,63	3	0,59	C
3	66,67	3	0,59	D
7	64,70	3	0,59	E
5	64,23	3	0,59	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



- Azodicarbonamida

**Tabla VII.42.** Volumen Específico del pan Francés testigo y de los elaborados con dos dosis de ADA (40 mg.kg<sup>-1</sup> y 80 mg.kg<sup>-1</sup>).

## TESTIGO Volumen Especifico [cm3/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Volumen Especifico..	24	0,96	0,95	3,74

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Variedades	8,01	7	1,14	62,39	<0,0001
Error	0,29	16	0,02		
Total	8,30	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0183 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedades	Medias	n	E.E.
6	4,33	3	0,08 A
8	4,23	3	0,08 A
5	4,20	3	0,08 A B
7	3,97	3	0,08 B
2	3,20	3	0,08 C
1	3,17	3	0,08 C
4	2,97	3	0,08 C D
3	2,90	3	0,08 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

## ADA40mg Volumen Especifico [cm3/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ADA40mg Volumen Especifico..	24	0,95	0,93	3,90

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,95	7	0,85	42,46	<0,0001
Variedades	5,95	7	0,85	42,46	<0,0001
Error	0,32	16	0,02		
Total	6,27	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0200 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedades	Medias	n	E.E.
5	4,27	3	0,08 A
6	4,20	3	0,08 A
8	4,13	3	0,08 A
7	3,83	3	0,08 B
3	3,17	3	0,08 C
2	3,17	3	0,08 C
4	3,13	3	0,08 C
1	3,10	3	0,08 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

## ADA80mg Volumen Especifico [cm3/g]

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ADA80mg Volumen Especifico..	24	0,98	0,96	2,85

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,57	7	0,94	90,14	<0,0001
Variedades	6,57	7	0,94	90,14	<0,0001
Error	0,17	16	0,01		
Total	6,74	23			

## Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0104 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

Variedades	Medias	n	E.E.
5	4,33	3	0,06 A
6	4,27	3	0,06 A
8	4,07	3	0,06 B
7	3,53	3	0,06 C
3	3,20	3	0,06 D
4	3,17	3	0,06 D
1	3,03	3	0,06 D
2	3,03	3	0,06 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

**Tabla VII.43.** Puntaje Total asignado al pan Francés testigo y a los elaborados con dos dosis de ADA (40 mg.kg<sup>-1</sup> y 80 mg.kg<sup>-1</sup>).

**TESTIGO Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TESTIGO Puntaje	24	0,99	0,99	0,51

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Variedades	416,14	7	59,45	396,32	<0,0001
Error	2,40	16	0,15		
Total	418,54	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,1500 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

	Medias	n	E.E.	
2	80,13	3	0,22	A
7	79,90	3	0,22	A B
8	79,37	3	0,22	B
5	77,83	3	0,22	C
1	75,67	3	0,22	D
4	74,87	3	0,22	E
6	74,03	3	0,22	F
3	66,70	3	0,22	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**ADA40mg Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ADA40mg Puntaje	24	0,96	0,95	1,12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	310,44	7	44,35	61,35	<0,0001
Variedades	310,44	7	44,35	61,35	<0,0001
Error	11,57	16	0,72		
Total	322,01	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,7229 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

	Medias	n	E.E.	
7	79,87	3	0,49	A
6	79,37	3	0,49	A B
8	78,00	3	0,49	B C
5	76,70	3	0,49	C D
2	76,00	3	0,49	D
1	74,13	3	0,49	E
4	73,57	3	0,49	E
3	68,00	3	0,49	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**ADA80mg Puntaje**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ADA80mg Puntaje	24	0,93	0,91	1,66

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	367,39	7	52,48	32,78	<0,0001
Variedades	367,39	7	52,48	32,78	<0,0001
Error	25,62	16	1,60		
Total	393,01	23			

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 1,6012 gl: 16

Variedades Medias n E.E.

	Medias	n	E.E.	
6	82,60	3	0,73	A
7	78,13	3	0,73	B
8	77,73	3	0,73	B
2	76,83	3	0,73	B C
5	76,63	3	0,73	B C
4	74,80	3	0,73	C D
1	73,37	3	0,73	D
3	68,13	3	0,73	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)