

**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A. C.**

**EFFECTO DEL CICLO DE CULTIVO, FECHA DE SIEMBRA Y  
ESQUEMA DE RIEGO EN LA COMPOSICIÓN PROTEICA,  
PROPIEDADES REOLÓGICAS Y CALIDAD PANADERA DE  
TRIGOS EXPERIMENTALES**

**POR**

---

**TERESA LUCIA MALDONADO PARRA**

TESIS APROBADA POR LA

**COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE  
ORIGEN VEGETAL**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRIA EN CIENCIAS**

HERMOSILLO, SONORA

AGOSTO DEL 2007

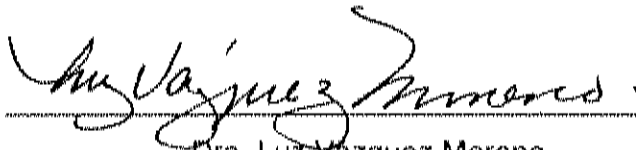
## APROBACIÓN

Los miembros del comité designados para revisar la tesis de Teresa Lucia Maldonado Parra, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



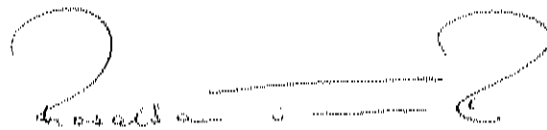
---

Dra. Alma Rosa Islas Rubio  
Directora de Tesis



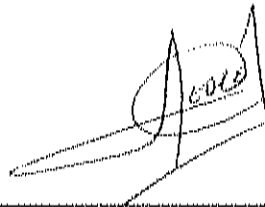
---

Dra. Luz Vazquez Moreno



---

Dra. Rosalba Troncoso Rojas



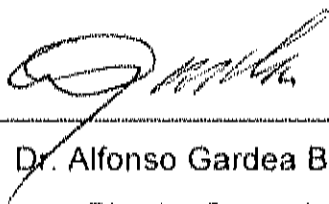
---

Dr. Alberto González León

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Para la producción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión, del director o directora de tesis.



---

Dr. Alfonso Gardea Béjar  
Director General

## *DEDICATORIA*

A Dios por la vida maravillosa y el amor que me regaló, por poner en mi vida tantos ángeles maravillosos que me cuidan y guían siempre (familia, amigos(as) y más) y por todas las oportunidades que me ha dado para aprender y avanzar siempre.

A mi papi Chuy por todos los consejos, el apoyo y los valores que me enseñó, por ser un ejemplo de honestidad, solidaridad y trabajo para mí, por su andar a mi lado siempre silencioso, por permitirme aprender a mi paso y ayudarme a levantar cuando he caído y por enseñarme a trabajar con empeño. Te quiero mucho papi.....

A mis padres los que me ofrecieron la grandiosa oportunidad de vivir y a los que continuaron la responsabilidad de criarme, por sus consejos, amor y confianza, no estaría en el lugar que estoy sin su ayuda e impulso, los amo y les agradezco todo lo que me han dado, por todas las experiencias que me han permitido vivir.

A mis hermanas Diana (mi confidente y cómplice), Angelica (mi luz y dinamismo), Belinda (mi comadre), Iris (mi amiga) y hermano Alfonso (mi esperanza), por ser parte esencial de mi vida, estimularme a ser mejor, por hacer más fácil mi existencia, ya que sin su apoyo esto fuera más difícil, por ser mis cómplices y amigas.

A mi sobrino Edgar por darle un sentido diferente a mi vida, por llenar mi vida de amor y felicidad. Y a mis sobrinas(os) Denise, Karen, Alondra,

Marian, Natalia, Isaac, Edgar (ahijadito), Eric, Rodrigo, Omarcito, y Joaquín por darle una nueva chispa a mi vida y recordarme que la niñez y el sorprendente de los detalles maravillosos de la vida nunca deben dejar de sentirse.

A mi Tío Agustín, que siempre está en mi corazón y cada día en mi vida, por darme uno de los más grandes consejos en mi vida "todo lo que hagas realízalo más que excelente" él decía: si vas a ser albañil se el mejor de todos, e intento seguir su ejemplo. Te quiero mucho tío.

A mis tías María e Isabel por todo el amor, apoyo y fe que han tenido en mí, las quiero con todo mi Corazón. A mi tía Conchita y a mis tios Oscar, Guadalupe, Manuel, José y a toda mi familia paterna por estar a mi lado siempre y acompañarme en todo momento. Este logro es gracias a todos ustedes, mil gracias mi amada familia.

A mi familia materna, por que aún a la distancia tienen fe en mí, por el amor que me han dado y por darle a mi vida una perspectiva diferente a la que he vivido, a ellos que son tan alegres y diversos, por las enseñanzas que me dan siempre que pueden. Los adoro y admiro muchísimo....

A mis adorados y maravillosos primos(as) Maritte, Aurora, Jose, Antonio, Jesús, Hugo, Cintia, Oscar, Iliana, Tonatiuh y Cauhtli por estar siempre conmigo, por ayudarme a seguir de pie cuando pensé que no podía más, por ser mi más grande estímulo para ponerte el 100% y más a todo lo que hago, por su fe depositada en mí, los quiero muchísimo mis muchachos consentidos. Gracias por estar siempre conmigo.

A la familia Meza Cueto por ser mi segunda y muy querida familia, por todo su apoyo, cariño y confianza. Por estar a mi lado en las buenas y en las malas y por quererme. Son parte muy importante de mi vida y de mis triunfos. Que Dios me los bendiga siempre. Gracias.

A Cipactli, por ser un pilar en mi vida, por el apoyo que siempre me ha dado, por tener siempre la palabra perfecta tanto para alentarme a seguir como para decirme cuando no estaba haciendo las cosas bien, por cuidar de mí siempre. Gracias por aceptarme como soy y aún así seguir siendo mi amiga. Te quiero muchísimo.

A mis amigos Levit Linares y Jazmín Cenado por su gran y maravillosa amistad, por quererme tanto y porque siempre han estado a mi lado en las buenas y en las malas. Su apoyo ha sido muy valioso. Gracias por todo.

A mis amigas(os) Carito, Jessy, Oscarito, José Luis, Miguel Ángel, Toño, Xóchitl, Soquito, Erikita García, Lorena, Mónica Azucena, Sarita, Angélica Jiménez, Vanesa, Karlita, Nohemi, Maritza, Claudita, Esperanza, Oralia, Nubia, Ceci, Isabel, Denise, Aurora, Carmen, Erikita, Erika, García Cordova, Palomita, Carol, Priscila, Sarahi, Manolo, Javier, Jorge, Tony, Olmo, Juan José, José Guadalupe, Alexis, *Chapo*, Margarito, Ivan, Kike, Luis Enrique, Daniel, Alfonso, Fernandito, Carlos (*Cualé*), Leonel, Julio Cabrera, Carlitos, Robertito, Sergio, *Miky*, *Flippy*, *Pepe* y a mis amigos de la maestría por su amistad incondicional, por impulsarme y por estar a mi lado siempre que los necesité. Los quiero mucho y siempre los llevo en mi corazón y en mis mejores deseos.

A Shiraj Shawan por darle un giro increíble a mi vida y recordarme que lo espiritual y el regresar a la naturaleza es la forma más fácil de llegar a tener la felicidad más sana y plena. Siempre te recordaré y querré. Gracias por existir.

A la familia Perez Silva (Brenda, Manuel, Nayelli y Yatziri) por su amistad, por darme una familia con la cual compartir maravillosos momentos, gracias por apoyarme y alentarme siempre, por ser tan buenos conmigo y Cipactli, por su generosidad y gran corazón. Los quiero y admiro mucho.

A la familia Soto Denis, jeje (Denis Soto) por ser un gran apoyo, por su amistad incondicional y todo el cariño que me han dado desde que nos conocimos, por permitirme compartir el mejor regalo que es la creación de una nueva vida (mi sobrinita) y de la solidaridad. Siempre los llevaré en mi corazón y mejores deseos.

A Luis Enrique (Kike), Nubia y Maritza por ser mis amigos y hermanos, por estar conmigo en las buenas y las mejores durante todo nuestro periodo en el CIAD, y por tan maravilloso regalo su *Amistad* la cual valoro demasiado y deseo continué toda nuestra vida, los quiero muchísimo.

A Pame y Francisco por recordarme que la vida es divertida y relajada, por que son buenos amigos, por hacerme sentir en casa y hacer amena la vida en el laboratorio.

A mis queridos amigos de Kansas State University Manhattan, el Dr. Finaly MacRitchie y su linda esposa Sylvia, Sibel Irmak, Shuping Yan, Hyma

Gajula, Ramakanth Jonnala y Shiraj Shawan por todo el cariño, apoyo, solidaridad y paciencia que me brindaron, por darme la mano en esa etapa tan importante en mi vida por enriquecer mis conocimientos tanto en la parte científica como en la personal y por hacerme sentir en familia verdaderamente, los quiero muchísimo.

A todos mis amigos y amigas por que son mi familia, por estar a mi lado en todo momento y darme el apoyo, amor y solidaridad siempre, ustedes son una parte esencial de mi vida y siempre los querré, cuentan conmigo.

A esa persona que hizo la diferencia en mi vida, por ser un parte aguas en mi historia, porque me permitió conocer lo maravilloso de la felicidad y lo tormentoso de la soledad. Con todo mi amor y respeto. Gracias por impulsarme siempre a ser mejor y nunca dejarme sucumbir.



## *AGRADECIMIENTOS*

A Dios por darme amor, fuerza y fe para continuar día a día aún cuando pensé que no podía más, por darme la oportunidad de disfrutar y sentir lo que es el realizar una meta más en mi vida.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., por darme la oportunidad de realizar la Maestría en el campo de los alimentos que tanto me apasiona y por todo el apoyo académico y personal que me dieron.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO), en especial al Dr. Miguel Alfonso Camacho Casas por su valiosa asesoría y apoyo para lograr realizar con éxito mi tesis.

A la Dra. Ana María Calderón de la Barca, por todo el empuje y exigencia que me dio para que diera más de lo que creí poder, gracias por ayudarme a dar lo mejor de mí y por dejarme conocer lo interesante que es la ciencia cuando se realiza con paciencia y compromiso. Siempre la recordaré con mucho cariño.

Al departamento de docencia por facilitarme apoyo técnico, por la paciencia y gula que me dieron en todo lo que necesité durante el periodo

que realice mis estudios aún desde antes de entrar al programa de Maestría y por su linda y valiosa amistad, gracias a Ana Isabel Escobedo Figueroa, Verónica Araiza, Laura García Cruz y Héctor Galindo.

Al señor Héctor Cota su solidaridad y apoyo cuando necesité copias y engargolados para que mi trabajo se entregara a tiempo y con calidad.

Al personal del Departamento de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, en especial a la Dra. Herlinda Soto Valdez, M.C. Elizabeth Peralta, Dra. Armida Rodríguez Félix, Dra. María Auxiliadora Islas Osuna, Dr. Miguel Ángel Martínez Tellez, Q.B. Mónica Alejandra Villegas Ochoa, M.C. Luis Enrique Robles Ozuna, M.C. Jorge Nemesio Mercado, Norma Ferrer, M.C. Fernando Ayala y Francisco Soto, por su asesoría y ayuda en las cuestiones de laboratorio y académico, así como por el apoyo moral que me dieron en todo momento. Fue un honor y un placer trabajar y conocer a tan maravillosas personas. Gracias por su amistad.

A la Dra. Alma Rosa Islas Rubio por su valiosa guía, por compartir conmigo sus conocimientos y sabiduría, porque siempre me impulsó a ser mejor, por mostrarme que la investigación es tan maravillosa y no deja de sorprenderme. Gracias por permitirme conocer no sólo a la investigadora sino al excelente ser humano que es, por su gran ética, valores y por su corazón tan generoso.

A mi comité de tesis el cual está integrado por la Dra. Luz Vázquez Moreno, Dra. Rosalba Troncoso Rojas y al Dr. Alberto González León por su asesoría, paciencia y amistad brindada para realizar mi Tesis de Maestría con éxito. Los admiro y respeto mucho. Su guía fue muy valiosa para mí. Mil gracias.

Con mucho cariño y respeto a la M.C. Brenda Silva Espinoza y M.C. Karla Dinhora Chávez Quiroz por enseñarme gran parte de las técnicas que necesité para el análisis de mis muestras y para comprender mejor los nuevos conocimientos adquiridos, con el mismo sentir a la Q.B. María del Carmen Granados Nevárez y M.C. Francisco Vásquez Lara, quienes son los encargados del Laboratorio de Cereales, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia en el laboratorio, por el apoyo brindado durante la realización de mi trabajo de postgrado. Gracias a los cuatro por su grandiosa amistad y solidaridad.

A la M.C. Cipactli Yuridia Meza Cueto con admiración y cariño por toda la ayuda, asesoría en las cuestiones académicas y de laboratorio que me brindó durante el tiempo que realice mis estudios de postgrado y por la amistad que siempre me ha dado.

Al Dr. Finaly MacRitchie del "Grain Science & Industry Dept., Kansas State University Manhattan, KS" por darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio y por ser tan generoso al compartir conmigo sus bastos conocimientos, con lo cual me apoyé para avanzar en mis estudios de postgrado. Es realmente un honor haber podido estudiar con tan fina persona. Muchas gracias.

Especial agradecimiento, al Dr. Ramón Pacheco Aguilar y el M.C. Humberto González Ríos, por el gran apoyo y asesoría en lo académico, por enseñarme a comprender la ciencia desde otro punto de vista. Es muy fácil estudiar y aprender con personas tan sencillas y generosas con su conocimiento, gracias por el aprecio que me dieron.

A la M.C. María del Carmen Estrada Montoya, a la Q.B. Erika Javier Saiz, M.C. Luis Enrique Molina Jacott y a el Q.B. Francisco Antonio Vázquez Ortiz por la ayuda proporcionada para realizar sin contratiempos mi trabajo en el laboratorio y por compartir conmigo su experiencia y tiempo.

Al personal de biblioteca, L.B. María Magdalena Vallejos, Gerardo Reyna Cañez, Luis Francisco Conde Ortiz y Fernando Leyva Livshin, por que gracias a la eficacia con que desempeñan su trabajo pude obtener la información que necesité para documentarme durante el periodo que realice mis estudios de postgrado y por la amistad que me dieron. Muchas Gracias.

A todas las personas que directa e indirectamente colaboraron conmigo para que no cayera cuando ya no tenía fuerzas, que me impulsaron a ser mejor y facilitaron todo lo que necesité para lograr finalizar mis estudios de postgrado con éxito y felicidad. Los quiero a todos. Un millón de gracias.

Nada se interpone entre el hombre y sus más altos ideales y todos los deseos de su Corazón, más que la duda y el miedo. Cuando un hombre puede "desear sin preocuparse", todos sus deseos se cumplen instantáneamente.

Un hombre va al saber como a la Guerra. Con miedo, con respeto, bien despierto y con absoluta confianza. Por eso, el hombre que va al conocimiento puede muy bien ser llamado un guerrero.

Carlos Castaneda

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	xiv
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	xv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xvii
<b>RESUMEN</b> .....	xix
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	3
<u>Clasificación de los Trigos Mexicanos</u> .....	3
<u>Tipos de Trigos</u> .....	3
<b>Trigos de Invierno y Trigos de Primavera</b> .....	5
<b>Trigos Precoces y Trigos Tardíos</b> .....	6
<b>Desarrollo de Nuevas Variedades</b> .....	6
<u>Fisiología de la Planta de Trigo</u> .....	7
<b>Condiciones Ambientales Óptimas para el Desarrollo de la Planta</b> .....	7
<b>Ciclo de Desarrollo de la Planta de Trigo</b> .....	8
<b>Síntesis de las Proteínas Durante el Desarrollo del Grano</b> .....	9
<u>Proteínas de Trigo</u> .....	11
<b>Importancia de la Composición Proteica del Trigo</b> .....	11
<b>Constitución Genética de los Trigos Panaderos</b> .....	12
<b>Proteínas de Almacenamiento del Trigo</b> .....	13
<b>Localización Cromosómica de los Genes de las Proteínas de Almacenamiento</b> .....	18
<b>Variación Alélica en las HMW-GS</b> .....	20
<u>Métodos para Determinar la Composición de las Proteínas de Trigo</u> .....	23
<u>Efecto de las Condiciones Ambientales en la Calidad del Trigo</u> .....	25
<u>Calidad Panadera del Trigo</u> .....	27
<u>Justificación</u> .....	29
<u>Hipótesis</u> .....	29

Objetivos.....	30
<b>Objetivo General</b> .....	30
<b>Objetivos Específicos</b> .....	30
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	31
Materiales.....	31
Métodos.....	31
<b>Composición Química de las Harinas</b> .....	31
<b>Propiedades Reológicas de las Harinas de Trigo</b> .....	35
Diseño Estadístico.....	40
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	41
Composición Química de las Harinas.....	41
<b>Contenido de Humedad</b> .....	41
<b>Contenido de Proteína</b> .....	42
<b>Contenido de Cenizas</b> .....	43
Propiedades Reológicas de las Harinas de Trigo.....	44
<b>Tiempo Óptimo de Amasado (TOA)</b> .....	44
<b>Fuerza y Extensibilidad de la Masa</b> .....	49
Composición Proteica de las Harinas.....	55
Volumen de Pan.....	69
Correlaciones entre Parámetros de Calidad y las Fracciones Proteicas.....	73
<b>CONCLUSIONES</b> .....	82
<b>REFERENCIAS</b> .....	83
<b>ANEXOS</b> .....	94

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten. ....	4
<b>Cuadro 2.</b>	Origen de las líneas experimentales de trigo. ....	32
<b>Cuadro 3.</b>	Ciclo de cultivo, fechas de siembra y esquema de riego de las líneas experimentales (LE). ....	33
<b>Cuadro 4.</b>	Esquema de riego y fertilización aplicado a las líneas experimentales de trigo en ambos ciclos de cultivo. ....	34
<b>Cuadro 5.</b>	Efecto del ciclo de cultivo, línea experimental, fecha de siembra, esquema de riego y su interacción doble sobre el contenido proteico y las mediciones reológicas de la masa. ....	51
<b>Cuadro 6.</b>	Efecto del ciclo de cultivo, línea experimental, fecha de siembra, esquema de riego y su interacción doble sobre las fracciones proteicas y el volumen de pan. ....	74
<b>Cuadro 7.</b>	Efecto de la interacción LExFS sobre el rendimiento y peso hectolítrico del grano, propiedades reológicas, composición proteica y el volumen de pan. ....	78
<b>Cuadro 8.</b>	Efecto de la interacción LExER sobre el rendimiento y peso hectolítrico del grano, propiedades reológicas, composición proteica y el volumen de pan. ....	79
<b>Cuadro 9.</b>	Efecto de la interacción FSxER sobre el rendimiento y peso hectolítrico del grano, propiedades reológicas, composición proteica y el volumen de pan. ....	80
<b>Cuadro 10.</b>	Coefficientes de correlación ( $r$ ) de los parámetros reológicos, composición proteica y calidad panadera de las harinas de las líneas experimentales de trigo. ....	81
<b>Cuadro 11.</b>	Condiciones climatológicas de los ciclos de cultivo 2002-	



	2003 y 2003-2004 en el campo experimental del INIFAP-CIRNO. ....	95
<b>Cuadro.12.</b>	Contenido de humedad, proteína y cenizas de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003.....	96
<b>Cuadro 13.</b>	Contenido de humedad, proteína y cenizas de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.....	97
<b>Cuadro 14.</b>	Mediciones reológicas de la masa de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003.....	98
<b>Cuadro 15.</b>	Mediciones reológicas de la masa de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.....	99
<b>Cuadro16.</b>	Composición proteica de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003.....	100
<b>Cuadro17.</b>	Composición proteica de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.....	101
<b>Cuadro 18.</b>	Análisis general de las líneas experimentales, fechas de siembra y esquema de riego.....	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ciclo de desarrollo de la planta del trigo.....	10
<b>Figura 2.</b>	Nomenclatura tradicional de las proteínas del gluten. ....	17
<b>Figura 3.</b>	Localización de los genes que codifican a las proteínas que determinan la funcionalidad de la masa.....	20
<b>Figura 4.</b>	Diagrama del proceso para la extracción de las fracciones proteicas. ....	37
<b>Figura 5.</b>	Separación de los extractos de la proteína total, proteína extraíble y proteína no extraíble de una de las harinas .....	39
<b>Figura 6.</b>	Tiempo óptimo de amasado de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003 en cuatro fechas de siembra. ....	47
<b>Figura 7.</b>	Tiempo óptimo de amasado de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004 en cuatro fechas de siembra .....	48
<b>Figura 8.</b>	Porcentaje de proteína polimérica en la harina de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra.....	57
<b>Figura 9.</b>	Porcentaje de proteína polimérica en la harina de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra.....	58
<b>Figura 10.</b>	Proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra.....	59

<b>Figura 11.</b> Proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra .....	60
<b>Figura 12.</b> Proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra.....	62
<b>Figura 13.</b> Proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra.....	63
<b>Figura. 14.</b> Volumen de pan de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003, cultivadas en cuatro fechas de siembra .....	71
<b>Figura 15.</b> Volumen de pan de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004, cultivadas en cuatro fechas de siembra .....	72

## RESUMEN

La calidad del trigo es influenciada por su genotipo, factores ambientales y por la interacción de ambos. Estos factores afectan el contenido y composición de su proteína, y por tanto la funcionalidad del gluten. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto del año de cultivo (CC), fecha de siembra (FS) y esquema de riego (ER) en las propiedades reológicas de la harina, composición proteica, y calidad panadera de líneas experimentales de trigo (LE). Se analizaron cinco LE, cultivadas en los CC 2002-2003 y 2003-2004 en el Campo Experimental Valle del Yaqui en Cd. Obregón, Sonora, en cuatro FS, con dos ER. Las propiedades reológicas de la masa fueron evaluadas con el mixógrafo National y el analizador de textura TA-TX2. Las cantidades relativas de proteínas poliméricas (PPT) y monoméricas se determinaron con los extractos de buffer-codo de sulfato de sodio (SDS) separados por el sistema de cromatografía líquida de alta resolución por exclusión de tamaño (SE-HPLC). La calidad panadera (volumen de pan, VP) fue evaluada mediante la prueba de panificación de masa directa. Se establecieron las relaciones entre los parámetros reológicos, composición proteica y VP. Los factores principales CC, LE y FS tuvieron efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ) sobre el contenido de proteína (CP), el tiempo óptimo de amasado (TOA), la resistencia máxima ( $F_{max-45}$ ), la composición proteica y el VP. El ER no fue significativo para la extensibilidad ( $Ext-45$ ), el trabajo de deformación de la masa ( $\text{Área-45}$ ), proteína polimérica total (PPT), la proporción de proteína polimérica no extractable en la harina (PPNEH) y el VP. El grado de afectación dependió de la LE, la FS, el ER y sus interacciones dobles. Al sembrar en fechas tardías incrementó el CP y modificó la distribución de tamaño de los polímeros.

TOA se asoció positivamente con la Fmax-45, las gliadinas, el porcentaje de proteína polimérica en la harina (PPH), las proporciones de proteína polimérica no extraíble tanto en la harina como en la proteína total (PPNEH, PPNET) y el VP y negativamente con la Ext-45 y la PPT. La Fmax-45 presentó correlación negativa con la Ext-45 y positiva con la PPNET, el Area-45. La Ext-45 presentó asociación positiva con la PPT y Area-45 y negativamente con la PPNET y la PPNEH. El VP se correlacionó positiva y significativamente con el TOA y con las fracciones proteicas PPH, PPNEH y PPNET. El VP de las distintas LE fue afectado en diferentes grados por la fecha de siembra, siendo las fechas 3 y 4 las que más favorecieron a este parámetro de calidad. En general, la LE 4 fue la de mejor cillidad panadera y aderns fue menos influenciada por las condiciones ambientales prevaecientes en ambos ciclos de cultivo.

## INTRODUCCIÓN

El grupo de especies alimenticias más importante del mundo corresponde al de los cereales. De éstos el trigo es el más ampliamente cultivado en el mundo, supera en cantidad a todas las demás especies productoras de semillas, silvestres o domésticas (FAO, 2007). La producción mundial de trigo en el año agrícola 2005 fue de 642 millones de toneladas. Los principales productores fueron China, Estados Unidos, India, Europa Oriental, Canadá, Turquía y Paquistán. En nuestro país, la producción de trigo fue de 2.94 millones de toneladas, concentrándose el 64% de la producción nacional en la Región Noroeste y el 28% en el Bajío (FAO, 2007).

Las proteínas del trigo son de gran importancia en la industria alimentaria por sus propiedades viscoelásticas. Estas determinan el tipo de procesamiento o uso de la harina, para la elaboración de pan, pastas, fideos y otros alimentos (Shewry y Lookhart, 2003). En el caso del pan, la característica principal que se busca en la harina es que produzca un esponjamiento adecuado en la masa durante la fermentación. Esta característica es parcialmente compartida con el centeno, mientras que el resto de los cereales (avena, sorgo, cebada, maíz, arroz y mijo) carecen de ella (Badui, 1999).

La harina de trigo contiene entre 8 y 15% de proteínas, donde las albúminas y globulinas, representan aproximadamente el 15% del total. El resto son básicamente gliadinas y gluteninas del citoplasma de las células del endospermo, que actúan como componentes estructurales y de reserva de nitrógeno para el crecimiento de la planta (Badui, 1999). Las gliadinas y

gluteninas son las proteínas más importantes en la industria panadera. Estas proteínas conforman el gluten, el cual determina las características viscoelásticas de una harina. La determinación de su cantidad y calidad es una forma de valorar la calidad panadera de una harina (MacRitchie, 2003).

Hay una serie de factores que influyen en la cantidad y composición de las proteínas de reserva en una variedad de trigo determinada. Estos son: el aspecto genético, la fertilidad del suelo, disponibilidad de agua y la temperatura durante la formación y llenado del grano (Johansson et al., 2003; Gianibelli et al., 2001; Zhu y Khan, 2001). Sin embargo, el estudio de los efectos del ambiente sobre la calidad del grano no ha avanzado tan rápidamente como el estudio de los aspectos genéticos del trigo.

## **ANTECEDENTES**

### Clasificación de los Trigos Mexicanos

En México, los trigos se clasifican de acuerdo con la funcionalidad de su gluten en cinco grupos (Cuadro 1). En la región noroeste del país, principalmente en Sonora y norte de Sinaloa, se siembran preferentemente los trigos panaderos y cristalinos (grupos I, II, IV y V), mientras que los trigos suaves (Grupo III) se cultivan más en la región del Bajío (Guanajuato) y en el estado de Chihuahua (Serna-Saldívar, 1996).

### Tipos de Trigos

Debido a los múltiples usos del trigo existe una gran diversidad de variedades, actualmente se comercializan variedades de paja corta y de alto rendimiento, así como variedades de verano e invierno, las cuales tienen poca resistencia al frío, lo cual debe mejorarse.

Los trigos de invierno suelen cultivarse en las zonas templadas, y los de verano predominan en zonas con inviernos fríos (altas latitudes) o con inviernos demasiado suaves (bajas latitudes) (López -Bellido, 1990).



**Cuadro 1.** Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.

<b>Grupo</b>	<b>Denominación</b>	<b>Características</b>
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación. Usados para mejorar la calidad de trigos débiles.
II	Medio fuerte	Gluten medio fuerte apto para la industria artesana de panificación.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera. Usado para mejorar las propiedades de los trigos tenaces.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera y galletera.
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas.

Fuente: Serna-Saldívar, 1996.

En general, pueden distinguirse dos tipos de variedades en función de su ciclo: variedades de invierno o de ciclo largo y de primavera o de ciclo corto. La diferencia entre ellas se basa en la duración del periodo vegetativo.

### **Trigos de Invierno y Trigos de Primavera**

El trigo invernal se siembra en otoño y se cosecha en primavera. Se puede sembrar en lugares donde no se congela excesivamente el suelo. El grano germina en otoño y crece lentamente hasta la primavera. Las heladas podrían afectar adversamente a las plantas jóvenes, pero una capa de nieve las protege e induce el aislamiento. En cuanto al trigo primaveral, éste se planta en primavera y se cosecha a principios de otoño en lugares tales como las praderas canadienses o las estepas rusas que padecen inviernos demasiado rigurosos para la sementera invernal. Se siembra el trigo en primavera, lo más pronto posible, de manera que se pueda recoger la cosecha antes de que comiencen los hielos de otoño.

Las localidades donde se cultiva el trigo de primavera presentan máxima pluviosidad en primavera y durante el comienzo de verano así como máxima temperatura en verano favorecen la producción de granos de maduración rápida, con endospermo de textura vítrea y alto contenido proteico adecuado para la panificación (López -Bellido, 1990).

El área de producción de trigos de primavera se va extendiendo progresivamente hacia el norte, en el hemisferio norte, con la introducción de variedades nuevas cultivadas por sus características de maduración rápida. El trigo de invierno, cultivado en un clima de temperatura y pluviosidad más constantes, madura más lentamente produciendo cosechas de mayor rendimiento y menor riqueza proteica, más adecuado para galletas y pastelería que para panificación (López -Bellido, 1990).

## **Trigos Precoces y Trigos Tardíos**

El empleo de trigos de ciclo largo o corto, no es indiferente para el buen éxito de la cosecha. Uno de los mecanismos más potentes de resistencia a la sequía es la precocidad de la variedad, que hace que ésta escape a la misma y a los calores del final del periodo de llenado del grano, aunque las variedades de ciclo más largo tienen un potencial productivo mayor (López -Bellido, 1990).

Un adelanto del periodo de maduración, puede evitar daños de final del invierno, además de permitir una recolección temprana. La condición de precocidad de un trigo no implica el que sea sensible al frío, pues esta cualidad aunque es constante para cada variedad, está influenciada por el fotoperiodo (López -Bellido, 1990).

## **Desarrollo de Nuevas Variedades**

Debido a la importancia económica del trigo hexaploide es necesario el estudio de su mejoramiento genético. Actualmente la selección por mutación es muy importante en las mejoras morfológicas, como altura de la planta y robustez del tallo, así como resistencia a enfermedades, contenido de proteína del grano y poder de cocción en la harina.

En la selección de tipos de plantas de alto rendimiento hay que buscar el mejor equilibrio entre los componentes del mismo: peso del grano, granos por espiga y número de espigas por unidad de área (López -Bellido, 1990).

El mejoramiento genético tiene como objetivo obtener plantas de mayor productividad, lo cual se puede conseguir incrementando el rendimiento o la calidad del grano, o ambos factores simultáneamente. Aunque ambos

caracteres parecen estar correlacionados negativamente, pueden seleccionarse ambas al mismo tiempo. Tanto el rendimiento como la calidad están muy influenciados por el ambiente, al tratarse de caracteres cuantitativos (Guerrero -García, 1999). En especial en las zonas de gran variabilidad ambiental, la obtención de genotipos que tengan buena estabilidad en los distintos medios por lo que otro objetivo importante en la mejora de los trigos es la respuesta positiva del rendimiento a las altas dosis de fertilizantes, que está estrechamente relacionada con los altos rendimientos y el incremento del vigor de los tallos. Así mismo puede mejorarse la eficiencia en la extracción y utilización del nitrógeno (Boehm et al., 2004).

La mejora de la calidad se relaciona con la utilización final de los productos derivados del trigo. Aunque la calidad está muy influenciada por el ambiente, existen genotipos estables que son muy útiles en los programas de mejoramiento genético. La tendencia para mejorar de la calidad harinera y sémola de los trigos, es desarrollar trigos en los que la harina o sémola requieren el mínimo consumo energético durante los procesos de elaboración, así como la calidad del producto final.

### Fisiología de la Planta de Trigo

#### **Condiciones Ambientales Óptimas para el Desarrollo de la Planta**

El trigo crece en ambientes con temperatura mínima de 3 °C y máxima de 30 a 33 °C, siendo una temperatura óptima entre 10 y 25 °C. Requiere una humedad relativa entre 40 y 70 % desde el espigamiento hasta la cosecha. En el periodo de reproducción (Fig. 1) época que tiene mayores requerimientos en

este aspecto ya que exige una humedad relativa entre 50 y 60 % y un clima seco para su maduración. El trigo tiene bajos requerimientos de agua, ya que se puede cultivar en zonas donde hay precipitaciones entre 25 y 2800 mm anuales de agua; aunque un 75 % del trigo cultivado crece entre los 375 y 800 mm anuales. Los mejores suelos para su crecimiento deben ser sueltos, profundos, fértiles y libres de inundaciones, y deben tener un pH entre 6.0 y 7.5; en terrenos muy ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento (Guerrero-García, 1999).

### **Ciclo de Desarrollo de la Planta de Trigo**

En el ciclo de desarrollo de la planta del trigo se distinguen tres periodos: período vegetativo, reproductivo y de maduración (Fig. 1). El *período vegetativo*, inicia desde la siembra hasta el comienzo de encañado. El *período de reproducción* comienza a partir del encañado hasta la terminación del espigado. El *período de maduración* comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección (Guerrero-García, 1999). El ciclo de cultivo de la planta de trigo comprende de una serie de cambios fisiológicos: la germinación, ahijamiento, encañado, floración, antesis y llenado del grano (Fig. 1).

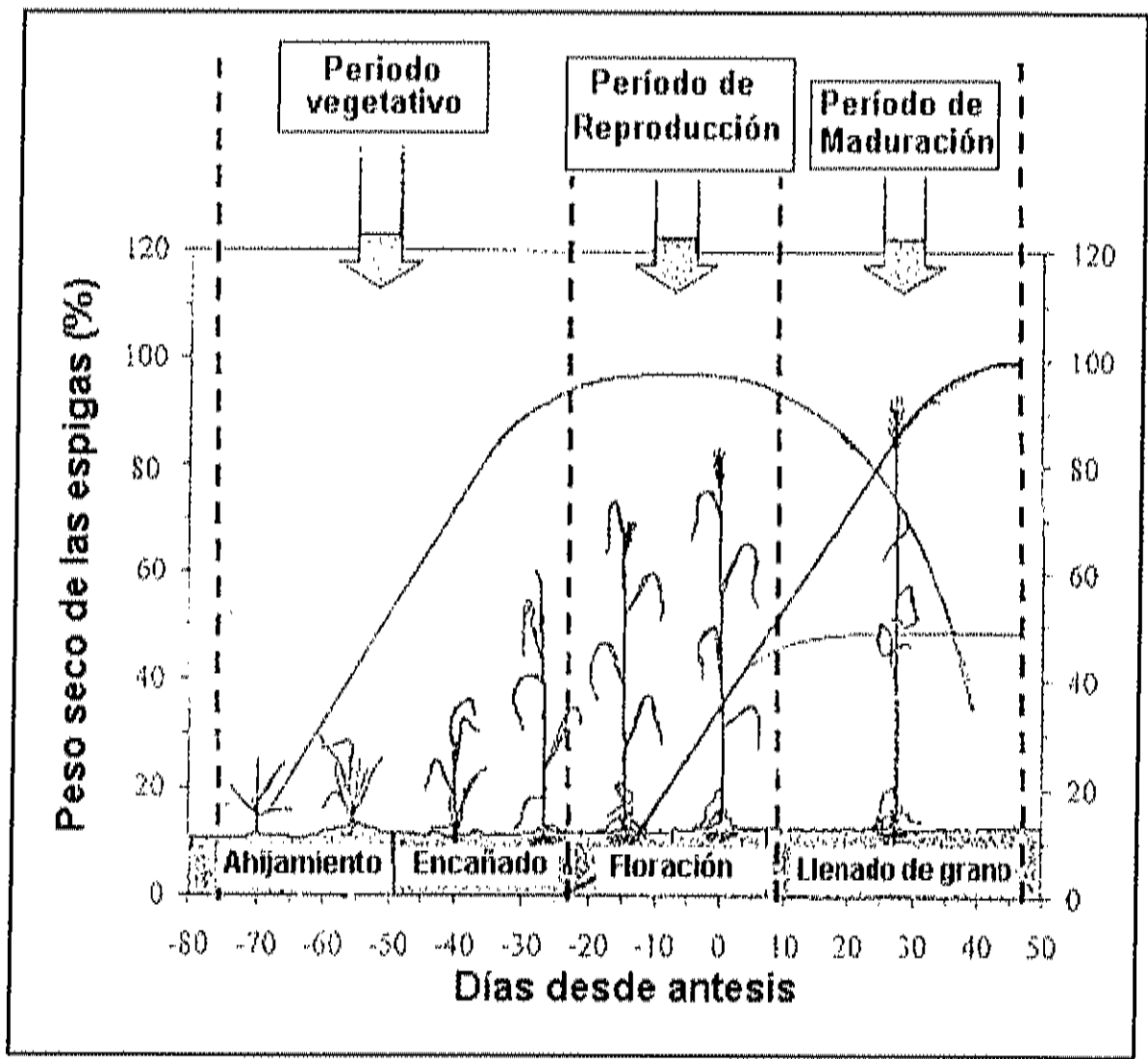
El periodo de germinación y arraigo del grano de trigo es muy importante para su futura cosecha. El grano de trigo necesita para germinar humedad ( $\leq 11\%$ ), temperatura adecuada (20-25 °C, pero puede germinar desde los 3-4 °C hasta 30-32°C) y aire a su alrededor. En el ahijamiento, el tallo es una caña (con nudo y entrenudos), cada nudo tiene una yema que origina una hoja. Cuando los nudos se alargan al crecer (encañado), se observa que cada hoja nace a distinta altura en nudos sucesivos. Esta etapa tiene lugar una vez que comienza a elevarse la temperatura, y posteriormente inicia la floración. A la

mitad del periodo de floración, inicia la antesis de la planta de trigo (momento en que se abre el capullo floral) y unos días después de ésta da comienzo el llenado del grano y por último el ciclo de desarrollo de la planta del trigo termina hasta el final del período de maduración (Guerrero -García, 1999).

El período de llenado del grano es el de máxima actividad fisiológica, con transpiración y extracción de humedad y nutrientes del suelo al máximo. Los azúcares de las hojas inferiores van emigrando a los granos de trigo que se forman mientras las hojas se van secando. La cantidad de agua para transportar las sustancias de reserva a los granos del trigo, hace que las raíces des sequen la tierra con facilidad. Por ello, en esta fase, el riego resulta muy importante (Guerrero-García, 1999).

### **Síntesis de las Proteínas Durante el Desarrollo del Grano**

Las albúminas y globulinas se acumulan desde la antesis hasta aproximadamente 20 días después de la antesis (DDA), permaneciendo en un nivel casi constante. Las proteínas de almacenamiento (prolaminas y glutelinas) se acumulan 6 DDA aproximadamente hasta el final del llenado del grano. Las proteínas de almacenamiento, acumulan nitrógeno durante el periodo de llenado del grano y son utilizadas como fuente del mismo durante la germinación (Johansson et al., 2005; Verbruggen y Delcour, 2003; Wrigley y Békés, 1999). La acumulación de las diversas fracciones de la proteína es asincrónica, deduciendo que la composición de la proteína del grano cambia durante el desarrollo (Triboï et al., 2003; Uhlen et al., 1998).



**Figura 1.** Ciclo de desarrollo de la planta del trigo. Fuente: Infoagro, 2007.

## Proteínas de Trigo

### **Importancia de la Composición Proteica del Trigo**

La composición proteica de los granos de trigo es el factor más importante que determina la calidad de productos horneados de harinas de trigo. Sin embargo, la composición depende principalmente del genotipo, el cual es afectado significativamente por factores ambientales (fertilidad del suelo, disponibilidad de agua, la temperatura durante la formación y llenado del grano, etc.) y las interacciones entre ambos. Lo anterior explica la variación en la calidad del genotipo (Southan y MacRitchie, 1999; Johansson et al., 2005; Kuktaite et al., 2004; Triboï et al., 2003; Uhlen et al., 1998).

Uno de los objetivos en la ciencia de los cereales, es relacionar la composición química de los granos de trigo con sus propiedades funcionales. Por ejemplo, se sabe que la composición proteica del trigo controla la propiedad especial de su masa que la hace adecuada para productos fermentados (MacRitchie, 1999). Este conocimiento puede ser aplicado para resolver problemas en el procesamiento o para mejorar la calidad de las variedades (MacRitchie, 2003).

El papel de las proteínas de trigo es muy importante para la elaboración del pan. El trigo es el único grano que tiene un grupo de proteínas designado colectivamente como gluten, el cual está compuesto por dos fracciones proteicas: gliadinas monoméricas y gluteninas poliméricas. Estas proteínas poseen además la capacidad de formar geles, películas y espumas, propiedades funcionales extremadamente importantes desde el punto de vista tecnológico (Gianibelli et al., 2001; Don et al., 2003).



El gluten posee un contenido relativamente elevado de ácido glutámico y prolina, que representan el 37 y 14% del total de aminoácidos (Fenema, 1982; MacRitchie, 2003). Cuando el gluten se mezcla con agua, forma una masa elástica capaz de ser extendida, característica particular del trigo. Esta característica permite que la harina del trigo se utilice para formar la masa que se hornea para producir pan y diversos alimentos (Don et al., 2005; Xu et al., 2001; Verbruggen y Delcour, 2003).

### **Constitución Genética de los Trigos Panaderos**

La genética del trigo (*Triticum aestivum* L.) es más complicada que la de otras especies de plantas domesticadas. La especie del trigo es un poliploide estable, que tiene más de dos conjuntos de siete cromosomas. Tanto el *Triticum durum* como el *Triticum turgidum* evolucionaron como especies de tetraploides por el cruce natural de dos especies silvestres, *Triticum urartu* y una especie ahora extinta *Silopsis*. El trigo común del pan (*Triticum aestivum*) evolucionó posteriormente (hace aproximadamente 2000 años) como una especie de hexaploide después del cruce natural de *Triticum turgidum* y *Aegilops tauschii* (Holden et al., 1993).

El trigo escaña cultivada (*Triticum monococcum*) es Diploide ( $2n=2x=14$  cromosomas). Los trigos tetraploides (por ejemplo trigo *durum*) son derivados del almidonero silvestre (*Triticum dicoccoides*). El almidonero silvestre es el resultado de una hibridación entre dos hierbas silvestres diploides: *Triticum urartu* y una especie de hierba silvestre, *Aegilops searsii* o *Aegilops speltoides*. La hibridación que generó el almidonero silvestre ocurrió en tierra virgen, mucho antes de su domesticación. Los trigos hexaploides evolucionaron en campos cultivados. Tanto el trigo *dicoccoides* como el *durum* hibridaron con

otra hierba diploide silvestre (*Aegilops tauschii*) para crear los trigos hexaploides (cromosomas 6x), *Triticum spelta* y *Triticum aestivum* (Holden et al., 1993).

Los trigos panaderos (*Triticum aestivum* L.) son hexaploides, contienen tres genomas diploides diferentes llamados AA, BB y DD. Cada genoma consiste de siete pares de cromosomas, dando un total de 21 pares en el núcleo. A cada par de cromosomas se le da un número seguido de una letra, la letra se refiere al genoma del cual el par es heredado.

A los cromosomas de los diferente genomas que son genéticamente similares u homólogos entre ellos se les da el mismo número; por ejemplo, cromosoma 1A, 1B y 1D. Los genomas A, B y D codifican juegos de proteínas de almacenamiento que son distinguibles entre ellos por electroforesis, debido a las mutaciones que han sufrido sus genes estructurales y a la divergencia resultante de los ancestros (Payne et al., 1984).

### **Proteínas de Almacenamiento del Trigo**

Las proteínas de reserva del trigo son únicas en muchos aspectos, y para su estudio, en sus comienzos fueron clasificadas mediante el clásico proceso de fraccionamiento secuencial de Osborne en 1907. Este proceso está basado en la solubilidad diferencial de las proteínas de cereales y fue utilizado para separarlas en cuatro grupos principales: albúminas, globulinas, prolaminas (gliadinas) y glutelinas (gluteninas). De éstas, las albúminas son solubles en agua; las globulinas solubles en soluciones salinas diluidas; las gliadinas son solubles en soluciones acuosas alcohólicas y las gluteninas en ácidos o álcalis. Se prefiere, sin embargo, clasificar estos grupos de proteínas de acuerdo a su estado de agregación y no a su solubilidad. Las gliadinas son un grupo de

polipéptidos monoméricos, mientras que las gluteninas son polímeros de subunidades que están unidas principalmente por medio de enlaces disulfuro (Wrigley y Békés, 1999; Verbruggen y Delcour, 2003).

La distribución del peso molecular (MWD) de las proteínas de trigo varía. Esto ocurre debido a los cambios en las proporciones relativas de proteínas monoméricas y poliméricas. La variación de la MWD también puede ser por los cambios en la distribución de tamaño de las proteínas poliméricas (Southan y MacRitchie, 1999).

Albúminas y Globulinas. Éstas son proteínas globulares, monoméricas con pesos moleculares de aproximadamente 20 KDa (Puppo et al., 2005). Constituyen del 10 al 22% del total de las proteínas en la harina (MacRitchie, 2003). No intervienen en la formación de la masa, pero son solubles, coagulables y capaces de conferir un aspecto esponjoso. Generalmente, se piensa que las albúminas y globulinas no juegan un papel crítico en la calidad de la harina. Ambas fracciones proteicas son importantes desde el punto de vista nutricional, debido a que tienen cantidades altas de aminoácidos esenciales (Hoseney, 1994).

Gliadinas. Las gliadinas son proteínas monoméricas plegadas estrechamente, de modo que adoptan formas esféricas o globulares compactas (Hoseney, 1998). Éstas se dividen de acuerdo a su movilidad electroforética a pH bajos en cuatro grupos,  $\omega$ - y  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -gliadinas (Fig. 2). Los pesos moleculares de las  $\omega$ -gliadinas están entre 46 y 74 KDa, mientras que las  $\alpha$ - $\beta$ - y  $\gamma$ -gliadinas tienen pesos moleculares bajos, en el rango de 30-45 KDa (Shewry et al., 1986). Desde el punto de vista químico, entre las gliadinas, se diferencian dos grandes grupos: a) las pobres en azufre, que no presentan residuos de cisteína en su estructura primaria, representadas por las  $\omega$ -gliadinas y b) las ricas en azufre,

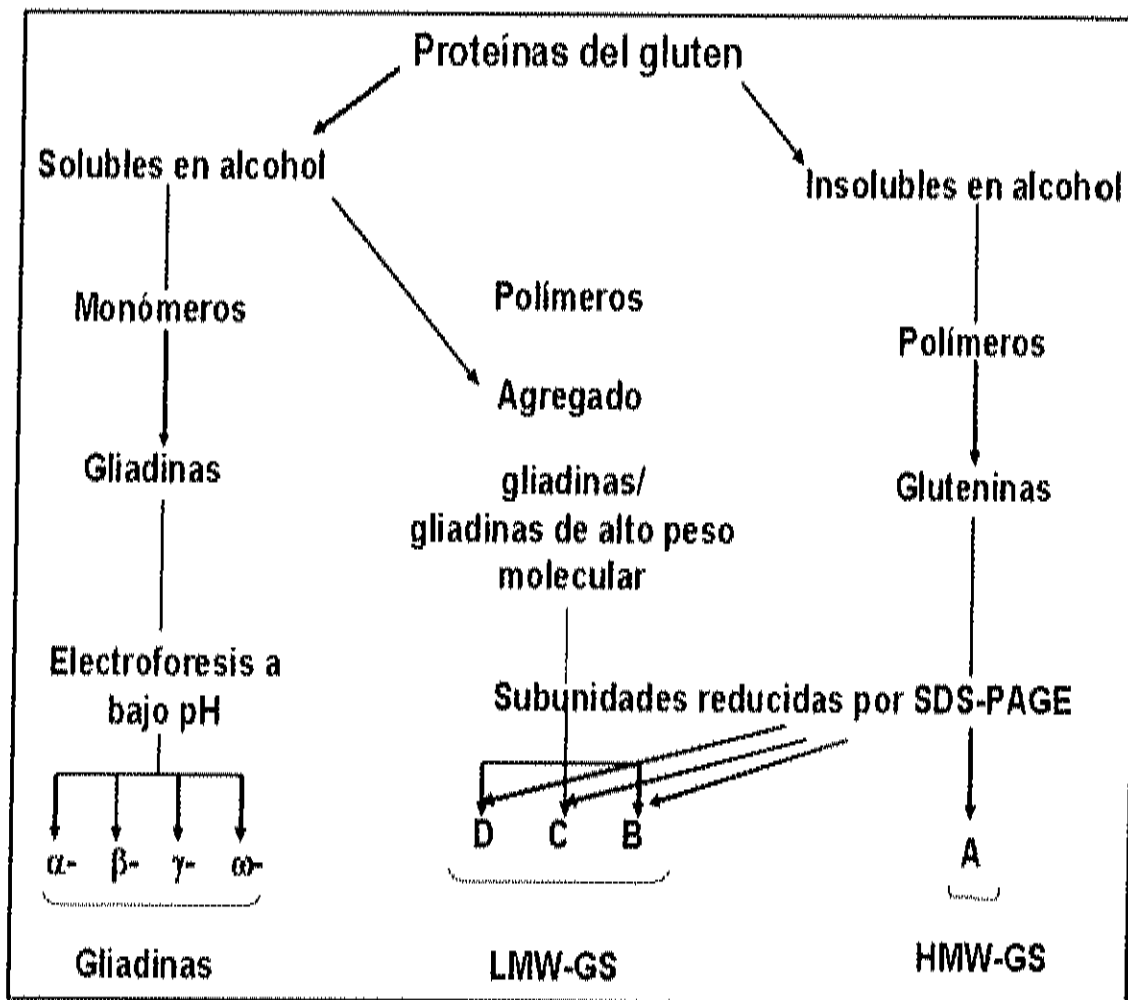
que contienen residuos de cisteína formando puentes disulfuro intracatenarios, representadas por las  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -gliadinas (Gianibelli et al., 2001).

Las  $\omega$ -gliadinas tienen un nivel muy alto de glutamina y prolina con un contenido bajo de aminoácidos azufrados. Su contenido de metionina puede ser  $< 0.1\%$  y carecen totalmente de cisteína y no pueden producir el enlace disulfuro. También, tienen pocos aminoácidos básicos y un contenido alto de fenilalanina en comparación con los otros grupos de gliadinas. Sin embargo, su superficie hidrofóbica es menor que las  $\alpha$  y  $\gamma$ -gliadinas. Son también las más hidrofílicas de las proteínas del gluten en términos de la composición total de aminoácidos con pocos residuos con carga. Las secuencias primarias de las  $\omega$ -gliadinas se basan en una secuencia repetida del octapéptido hecho casi enteramente de residuos de glutamina y de prolina en la secuencia PQQFPQQ (Wrigley y Békés, 1999; Gianibelli et al., 2001).

En cuanto a las  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -gliadinas también son caracterizadas por el alto contenido de glutamina y prolina, aproximadamente 90% de los residuos del ácido glutámico y aspártico son amidados. Son relativamente altas en leucina y bajas en aminoácidos básicos. Las  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -gliadinas son ricas en azufre con seis y ocho residuos de cisteína, respectivamente. Consecuentemente, se forman tres y cuatro enlaces disulfuro intramoleculares. En base a la secuencia N-terminal, las  $\alpha/\beta$ -gliadinas son representadas por una secuencia muy pequeña de cinco residuos de aminoácidos, PQQQP y PQQPY que están siempre presentes en una región repetida que sigue la región N-terminal de las proteínas de  $\alpha/\beta$ -gliadinas, respectivamente. Pero la región N-terminal de las  $\gamma$ -gliadinas está formada por 12 residuos de aminoácido (NMQVDPGQVQW) que precede una serie repetida basada en la siguiente secuencia de aminoácidos PQQFPQQ (Wrigley y Békés, 1999; Gianibelli et al., 2001). Las gliadinas favorecen la formación de una masa fluida y viscosa, extensible pero poco elástica. En realidad determinan el volumen de los panes de harina de trigo (Larroque et al., 1999).

Gluteninas. Las gluteninas son cadenas que pueden separarse en dos grupos en base al tamaño de los polipéptidos que forman sus polímeros: de bajo peso molecular (LMW-GS) y alto peso molecular (HMW-GS) (Fig.2). Las subunidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular son identificadas de acuerdo a su movilidad electroforética en geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE). Las HMW-GS poseen de 80-120 KDa, mientras que las LMW-GS se subdividen de 42-51 KDa y 30-40 KDa (Shewry et al., 1986; Gianibelli et al., 2001). El peso molecular de la glutenina polimérica puede llegar a ser de varios millones de Da (Shewry et al., 1986). Las HMW-GS son muy difíciles de solubilizar, por lo que la glutenina nativa debe ser tratada con un agente reductor para romper los enlaces disulfuro (Gianibelli et al., 2001).

Las HMW-GS presentan un contenido inusualmente alto de ácido glutámico (con la glutamina en forma amidada), también tienen alto contenido de prolina y de glicina y un bajo contenido de lisina. Las características estructurales incluyen un dominio repetido central (integrado por secuencias cortas de aminoácidos que constituyen aproximadamente el 85% de la secuencia de la proteína) y dos dominios terminales sin repetición que contienen la mayoría de los residuos de cisteína en las HMW-GS. Estos dominios forman probablemente la base molecular del papel de las HMW-GS en la funcionalidad del gluten. La composición de aminoácidos de HMW-GS ha indicado la naturaleza hidrofílica del dominio repetido central y las características hidrofóbicas de los dominios N y C-terminal. La proporción de los diversos aminoácidos es definida principalmente por secuencias repetidas del polipéptido. Las secuencias PGQGQQ forman el 90% de GYYPTSPQQ del dominio repetido (Wrigley y Békés, 1999; Mikhaylenko et al., 2000; Gianibelli et al., 2001).



**Figura 2.** Nomenclatura tradicional de las proteínas del gluten. LMW-GS = gluteninas de bajo peso molecular; HMW-GS = gluteninas de alto peso molecular. Fuente: Shewry y Lookhart, 2003.

Por otro parte, se han identificado siete tipos principales de LMW-GS por las secuencias amino-terminal de las proteínas según el primer aminoácido presente en esta región. Las LMW-GS son las secuencias más abundantes observadas, comenzando con la secuencia SHIPGL; los tipos de LMW-m tienen secuencias de N-terminal de METSHIPGL, METSRIPGL o METSCIPGL. Tienen números impares de residuos de cisteína que permiten la incorporación en la glutenina por medio de un enlace disulfuro intermolecular. Son ricos en residuos de prolina y glutamina. Las tres variantes de la secuencia de LMW-m tienen a menudo un residuo básico (histidina o arginina) en la posición 5 (LMW-mh5, LMW-mr5), pero la cisteína está a veces presente en esa misma posición (LMW-mc5). Todas las secuencias de LMW-m contienen seis cisteínas conservadas (Wrigley y Békés, 1999).

Las gluteninas tienen la capacidad de formar una masa compacta y elástica por hidratación. Por ello, la naturaleza de esta fracción determina las propiedades de la harina de trigo para la obtención de masa (Kieffer y Stein, 1999; Belton, 1999).

### **Localización Cromosómica de los Genes de las Proteínas de Almacenamiento**

Los cromosomas consisten de brazos cortos y largos separados por un centrómero. Los genes de las subunidades de masa molecular alta se encuentran en el brazo largo de los cromosomas 1A, 1B y 1D. Estos *loci* se designan *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, respectivamente. Estudios electroforéticos han mostrado que existe un polimorfismo en el número y movilidad de las subunidades de peso molecular alto en diferentes variedades de trigo, es decir que los genes en el brazo largo del cromosoma 1 muestran alelismo múltiple.

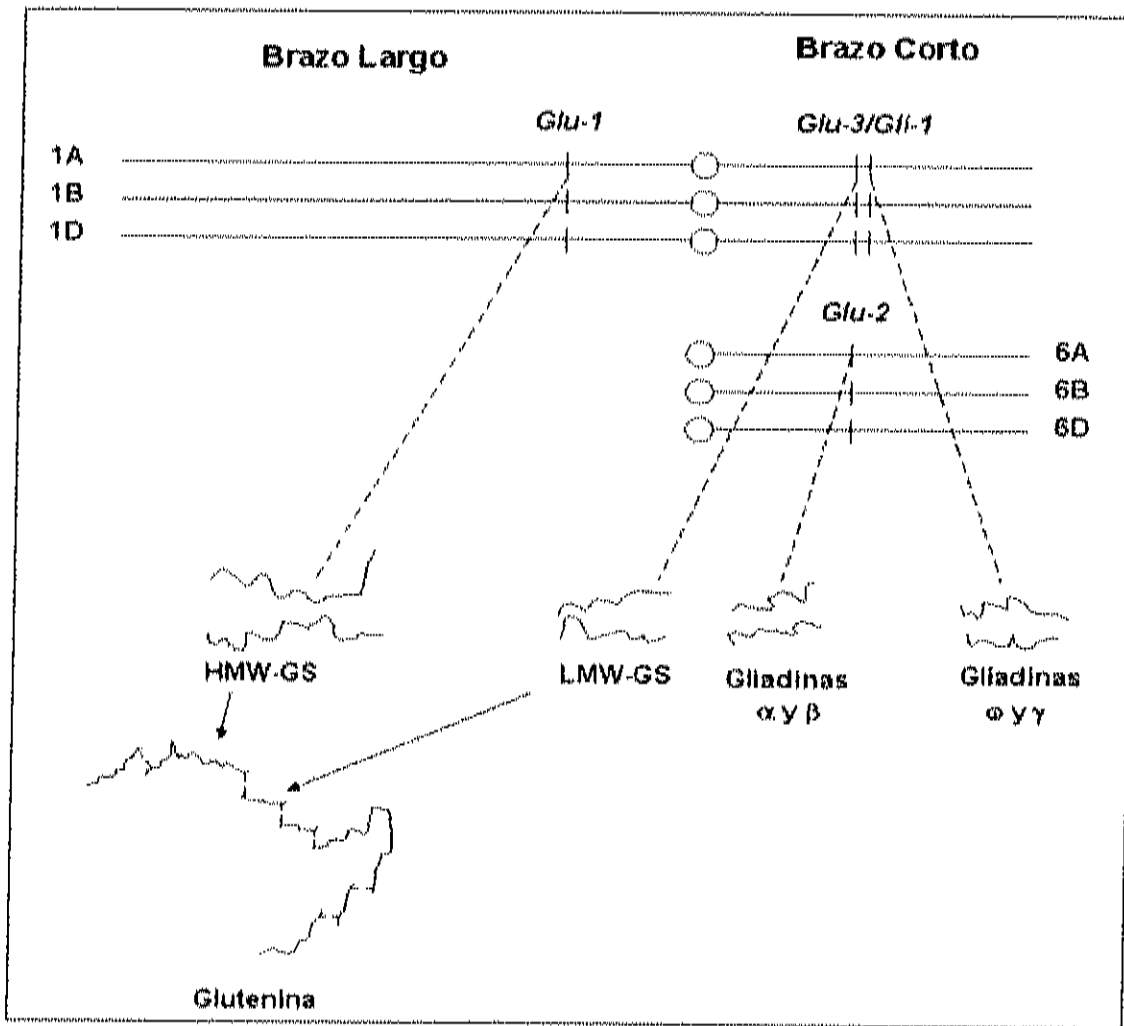
Aunque algunas proteínas son codificadas por genes en cada uno de los siete grupos de cromosomas, las proteínas importantes que contribuyen a la funcionalidad del trigo son codificadas por los genes localizados en los cromosomas 1 y 6 (Fig. 3) (Shewry et al., 1999).

En particular, las subunidades HMW-GS son codificadas por genes del complejo del loci *Glu-1* (*Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) en los brazos largos de los cromosomas del grupo uno. Cada locus contiene dos genes fuertemente ligados codificados por una subunidad de alto y bajo peso molecular, designado como tipos-x y -y, respectivamente. Algunos genes de HMW-GS son intrones; usualmente tanto las subunidades tipos-x y -y son expresadas en el locus *Glu-D1*, dos o una en el *Glu-B1* y uno o ninguno en el locus *Glu-A1*. Cuando una subunidad esta presente en estos últimos dos loci, invariablemente es un tipo-x. Las subunidades de LMW-GS son controladas por los genes presentes en el grupo de cromosomas 1 que tiene brazos cortos (*Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*).

Los genes que codifican a las subunidades de LMW-GS están fuertemente ligados a los genes que codifican a las gliadinas, principalmente  $\omega$  y  $\gamma$ . Estos complejos loci son usualmente denotados por *Gli-1/Glu-3*. Otras gliadinas, principalmente  $\alpha$  y  $\beta$ , son codificadas por genes con brazos cortos del grupo de cromosomas seis (loci *Gli-2*). Para mantener la simplicidad nos concentraremos en los nueve principales loci que controlan la mayoría de las proteínas que determinan la funcionalidad de la masa: loci *Glu-1*--- *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*; loci *Glu-3/Gli-1*--- *Glu-A3/Gli-A1*, *Glu-B3/Gli-B1*, *Glu-D3/Gli-D1* y loci *Gli-2*--- *Gli-A2*, *Gli-B2* y *Gli-D2*.

Las subunidades de glutenina se polimerizan a través de enlaces disulfuro durante el desarrollo del grano, mientras que los otros productos de los genes, las gliadinas, sólo forman enlaces disulfuro intracadena y el resto como proteínas monoméricas (Fig. 3) (MacRitchie, 1999; Shewry y Lookhart, 2003; Shewry y Tatham, 1997; Johansson et al., 1994;).





**Figura 3.** Localización de los genes que codifican a las proteínas que determinan la funcionalidad de la masa. Fuente: MacRitchie, 1999.

## Variación Alélica en las HMW-GS

Las HMW-GS representan del 5 a 10 % de la proteína total. Aunque éste grupo representa la menor proporción de la proteína total, es el que más contribuye a la elasticidad del gluten (Payne et al., 1987; Shewry et al., 1992). Se han asociado alelos específicos de HMW-GS a variables de fuerza general del gluten como volumen de sedimentación y alveograma-W: con efecto positivo a los alelos 1 y 2\* (genoma A), 17+18 (genoma B) y 5+10 (genoma D); con efectos negativos al alelo nulo (genoma A) y a los alelos 7, 20, 6+8, 13+19 (genoma B) y 3+12, 4+12, 5+12 y 2+12 (genoma D); con efecto intermedio el alelo 7+9 (genoma B) (Payne, 1987 y Dellavalle et al., 2006).

Se asignó un puntaje a la calidad de las HMW-GS del rango de cero (alelo nulo) a cuatro. El par de HMW-GS 5+10 codificadas por *Glu-D1*, presentó un puntaje de cuatro, este par ha sido asociado con el mayor grado de fuerza en la masa. El par 2+12, codificado también por el locus *Glu-D1*, se le asignó un puntaje de dos, éste se asoció con la debilidad de la masa. Basado en correlaciones similares en el locus *Glu-B1*, el par 17+18 obtuvo un puntaje de tres, mientras que las subunidades 20x+20y, también codificados en el locus *Glu-B1*, dió un puntaje de uno. En subgrupos de líneas de trigo conocidas, los efectos esperados por la variación alélica en el loci HMW-GS no siempre se han observado. Una razón principal puede ser el cambio de los efectos de otra variación en la información genética. Ésta variabilidad del origen fue eliminado en un estudio realizado por Gupta y MacRitchie (1994) donde compararon tres pares de líneas casi-isogénicas diferenciando solamente la expresión alélica en el locus *Glu-D1*, una línea de cada par con subunidades 5+10 y la otra con 2+12 (Southan y MacRitchie, 1999). La presencia de los pares alélicos 5+10 vs. 2+12 exhiben diferencias en la distribución del peso molecular, aunque la

cantidad de gluteninas sea prácticamente la misma. A su vez, líneas con el par 5+10 contienen una alta proporción de polímeros no extraíbles en comparación con el par 2+12. Esto indica que las subunidades individuales de HMW-GS no son igualmente propensas a polimerizar (Dellavalle et al., 2006).

Las diferencias intrínsecas en las subunidades y el diferente comportamiento durante la polimerización, serían responsables de sus efectos en la distribución del peso molecular. A pesar de que las subunidades de HMW-GS son similares en su estructura, la subunidad 5 tiene un residuo de cisteína adicional, lo que puede estar relacionado con su mayor peso molecular (Southan y MacRitchie, 1999).

Un estudio preliminar sobre el cambio en la composición proteica de dos líneas casi-isogénicas diferenciándose solamente en el locus *Glu-D1* (5+10 vs. 2+12) sugirió una alternativa para la explicación de los efectos alélicos (Gupta y MacRitchie, 1994). La línea con subunidades 5+10 (Lance C) mostró una acumulación más rápida de las HMW-GS así como el total de la glutenina que la línea con subunidades 2+12 (Lance A) durante el periodo de 22-34 días después de la antesis (DDA), aunque la cantidad de glutenina fue similar en la madurez del grano.

El efecto de estas diferencias durante el tiempo de acumulación fue que aumentó en el estado tardío del desarrollo del grano al llegar a la madurez. Lance C produjo glutenina con valores más altos en la distribución del peso molecular (MWD) que Lance A, esto se dedujo de las mediciones de la proteína polimérica no extraíble (PNE). Estos resultados sugieren que algún mecanismo de regulación podría ser el responsable del efecto alélico sobre la gran diferencia entre las subunidades, sin embargo se requiere realizar pruebas mucho más completas (Southan y MacRitchie, 1999).

## Métodos para Determinar la Composición de las Proteínas de Trigo

Debido a que la calidad panadera está asociada con la presencia de grandes agregados proteicos, es esencial estimar el rango de tamaño de estos agregados y determinar las proporciones de las proteínas del gluten presentes en la harina o en el grano, por lo que ha sido imperativo el desarrollo y adecuación de técnicas analíticas.

La electroforesis tradicional o ácida en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE o A-PAGE), desde su introducción al estudio de la química de los cereales, ha sido una de las principales técnicas utilizadas. Anteriormente no era de los mejores métodos para la determinación de proteínas, por lo que en años recientes se reportaron modificaciones y adaptaciones en los protocolos en SDS-PAGE para la separación de las proteínas del trigo (Kasarda et al., 1998). La SDS-PAGE tiene como inconveniente que utiliza reactivos tóxicos, la determinación se realiza post-separación (tiñendo) y requiere largos periodos de tiempo. Sin embargo, tiene la ventaja de que el equipo es de bajo costo y cuantifica fácilmente a las proteínas de trigo (Hou y Ng, 1995).

Otro método es la electroforesis capilar de alta resolución (HPCE), la cual ha sido utilizada en la separación de las proteínas de trigo y de otros cereales (Bean et al., 1998). La HPCE es rápida y de alta resolución electroforética en la separación de proteínas y es análogo por PAGE, pero el HPCE presenta la ventaja de tener un sistema automatizado y salida de datos digital, característica que comparte con la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La HPCE actualmente no puede competir con la electroforesis en gel, sin embargo, esta limitación puede ser superada empleando columnas multicapilares (Bean y Lookhart, 1999). Se ha utilizado un modo particular de HPCE, la electroforesis capilar de zona libre (FZCE) para separar las proteínas de trigo.

Los métodos antes mencionados, han sido utilizados para determinar la composición de las proteínas de trigo. Sin embargo, estos presentan algunos inconvenientes en la separación de las fracciones de las proteínas, debido a la naturaleza de las mismas (Bean y Lookhart, 1999). Por otro lado, las técnicas cromatográficas en los años recientes han mejorado notablemente en su metodología, permitiendo la aplicación de la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para fraccionar las proteínas del trigo. Esto se puede lograr por medio de separación en base a su hidrofobicidad (fase reversa, RP-HPLC), peso molecular (exclusión por tamaño, SE-HPLC) y propiedades de su carga (intercambio iónico, IE-HPLC). Debido a su alto poder de resolución, RP-HPLC es utilizada para la identificación de variedades de trigo. Estas pueden distinguirse por las características de sus perfiles de elusión, los cuales son más rápidos en comparación con electroforesis en gel. Este paso provee una ventaja, pero el equipo es mucho más caro (Shewry y Lookhart, 2003).

La IE-HPLC también es recomendada para la rápida identificación de las proteínas. Como las bases del fraccionamiento son diferentes, esto puede proveer mejor distinción entre ciertas combinaciones de variedades que las que se obtienen por RP-HPLC (Shewry y Lookhart, 2003).

Utilizando sonicación y SE-HPLC promete extender nuestro entendimiento sobre el rango de tamaño de las proteínas del gluten, tanto en estado nativo como en sus polipéptidos reducidos. Esta metodología es precisa y requiere poco tiempo para separar las tres principales clases de proteínas del trigo: glutenina polimérica, gliadinas monoméricas y albúminas/globulinas. Esto es usado para el análisis de la distribución del tamaño molecular de la proteína. Se pueden obtener tanto la proteína polimérica (PPT), porcentaje de gliadinas (Gli), la relación de gluteninas/gliadinas (Glu/Gli), proteína polimérica de la harina (PPH) y la proporción de proteína polimérica no extraíble (PPNE). Estos parámetros se

utilizan para evaluar la calidad panadera de la harina de trigo (Batey et al., 1991, Larroque et al., 2000).

### Efecto de las Condiciones Ambientales en la Calidad del Trigo

En la calidad del trigo hay una serie de factores que influyen además del aspecto genético. Estos son la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua durante el llenado del grano y las condiciones ambientales a lo largo del desarrollo de la planta de trigo. Cambios drásticos en cualquiera de estos factores someten a estrés al cultivar y se afecta la calidad del trigo (Gianibelli et al., 2001; Johansson et al., 2003). Entre las variaciones de calidad debidas al ambiente con frecuencia superan a las vinculadas al genotipo (Peterson et al., 1998). Entre los factores ambientales que modifican la calidad del grano, están el tipo de suelo y los niveles de fertilizantes (nitrógeno y azufre). Estos factores pueden afectar el contenido y calidad de la proteína (MacRitchie y Gupta, 1993).

Debido a la diversidad de condiciones ambientales existentes, se tiene la necesidad de investigar detalladamente el efecto de estas en la composición de las proteínas de la harina y las características del producto final que de ella se elabore, ya que las variaciones ambientales originan cambios en la calidad del trigo. Se ha reportado que la calidad de la proteína es determinada principalmente por lo genético (Mikhaylenko et al., 2000). Otros trabajos enfatizan el efecto de la distribución de las lluvias, la ocurrencia de heladas tardías y la duración del periodo de llenado de los granos. Sin embargo, se ha reportado que uno de los factores más importantes que afectan la calidad del grano es la temperatura durante el llenado del mismo (Randall y Moss 1990; Blumenthal et al., 1991, 1993). La temperatura óptima durante el periodo de

antes- madurez fisiológica para alcanzar el máximo peso de los granos se ubica alrededor de los 16°C. De 16°C y hasta 30°C, por cada grado centígrado de aumento se produce una disminución en el rendimiento de grano de aproximadamente 3-4% (Wardlaw y Wrigley, 1994).

Las variaciones del clima producen importantes oscilaciones en los rendimientos y calidad del grano de un año a otro y de una región a otra (Uhlen et al., 1998; Mikhaylenko et al., 2000; Zhu y Khan, 2001). La temperatura, en particular, induce una serie de cambios en la fisiología de la acumulación de reservas en el grano. Estas variaciones interactúan de manera compleja modificando su calidad industrial. Mikhaylenko et al. (2000) reportaron importantes fluctuaciones interanuales en los parámetros reológicos y en su contenido proteico, para un mismo cultivar y entre cultivares. En este estudio las fluctuaciones fueron atribuidas a los efectos de la temperatura.

Mikhaylenko et al. (2000) reportaron que el potencial de panificación está fuertemente influenciado por el cultivar y por las condiciones ambientales. Para predecir la calidad de un cultivar de trigo, es necesario comprender a fondo la influencia de las condiciones ambientales durante el llenado del grano. Debido a que estas juegan un papel muy importante en la síntesis de proteínas. Así pues, el efecto de las condiciones del ambiente se verá reflejado en las características de la masa y del producto final. El grado de afectación dependerá de la severidad de los cambios ambientales y la susceptibilidad del cultivar de trigo.

Blumenthal et al. (1995) encontraron una asociación adicional para el trigo que tiene las subunidades 2+12, el cual tiende a ser más sensible al estrés por calor. Los que tienen las subunidades 5+10 son más resistentes a este estrés durante el llenado del grano. Esto lo relacionaron con el debilitamiento de la masa cuando el trigo tiene subunidades 2+12. En estos experimentos, la masa que se debilitaba se determinó por la disminución del tiempo de amasado en el mixógrafo. Debido a estos, se ha centrado la atención en las subunidades

de glutenina 5+10 y 2+12 ya que su presencia en muchos genotipos de trigo está fuertemente relacionada con la fuerza o debilidad de la masa respectivamente; aunque es importante aclarar que ha habido excepciones significativas para algunos cultivares (Naeem y MacRitchie, 2005).

Se han realizado estudios que relacionan a la composición proteica con las propiedades reológicas de la harina de trigo (Cuniberti et al., 2003; Larroque et al., 1999; Khatkar et al., 1996). También se ha reportado la relación de las propiedades reológicas y la calidad panadera (Islas-Rubio et al., 2005; Kieffer et al., 1998), así como el efecto que tiene el ambiente en estas relaciones (Mikhaylenko et al., 2000; Souza et al., 2004; Triboí et al., 2003). Sin embargo, se requiere realizar estudios integrales, donde se evalúe la relación de la composición proteica con las propiedades reológicas y la calidad panadera.

### Calidad Panadera del Trigo

La calidad del trigo está influenciada por el genotipo, factores ambientales y su interacción. Los efectos del genotipo son de gran importancia para la calidad del trigo. Los cultivares están clasificados de acuerdo a las propiedades de su uso final (por ejemplo, trigo para hacer pan, galletas, pastas, etc.) (Uhlen et al., 1998). Para definir calidad es necesario ubicarnos en algún eslabón de la cadena agroalimentaria del trigo. Desde esta perspectiva, la calidad es la capacidad que tiene el producto de satisfacer las necesidades de los consumidores o usuarios del mismo.

La harina de trigo se obtiene principalmente del endospermo, del cual un 80-85% de la proteína de éste son gliadinas monoméricas y gluteninas poliméricas (Don et al., 2003). Estas proteínas son importantes para la calidad y consistencia de los productos horneados (Kuktaite et al., 2004).



La calidad panadera depende de la cantidad y composición de las proteínas de reserva. La composición de las subunidades de glutenina, principalmente las de alto peso molecular, pueden explicar parcialmente la variación en la calidad de los genotipos.

La calidad panadera se basa en dos conceptos: la fuerza y extensibilidad de la masa. La fuerza está dada por la cantidad y calidad de la proteína en la harina, la cual determina el tiempo de amasado y volumen de pan. La extensibilidad influye en la capacidad de la masa de retener el gas producido durante el proceso de fermentación (Belton, 1999; Khatkar et al., 1996).

Para medir la calidad panadera en la harina, se utiliza el farinógrafo y el alveógrafo. El primero mide la resistencia al amasado y la absorción de agua necesaria para alcanzar la consistencia adecuada de la masa. Su principio se basa en el registro de la resistencia que la masa opone a una acción mecánica constante en condiciones de prueba invariables. El farinógrafo produce una curva que reproduce en forma visual el conjunto de características de calidad de la harina. La curva aumenta hasta un máximo de consistencia a medida que las proteínas de la harina se desdoblán en gluten. Dicha curva decrece a medida que ésta pierde resistencia al amasado continuo. Los parámetros que normalmente se determinan con el análisis farinográfico son: absorción de agua, desarrollo de la masa, estabilidad y grado de ablandamiento (Serna-Saldivar, 1996).

El alveógrafo es un equipo que mide la tenacidad y extensibilidad de la masa, cuando a esta se le inyecta aire para simular la fermentación. Esto permite obtener información relativa a la propiedad mecánica de la masa y al estado de oxidación. A mayor oxidación mayor fuerza en la masa. Los parámetros de respuesta del alveógrafo son la altura máxima (eje "y") o resistencia al estiramiento, también conocido como tenacidad (P), la longitud (eje "x") que refleja la extensibilidad (L) y el área bajo la curva que indica la fuerza de la masa (W) (Serna-Saldivar, 1996.)

Un trigo apto para panificación debe tener buenos valores de W (alveograma) y buena estabilidad (farinograma) para que la masa sea extensible y elástica. Esto se logra con variedades de trigos fuertes, cultivados en un ambiente adecuado y con buenas prácticas agronómicas (Cuniberti, 1998).

La industria (molinera, panificadora, galletera y de pastas) es exigente respecto a las características de las harinas que utilizarán para la obtención de los diferentes productos, ya que de ellas depende la calidad del producto final. Por esto, es de suma importancia lograr trigos de excelente calidad, homogeneidad y que dicha calidad sea independiente de las variaciones del medio ambiente.

#### Justificación

Es conocido que las variaciones ambientales originan cambios en la calidad del trigo, ya que estas juegan un papel muy importante en la síntesis de proteínas. Debido a la diversidad de condiciones ambientales existentes, se tiene la necesidad de investigar detalladamente el efecto que tiene la fecha de siembra y el esquema de riego que se aplique al cultivo. El conocer cómo afectan estos factores a la composición proteica y la relación de ésta con las propiedades reológicas de la masa y la calidad panadera del trigo proveerá una herramienta para manipular materiales promisorios en programas de mejoramiento genético de trigos panaderos.

#### Hipótesis

El efecto del ciclo de cultivo y la fecha de siembra en la composición

proteica y la calidad de panificación de los trigos experimentales cultivados en Sonora es mayor que el efecto del esquema de riego.

## Objetivos

### **Objetivo General**

Determinar el efecto del ciclo de cultivo, fecha de siembra y el esquema de riego en la composición proteica, propiedades reológicas de la harina y la calidad panadera de trigos experimentales.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar químicamente las harinas de cinco líneas experimentales de trigo cultivadas en dos ciclos consecutivos de siembra.
- Evaluar las propiedades reológicas de las harinas de los trigos experimentales.
- Extraer las principales fracciones proteicas de la harina y determinar su proporción relativa por medio de SE-HPLC.
- Evaluar la calidad panadera de las harinas de los trigos experimentales.
- Correlacionar tanto las propiedades reológicas y la composición proteica con la calidad panadera de las harinas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Se utilizó harina obtenida de 5 líneas experimentales de trigo (LE) cultivadas en el Campo Experimental Valle del Yaqui, en Cd. Obregón, Sonora (Cuadro 2). Las LE forman parte del programa de mejoramiento genético de trigo (INIFAP-CIRNO), cuyo responsable es el Dr. Miguel Alfonso Camacho Casas. Se manejaron muestras de dos ciclos de siembra (2002-2003 y 2003-2004). Se establecieron cuatro fechas de siembra y dos esquemas de riego (Cuadro 3). Se utilizó el mismo esquema de fertilización para todas las LE (Cuadro 4).

### Métodos

#### **Composición Química de las Harinas**

Se determinó la composición química de las harinas por triplicado, utilizando métodos oficiales (AACC, 1995).

Contenido de Humedad. Se determinó el contenido de humedad mediante el método 44-19 de la AACC (1995), el cual consiste en pesar 2 g de la

**Cuadro 2.** Origen de las líneas experimentales de trigo.

<b>Línea Experimental (LE)</b>	<b>Cruza</b>
1	VEE/KOEL//SIREN/3/ARIV92
2	RAYON_F89
3	IRENA/BABAX//PASTOR
4	RABE/6/WRM/4/FN/3*TH//K5B/2*N/3/AUS- 6869/5/PELOTAS-ARTHUR/7/2*RABE/8/IRENA
5	WEEBILL_(35Y)

**Cuadro 3.** Ciclo de cultivo, fechas de siembra y esquema de riego de las líneas experimentales (LE).

Ciclo de Cultivo (CC)	Esquema de Riego (ER)	Fecha de Siembra (FS)			
		FS1	FS2	FS3	FS4
2002-2003	2 Riegos	15 de Nov	30 de Nov	15 de Dic	30 de Dic
	3 Riegos				
2003-2004	2 Riegos				
	3 Riegos				

**Nota:** Las temperaturas, la lluvia y la humedad relativa de ambos ciclos de cultivo registradas durante los periodos de floración y maduración del trigo de las LE en las diferentes FS se muestran en Anexo (Cuadro 11).

**Cuadro 4.** Esquema de riego y fertilización aplicado a las líneas experimentales de trigo en ambos ciclos de cultivo.

Esquema de Riego (ER)		Fertilización (kg/ha)			
		Siembra	1er. Riego	2do. Riego	Total kg/ha
<b>2 riegos<sup>a</sup></b>	<b>3 riegos<sup>b</sup></b>	57N-46P <sup>b</sup>	100N <sup>b</sup>	100N <sup>b</sup>	257
60-30	50-30-20				

<sup>a</sup>ER 2: 60 se refiere a que el riego se proporcionó 60 días después del riego de auxilio (que es el señalado como la fecha de siembra), 30 a que el segundo se proporcionó 30 días después del primer auxilio.

<sup>b</sup>ER 3: 50 se refiere a que el riego se proporcionó 50 días después del riego de auxilio (que es el señalado como la fecha de siembra); 30 a que el segundo se proporcionó 30 días después del primer auxilio, y 20 que el tercero se proporcionó 20 días después del segundo auxilio.

La cantidad de agua aplicada en cada riego no se mide. En un trazo de riego por surquería de aproximadamente 95 m de largo, lo único que se cuida es que la humedad cubra las camas por completo.

<sup>b</sup>P=fósforo; N=nitrógeno (urea)

muestra en una estufa de circulación forzada a 100°C hasta obtener un peso constante. La humedad se determinó por diferencia de peso, la cual se reportó en %.

Contenido de Proteína. Se determinó utilizando el método 46-13 de la AACC (1995), el cual se realizó convirtiendo a sulfato de amonio el nitrógeno de las proteínas y otros compuestos orgánicos por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición y en presencia de un ión metálico como catalizador (cobre). El residuo de la digestión se enfrió y se diluyó con agua. Se le agregó hidróxido de sodio. El amonio presente se destiló y se recibió en una solución de ácido bórico que posteriormente se valoró con una solución ácida estandarizada. Se reportó el % de proteína, multiplicando el contenido de nitrógeno por un factor de conversión de 5.75.

Contenido de Cenizas. Se usó el método 08-01 de la AACC (1995), el cual consiste en pesar 2 g de muestra en un crisol y se colocó en una mufla a 550°C durante 5 h. El contenido de cenizas se determinó por diferencia de peso el cual se reportó en %.

### **Propiedades Reológicas de las Harinas de Trigo**

Se evaluaron las propiedades físicas de la masa siguiendo la metodología reportada por Islas-Rubio et al., (2005). Se utilizó el analizador de textura TA-XT2, y se determinó el tiempo óptimo de amasado por medio de mixogramas, la resistencia a la extensión, extensibilidad y el trabajo necesario para estirar la masa hasta romperla.

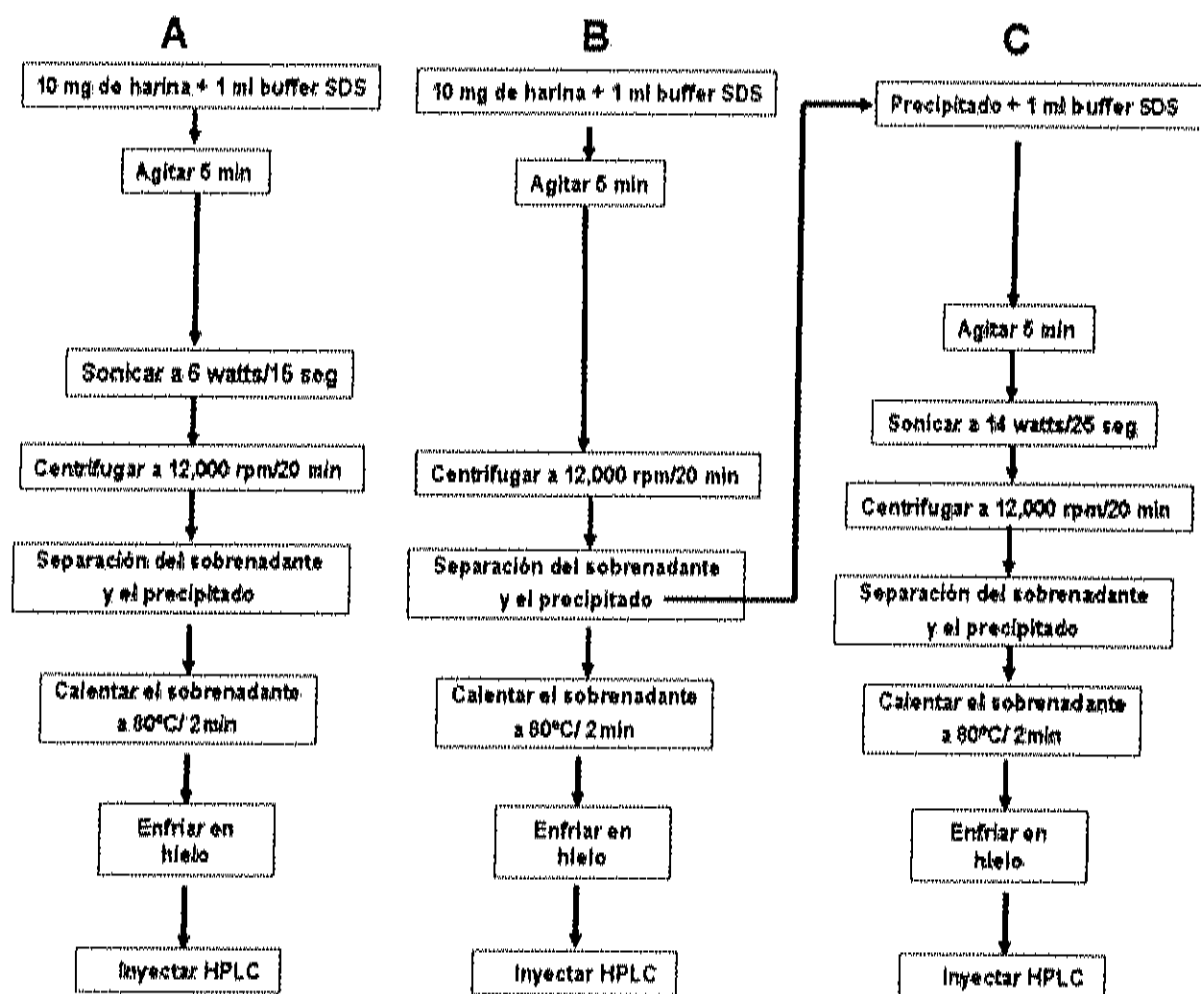


Tiempo Óptimo de Amasado (TOA). Se obtuvieron los mixogramas utilizando el mixógrafo National (National Manufacturing Co., N.J.) para 10 g de harina, siguiendo el método 54-40 de la AACC (1995). Se determinó el porcentaje de absorción de agua y el tiempo óptimo de amasado (min), el cual se utilizó en las pruebas de resistencia y extensibilidad de la masa así como en la prueba de panificación.

Resistencia y Extensibilidad de la Masa. Se midió la resistencia a la extensión, extensibilidad y el trabajo requerido para estirar la masa (área bajo la curva) a una velocidad de prueba de 3.3 mm/seg en el Analizador de Textura TA-XT2 (SMS Micro System, UK) con el SMS/ Kieffer Rig (Kiffer et al., 1998). Las mediciones se realizaron a intervalos de 45 min (2 veces), simulando el procedimiento que se lleva a cabo por medio del método oficial (54-10 AACC) con el extensógrafo. La masa reposada en ambos intervalos se sometió a un estiramiento con el gancho tensor y se registró su resistencia a la extensión (g), la extensibilidad (cm) y el trabajo necesario para estirar la masa hasta romperla (g-cm). Después del primer y segundo estiramiento, la masa se moldeó nuevamente. Esto se hizo para simular el periodo de fermentación en el proceso de panificación convencional que es interrumpido por el ponchado y moldeado. La ventaja de usar esta prueba sobre las otras convencionales (alveógrafo y extensógrafo) es que sólo se requiere de 10 g de harina, lo cual es muy apropiado para utilizar con muestras de trigo provenientes de programas de mejoramiento genético donde la cantidad de semilla cosechada es limitada.

### **Extractos Proteicos**

Se obtuvieron los extractos proteicos para proteína total, proteína extraíble y proteína no extraíble de las harinas de trigo (Fig. 4) conforme a protocolos de extracción reportados por Batey et al., (1991).



**Figura 4.** Diagrama del proceso para la extracción de las fracciones proteicas. A = proteína polimérica total (PPT); B = proteína extraíble (PE); C = proteína no extraíble (PNE).

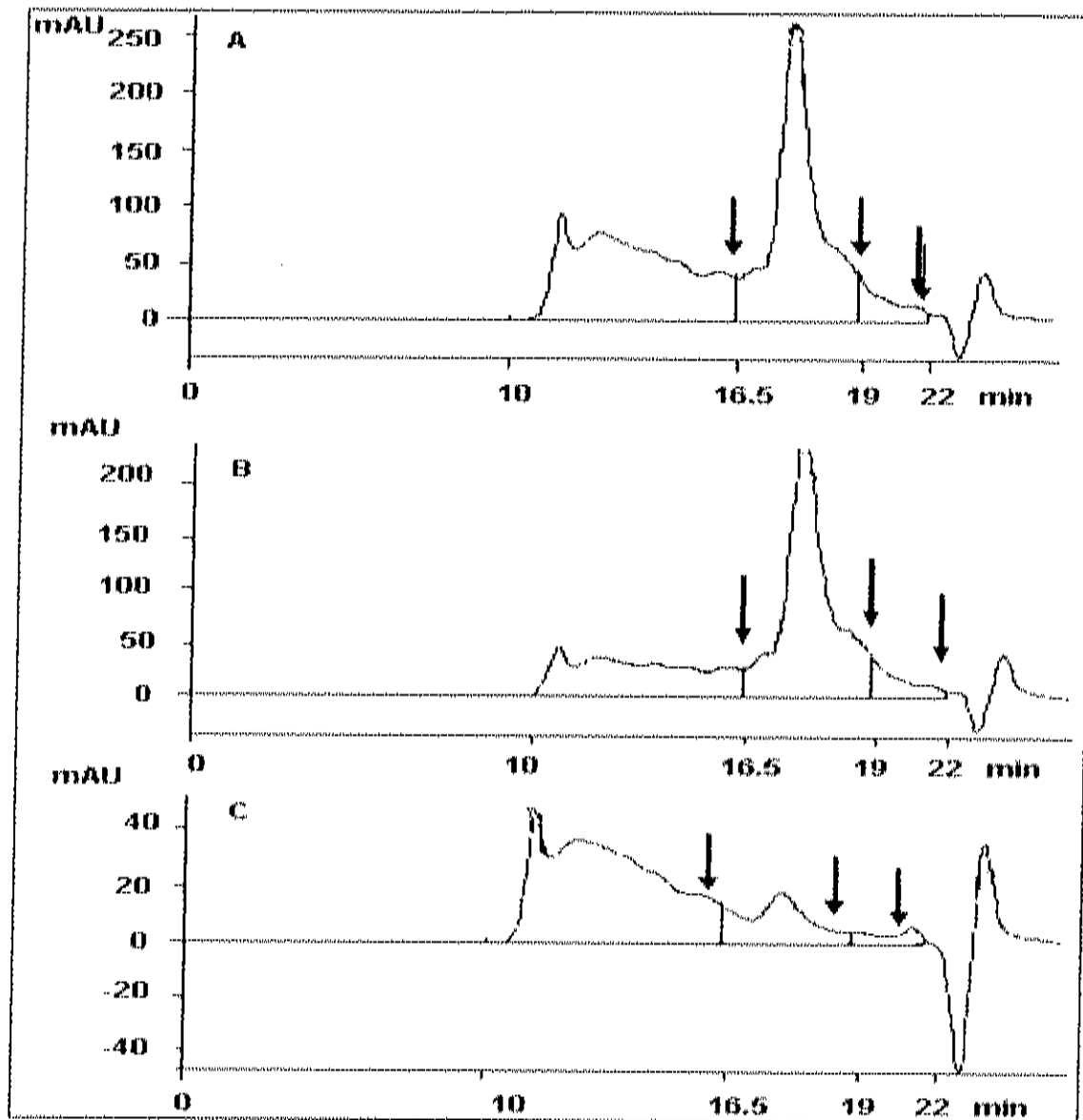
## **Determinación de la Composición Proteica de las Harinas**

Los extractos proteicos de las harinas de trigo se fraccionaron y cuantificaron en un HPLC marca Agilent serie 1100, se utilizó una columna BioSep-SEC-S 4000 (Phenomenex, Torrence, CA) con un detector UV-VIS 214 nm. La fase móvil utilizada fue acetonitrilo (ACN) y agua (50:50) conteniendo 0.05% de ácido trifluoroacético (ATF) con un flujo de 0.5 ml/min (Batey et al., 1991).

Del extracto de proteína total se obtuvo el perfil cromatográfico (SE-HPLC) mostrando las fracciones 1, 2 y 3 correspondientes a la proteína polimérica total (PPT) o gluteninas, proteína monomérica (gliadinas, Gli) y albúminas/globulinas (A-G), respectivamente. Los tiempos de elusión para estas fracciones fueron: fracción 1 de 0-16.5 min, fracción 2 de 16.51-19 min y fracción 3 de 19.01-22 min.

La Figura 4 muestra los cromatogramas típicos (perfiles SE-HPLC) que se obtienen con los extractos de PT, PE y PNE de la harina. Se registró el área total y relativa de cada fracción. Se calculó la proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína total (PPNET) dividiendo el área de la fracción 1 de la PNE entre la suma de las áreas de la PE y la PNE (fracción 1 PE + fracción 1 PNE), la cual es una medida de la distribución de tamaño relativo de la proteína polimérica.

El porcentaje de proteína polimérica en la harinas (PPH) se calculó multiplicando el contenido de proteína en la harina por la proporción de la proteína polimérica, mientras que la proporción de proteína polimérica no extraíble de las harinas (PPNEH) se calculó multiplicando el contenido de proteína en la harina y la proporción de la proteína polimérica no extraíble total.



**Figura 5.** Separación de los extractos de la proteína total (A), proteína extraíble (B) y proteína no extraíble (C) de una de las harinas mediante SE-HPLC con una columna Biosep-SEC-S4000 Phenomenex. ↓ Indica la demarcación de cada fracción (1, 2 y 3).

## **Prueba de Panificación**

Se realizó la prueba de panificación siguiendo el método 10-10B de la AACC (1995), utilizando 35 g de harina, 0.7 g de levadura seca deshidratada, 3.85 mL de solución azúcar-sal, 1.20 mL de manteca vegetal y la cantidad de agua varió de acuerdo al contenido de proteína de cada harina. El tiempo de fermentación fue de 40 min a  $30\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $94\pm 1\%$  humedad relativa. El tiempo y temperatura de horneado fue de 17 min y  $215^{\circ}\text{C}$ . Se utilizó una harina control para estas pruebas proporcionada por el USDA-Grain Marketing Research Laboratory, Manhattan, KS. Los parámetros evaluados en la prueba de panificación fueron el comportamiento de la masa durante el proceso de elaboración del pan, el volumen del pan ( $\text{cm}^3$ ), su peso (g) y volumen específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), así como la evaluación subjetiva de la miga y del pan en general.

### Diseño Estadístico

Se llevó a cabo un diseño en bloques con arreglo factorial de  $2 \times 5 \times 4 \times 2$ . El efecto de los factores principales (ciclo de cultivo, línea experimental, fecha de siembra y esquema de riego) y sus interacciones dobles fueron evaluados considerando el ciclo de cultivo como efecto aleatorio y los otros factores como efectos fijos. Se realizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) y regresión lineal con un nivel de significancia de 0.05. Se utilizó el paquete estadístico NCSS (2001). En todas las evaluaciones el diseño experimental consideró tres repeticiones, cada una formada por una parcela de  $8 \text{ m}^2$ .

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### Composición Química de las Harinas

#### **Contenido de Humedad**

El contenido de humedad de las harinas de las líneas experimentales de trigo (LE) de los ciclos 2002-2003 y 2003-2004 varió de 10.5-13.1% y de 13.7-15.7%, respectivamente (Anexo, cuadros 12 y 13). La Norma Mexicana NMX-F-007-1982, especifica que la humedad no debe de pasar el 14%. Esto puede variar dependiendo del clima, ya que para invierno se autoriza tener harinas con humedades de 14.5%, pero en verano no deben de rebasar la especificación. El aumento de la humedad en las muestras del CC 2003-2004 pudo deberse a que en ese ciclo el % de humedad relativa fue mayor en comparación con el CC 2002-2003 (Anexo, cuadro 11) La determinación del contenido de humedad es muy importante en la evaluación de la materia prima de la industria molinera ya que está vinculada con los requerimientos de acondicionado. Así como también la humedad de los productos terminados está estrechamente relacionada con las propiedades texturales y con la aceptación del producto (Serna-Saldivar, 1996).

## **Contenido de Proteína**

La cantidad y la calidad de la proteína juegan el papel más determinante para la calidad del producto final. El contenido de proteína es importante porque se correlaciona altamente con casi todas las propiedades de la harina (requerimiento de agua para el amasado, tolerancia al amasado, características de manejo, requerimiento de oxidación, volumen de pan y aún las características de la miga) (Pomeranz, 1987).

El contenido de proteína de las harinas de los trigos experimentales de los ciclos 2002-2003 y 2003-2004, varió de 9.7-13.0% y 11.0-14.9%, respectivamente (Anexo, cuadros 12 y 13). Las harinas con más alto contenido de proteína se obtuvieron con las LE 1 y 2. La harina de la LE 5 del ciclo 2002-2003 presentó un contenido de proteína menor del 10%, la cual fue sembrada en la fecha de siembra (FS) 3 y bajo el esquema de riego (ER) 2.

En general, se observó que la mayoría de las LE aumentaron su contenido de proteína al ser sembradas en las FS 3 y 4. Se observaron diferencias significativas entre ER2 y ER3, presentándose mayores contenidos de proteína en el ER3. Esto pudiera deberse a que las LE al ser sembradas en las FS 3 y 4 al llegar el periodo de floración-madurez, etapa en que se da el inicio de la síntesis y acumulación de las proteínas de reserva del trigo, las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, disponibilidad de agua, etc.) pudieran ser más favorables para la elaboración de materia seca (proteínas de almacenamiento y glúcidos).

Por otro lado, si la temperatura es muy elevada y el viento es fuerte y seco, la movilización de los últimos recursos de agua disponible para la migración de glúcidos y próticos se perjudica y ocurre el fenómeno del "asurado", quedando los granos arrugados por no poder acumular el máximo de reservas (Guerrero-García, 1999; Wardlaw y Wrigley, 1994). En base a lo

anterior, el aumento del contenido de proteína en el CC 2003-2004 se atribuyó a que el rango de temperatura mínimo y máxima fluctuó de 10.2°C a 20.2°C, factor importante para que se dé la síntesis de proteínas de almacenamiento (gliadinas y gluteninas) del trigo y que la planta tuvo agua disponible para la movilización de glúcidos y de las proteínas hacia la espiga.

La Norma Mexicana NMX-F007-1982 especifica que trigos destinados para molienda de harina para pan deben tener de 10 a 13% de proteína; mientras que para la producción de galletas o pasteles son harinas débiles o blandas con contenido proteico de 7.5-10%.

### **Contenido de Cenizas**

El contenido de cenizas de las harinas de las LE de los ciclos 2002-2003 y 2003-2004, varió de 0.34-0.85 y 0.38-0.49%, respectivamente (Anexo, cuadros 12 y 13). Los valores encontrados en este estudio para el contenido de cenizas estuvieron dentro de los rangos permitidos para harinas panificables. La Norma Mexicana NMX-F-007-1982 especifica que el contenido de cenizas no debe de pasar el 0.35-0.55%. La LE 2 sembrada en la FS 1 bajo el ER 2 presentó el mayor contenido de cenizas (0.85%), el cual estuvo fuera del rango que marca la Norma Mexicana para harinas panificables. La literatura dice que esto podría deberse a una excesiva extracción de la harina, ya que cuanto más elevada sea la tasa de extracción más impura es la harina y lleva más sustancias minerales. Estas se concentran en el germen (5.3%) y en el salvado (4.7%) mientras que el endospermo (que es principalmente almidón) tiene poca concentración de sales minerales (0.32%) (Falder-Rivero, 2002).



## Propiedades Reológicas de las Harinas de Trigo

Se entiende por reología la determinación de las propiedades elásticas y plásticas, así como el comportamiento de fluencia de los sistemas. La harina forma con el agua sistemas más o menos espesos que se solidifican al hornearse. En ambos estados - horneado y sin hornear - la reología puede proporcionar conclusiones acerca de la calidad, con lo que se puede determinar el uso final que pudiera tener la harina. Las harinas analizadas en este estudio presentaron variación en sus propiedades reológicas tiempo óptimo de amasado, resistencia máxima a la extensión, extensibilidad de la masa y trabajo de deformación de la masa, en ambos ciclos de cultivo.

### **Tiempo Óptimo de Amasado (TOA)**

En general, en ambos ciclos de cultivo el ER 2 presentó TOA más prolongados que el ER 3. El TOA en las muestras del ciclo 2002-2003 varió de 3.5-6.8 min. La muestra proveniente de la LE2/FS2/ER2 presentó el menor TOA y la muestra LE3/FS4/ER2 el mayor (Fig. 6). Por otra parte, los valores de las muestras del ciclo 2003-2004 oscilaron de 4.5-7.9 min, siendo las muestras LE3/FS1/ER2 y LE4/FS4/ER2 las de menor y mayor TOA, respectivamente (Fig. 7). Se obtuvieron TOA más prolongados en el segundo ciclo de siembra (2003-2004) en comparación con el 2002-2003, lo cual puede observarse en las Figuras 6 y 7. Este aumento en el TOA se asocia al incremento en el contenido de proteína que presentaron las muestras en el ciclo 2003-2004. Los fitomejoradores de trigos panaderos tienen como criterio de selección un TOA de 4.5 min como máximo. La absorción de agua (datos no mostrados) varió de

57.6-63.5 % para el primer ciclo y de 59.9-66.2 % para el segundo. Entre más proteína tiene una harina requiere de más agua para lograr un amasado óptimo. Se obtuvieron TOA ligeramente mayores en comparación con masas elaboradas sin utilizar sal en su fórmula. Se ha reportado que la adición de cloruro de sodio prolonga el tiempo óptimo de amasado la masa (Belitz et al., 1990).

Al realizar el análisis de varianza se observó que el efecto aleatorio del ciclo de cultivo (CC) tuvo mayor significancia sobre el TOA (Cuadro 5, pag. 51). Esto indica que puede existir un grupo de factores no controlables que se presentan en un ciclo de cultivo, que pueden alterar las propiedades reológicas de la masa y las características de calidad panadera del trigo de un ciclo a otro. Entre estos factores los más importantes son: la temperatura, la humedad relativa y la precipitación pluvial, sin hablar de las plagas y enfermedades que se pueden derivar de estas condiciones climáticas.

La interacción LExER sobre el TOA (Cuadro 7, pag. 78) fue significativa, por lo que se aplicaron contrastes ortogonales para determinar cuales tratamientos fueron diferentes. Al comparar las LE 1 y 2 vs las LE 3 y 5 bajo el ER2 se vio que las LE 3 y 5 presentaron un aumento del 12.2% en el tiempo necesario para llegar al desarrollo del gluten. En cambio al comparar las LE 1 y 2 vs LE 4 en ambos ER, ésta última fue mucho mayor (70.2%). El efecto que presentó la LE fue mucho mayor que el que tuvo el ER, ya que éste último mostró diferencias muy pequeñas en el TOA entre ambos esquemas de riego.

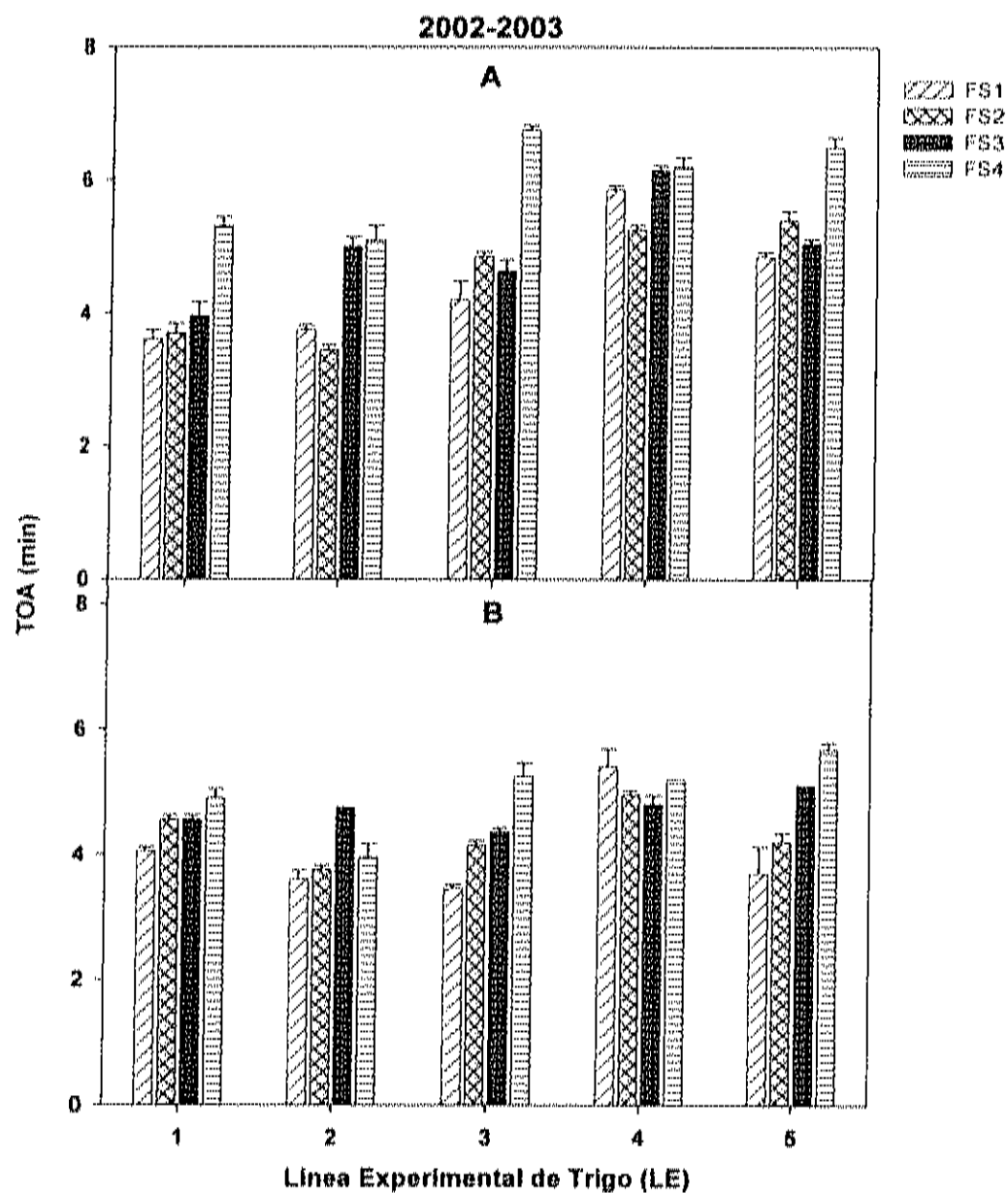
En cuando al efecto que presentó la interacción FSxER (Cuadro 9, pag. 80) sobre este parámetro se puede observar que al contrastar las FS 3 y 4 en el ER 2 vs FS 3 y 4 en el ER 3, se encontró que el TOA fue un 8.2 % mayor cuando se aplicó el ER2; por otro lado al comparar las FS tempranas (FS 1 y 2) en ambos esquemas de riego contra las tardías (FS 3 y 4) se observó que el TOA fue un 15.8 % más prolongado para las fechas tardías, sin embargo las

diferencias observadas de los TOA entre los ER fueron más pequeñas que las aportadas por la FS.

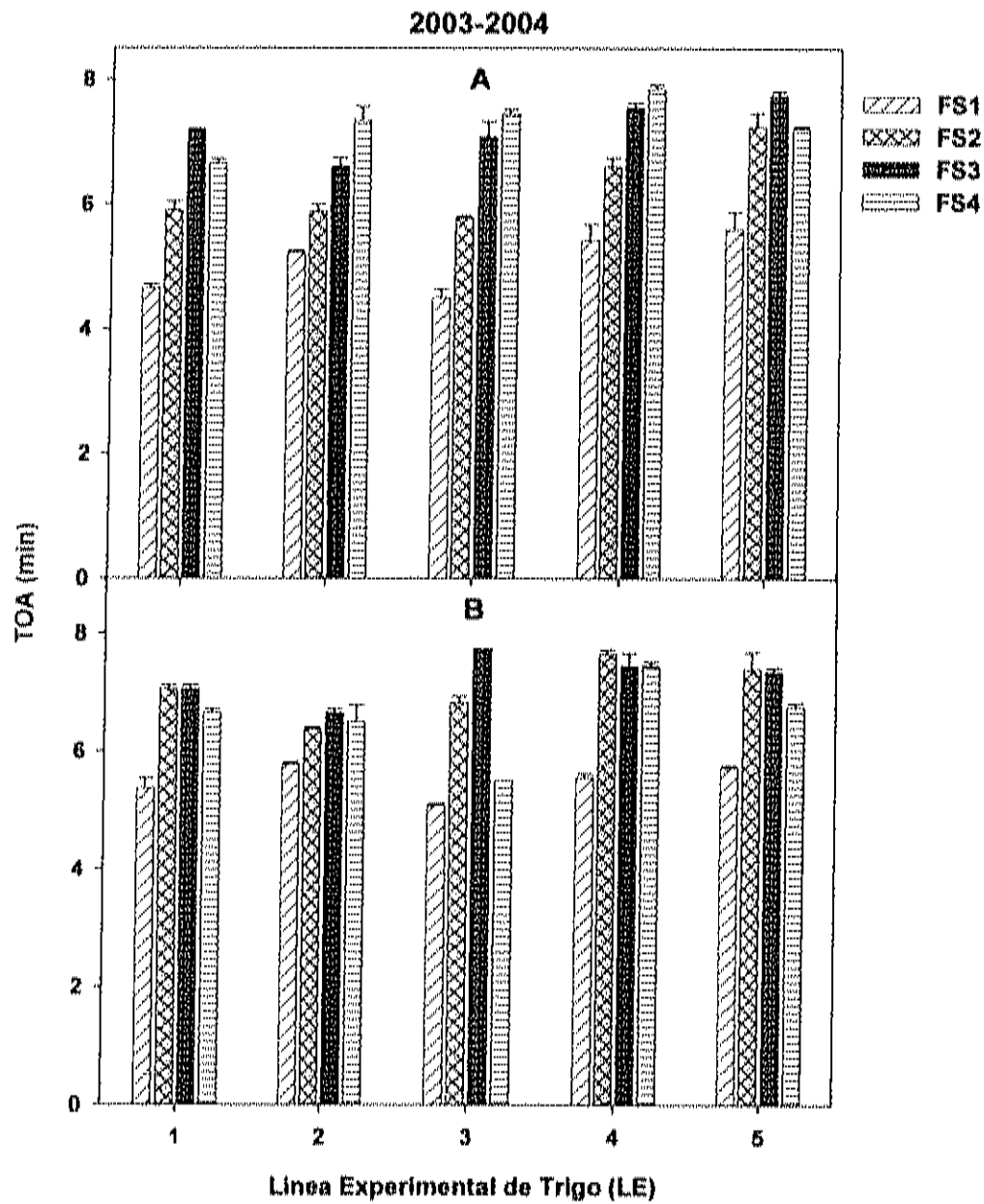
Se puede observar en general que los TOA que presentaron las diferentes LE son buenos, sin embargo en el segundo ciclo de cultivo los TOA fueron muy prolongados, ya que para trigos panaderos se requiere que el TOA se encuentre entre 3.0 y 4.5 min. Las harinas de trigo para galletas requieren de TOA menores ya que son harinas con menos fuerza. Se ha reportado que las harinas que presentan tiempos mayores a los 6 min indican que una harina es fuerte y que puede crear una masa rígida, poco flexible, sin embargo esta podría ser adecuada para la elaboración de pan de horno de leña o corteza de pizza (Cuniberti y Riberi, 2005).

Las diferencias observadas en el TOA de los dos ciclos de cultivo pudieran deberse a que durante el periodo de llenado del grano las temperaturas fueron más altas (aproximadamente 2 °C) para el ciclo 2003-2004 que las del 2002-2003. Varios estudios han reportado que la temperatura tiene fuerte influencia sobre el TOA (Uhlen et al., 2004; Uhlen et al., 1998; Johansson y Svensson, 1998).

Pike y MacRitchie (2004) reportaron que el TOA es un importante parámetro de calidad, así como lo es también para la harina al formar masas que se desarrollen alrededor de ciertos tiempos, ya que si estos son muy prolongados requieren de mayor consumo de energía y por ende representan mayor costo para la industria. Una de sus muestras de trigo duro de invierno (la línea KS96HW94) presentó un TOA demasiado alto (9.8 min). Esto autores relacionaron el exceso de fuerza de la masa con el porcentaje de proteína polimérica total y con la proteína polimérica no extraíble.



**Figura 6.** Tiempo óptimo de amasado (TOA) de las harinas de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2002-2003 en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3).



**Figura 7.** Tiempo óptimo de amasado (TOA) de las harinas de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2003-2004 en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3).

## Fuerza y Extensibilidad de la Masa

Los parámetros evaluados en la prueba de fuerza y extensibilidad de la masa a micro-escala con el analizador de textura TA-XT2 fueron la resistencia a la extensión ( $F_{max-45}$ ), la extensibilidad ( $Ext-45$ ) y el trabajo de deformación de la masa ( $\text{Área-45}$ ). Estos parámetros se evaluaron en masas reposadas por 45 min en una cámara de fermentación (30 °C, 94 % H.R.). Las masas de las LE presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en sus características extensionales en ambos ciclos de cultivo (CC).

Se encontró que para el CC 2002-2003 (Anexo, cuadro 14) la LE5/FS1/ER3 presentó la menor resistencia a la extensión (24.2 g) y el mayor valor de  $F_{max-45}$  (189.4 g) se observó en la LE5/FS4/ER2. En cuanto a la  $Ext-45$ , se obtuvieron valores desde 2.8 cm (LE4/FS3/ER2) a 8.6 cm (LE1/FS4/ER3). El trabajo para deformar la masa fluctuó entre 97.2 gcm (LE4/FS3/ER2) y 1022.7 gcm (LE5/FS4/ER2).

Se observó un comportamiento similar en el CC 2003-2004 (Anexo, cuadro 15), donde los valores de la  $F_{max-45}$  variaron de 29.3 g a 168.3 y correspondieron a las LE2/FS3/ER2 y LE1/FS4/ER2, respectivamente. La masa menos extensible (2.2 cm) se obtuvo con la LE2/FS4/ER2 y la más extensible (7.6 cm) con la LE1/FS2/ER2. En cuanto al trabajo que se requirió para extender la masa hasta romperla ( $\text{Área-45}$ ), se obtuvieron valores de 103.0 a 724.8 gcm y correspondieron a la LE2/FS4/ER3 y LE3/FS1/ER2, respectivamente.

En el Cuadro 5, (pag. 51) se muestran los valores  $F$  de los parámetros reológicos medidos con el analizador de textura TA-XT2. Los factores principales así como las interacciones de LExFS y FSxER tuvieron efecto significativo sobre la  $F_{max-45}$ . En cuanto a la  $Ext-45$ , se observó que tanto las

interacciones como los factores principales, excepto la FS, afectaron significativamente a este parámetro. Por otra parte, el CC, ER y la interacción LExER no tuvieron efecto significativo sobre el Área-45 (Cuadro 5, pag. 51).

En general, se observó que las masas elaboradas con las harinas de las LE sembradas en el CC 2003-2004 presentaron una resistencia a la extensión significativamente mayor que las del CC 2002-2003. La LE 2 presentó la menor Fmax-45 (52.9 g), mientras que la LE 3 fue la mayor en este parámetro (69.3 g). El efecto de la FS sobre éste parámetro fue significativo; las LE sembradas en la FS 4 fueron las que presentaron mayor resistencia a la extensión. Se encontró que las LE sujetas a dos riegos de auxilio (ER 2) presentaron la mayor resistencia a la extensión (70.0 g).

La interacción LExFS (Cuadro 7, pag. 78) sobre la Fmax-45 mostró que la LE 1 excedió en 39.7 % la Fmax-45 de las LE 2 y 4 en las cuatro FS. Al comparar la FS1 vs FS 4 de todas las LE se vió que la Fmax-45 disminuyó un 16.0 % en las masas obtenidas de las LE sembradas en la fecha temprana (FS 1) que en la tardía (FS 4). Se encontró también que al contrastar las FS 1 y 4 vs las fechas intermedias (FS 2 y 3) de las LE 1 y 4, la resistencia a la extensión aumentó un 15.8 % al sembrarlas en las fechas 1 y 4.

Sobre el efecto que mostró la interacción FSxER (Cuadro 9, pag 80) sobre la Fmax-45 se observó que las masas obtenidas de las harinas de las LE sembradas en las fechas 1 y 4 presentaron los valores más altos de este parámetro. Al comparar las FS 3 y 4 bajo el ER 2 vs ER 3 se encontró que la resistencia a la extensión aumentó un 43.4 % al aplicar el ER 2 en vez del ER 3.

Los factores principales fijos LE y ER, así como el factor aleatorio CC presentaron efecto significativo sobre el extensibilidad de la masa a los 45 min de reposo (Ext-45), así como las interacciones LExFS, LExER y FSxER (Cuadro 5, pag. 51).

**Cuadro 5.** Efecto del ciclo de cultivo, línea experimental, fecha de siembra, esquema de riego y su interacción doble sobre el contenido proteico y las mediciones reológicas de la masa.

		<b>Valores de F</b>				
		<b>GL</b>	<b>Mediciones Reológicas</b>			
<b>Factores</b>		<b>CP</b>	<b>TOA</b>	<b>Fmax-45</b>	<b>Ext-45</b>	<b>Area-45</b>
<b>CC</b>	1	392.5*	446.5*	13.1*	88.6*	0.1
<b>LE</b>	4	107.7*	19.9*	2.7*	15.7*	4.1*
<b>FS</b>	3	16.6*	57.8*	7.9*	2.0	3.8*
<b>ER</b>	1	34.3*	3.9*	9.0*	9.4*	2.8
<b>LExFS</b>	12	1.5	0.9	2.2*	2.9*	2.7*
<b>LExER</b>	4	1.2	3.3*	1.2	2.9*	2.1
<b>FSxER</b>	3	9.6*	8.3*	9.7*	4.9*	4.1*

\* =  $p \leq 0.05$ ; CC = ciclo de cultivo; GL = grados de libertad; LE = línea experimental; FS = fecha de siembra; ER = esquema de riego; CP= contenido de proteína; Fmax-45 = resistencia máxima a los 45 min de reposo; Ext-45 = extensibilidad a los 45 min de reposo; Área-45 = trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo; TOA = tiempo óptimo de amasado en el mixógrafo.



Las masas elaboradas con las LE del CC 2002-2003 fueron significativamente más extensibles que las del CC 2003-2004 ( $p < 0.05$ ). Por otra parte, la LE 1 presentó la mayor Ext-45 y las LE 4 y 5 fueron las menos extensibles. La extensibilidad de las masas de todas las LE, excepto la LE 2, fue menor cuando se le aplicó el ER 2.

La interacción LExFS fue significativa sobre la Ext-45 (Cuadro 7, pag. 78). Al contrastar la LE 1 vs LE 2 y 4 en todas las fechas de siembra ésta fue mayor en este parámetro un 38.3 %. Por otro lado, al comparar las LE 1 y 2 vs LE 3 y 5 en todas las FS se encontró que las LE 3 y 5 tuvieron un aumento del 23.3 % en la extensibilidad de las masas. Las LE 1 y 2 sembradas en la FS 2 fueron más extensibles un 24.2 % que si éstas se siembran en la FS 3.

En cuanto al efecto que presentó la interacción LExER sobre la Ext-45 (Cuadro 8, pag. 79) se encontró que las LE 1 y 2 vs LE 3 y 5 aplicándoles el ER2, las dos primeras LE presentaron un 31.2 % más de extensibilidad; mientras que al contrastar las LE 1 y 2 vs LE 4 en ambos esquemas de riego se observó un aumento del 163.6 % en las LE 1 y 2. Se observó que todas las LE, excepto la LE 2, presentaron mayor extensibilidad cuando se sometieron al ER 3, sin embargo la influencia del ER fue mucho menor que la de la LE.

Al realizar el ANOVA se encontró que los factores principales LE y FS (fijos ambos), así como las interacciones LExER y FSxER presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el trabajo de deformación de la masa reposada a los 45 min (Área-45), lo cual se puede observar en el Cuadro 9. El mayor efecto sobre este parámetro lo aporta la LE en comparación con el resto de los factores principales. En promedio las LE 1 y 3 produjeron las harinas más fuertes, en cuanto al efecto de la FS se encontró que las LE que originaron las masas más débiles fueron las de la FS 3, excepto la LE 5, y las más fuertes las de las FS 1 y 4.

El efecto que presentó la interacción LExFS sobre el Área-45 fue

significativo (Cuadro 7, pag. 78); al comparar la LE 1 vs LE 2 y 4 en las cuatro fechas de siembra, ésta presentó un aumento de 33.5 % en este parámetro. Al contrastar la LE 3 vs LE 5 en todas las fechas de siembra, la primera superó en un 23.7 % el Área-45 de la LE 5; mientras que al comparar la LE 3 en las fechas tempranas de siembra (FS 1 y 2) vs las tardías (FS 3 y 4) aumentó un 40.8 % al sembrarla en las FS 1 y 2, con lo que se observó que las fechas de siembra tempranas favorecen a este parámetro reológico.

El efecto de la interacción FSxER sobre el Área-45 se observa en el Cuadro 9 (pag. 80). Al contrastar las FS 3 y 4 aplicando el ER 2 vs el ER 3 se encontró que bajo el ER 2 aumentó el Área-45 un 24.0 %; por otro lado al sembrar en la FS 2 bajo el ER 2 también presentó mayor valor en este parámetro en comparación con el ER 3.

Discusión general de las propiedades reológicas. El clima durante el ciclo del cultivo y especialmente en la etapa de floración, formación y llenado del grano, cumple una función relevante en las características de la calidad del trigo. Las diferencias presentadas tanto en el TOA como en los parámetros de fuerza y extensibilidad de la masa entre ciclos de cultivo en las diferentes LE fueron principalmente debidas a las fluctuaciones climatológicas, principalmente a la temperatura, ya que para el periodo 2002-2003 este factor fue menor y para el siguiente ciclo se registró un aumento de temperatura que pudo haber favorecido al aumento de síntesis de las proteínas de almacenamiento del trigo (gliadinas y gluteninas), lo cual se reflejó en las masas obtenidas de las harinas del ciclo 2003-2004, ya que estas presentaron valores más altos de TOA, así como la Fmax-45 y el Área-45. En cuanto a la Ext-45, se observó una disminución con dicho CC. Se ha reportado que los parámetros de Fmax y el TOA presentan fuerte asociación con la calidad proteica y calidad panadera (Zhu y Khan, 2001; Uhlen et al., 1998).

En general, se observó que la FS 1 favoreció al TOA y a la Ext-45, ya

que las masas de las harinas de las LE requirieron menos tiempo de amasado para lograr el desarrollo de la masa y aumentaron la extensibilidad de las mismas; por otra parte las FS 1 y 4 propiciaron el aumento de la resistencia máxima y el trabajo de deformación de la masa. Esto pudiera atribuirse a que al llegar a la etapa de espigado y madurez fisiológica, etapa en que se realiza la síntesis de la materia seca del trigo las condiciones ambientales, en especial la temperatura favorecieron a mejorar las propiedades reológicas evaluadas. Se registró que los rangos mínimos y máximos de temperaturas al que estuvieron sometidas las plantas de las LE sembradas en la FS 1 oscilaron entre 7.43-29.44 °C para el CC 2002-2003 y de 7.60-31.02 °C para el del 2003-2004, mientras que para la FS 4 éstas se encontraron entre 8.43-31.57 °C en el primer CC y en el segundo fueron de 11.52-31.63 °C (Anexo, cuadro 11). Las temperaturas registradas durante la etapa del llenado del grano (fase en la que la planta esta en su máxima actividad fisiológica y es más susceptible a los factores ambientales a los que se exponga) indican que las LE no fueron sometidas a estrés por calor al ser sembradas en esta FS.

La temperatura en particular induce una serie de cambios en la fisiología de la acumulación de reservas en el grano, lo cual está relacionado con su contenido proteico, propiedades reológicas y calidad panadera. El determinar la fecha de siembra es de suma importancia ya que de ello podrían depender las condiciones ambientales a las que se enfrente el cultivo durante su desarrollo vegetativo, principalmente en el periodo de maduración (donde se da el llenado del grano), ya que existen reportes de que cuando se somete el cultivar a condiciones de temperatura extremas (>35 °C) las propiedades reológicas de las masas se ven disminuidas, lo cual se ha asociado al detrimento en la síntesis de las proteínas de reserva del grano (Altenbach et al., 2003; Blumental et al., 1993; Stone y Nicolas, 1994; Ciaffi et al. 1996).

En general el ER 3 favoreció el TOA y la Ext-45; mientras que el ER 2 favoreció a la Fmax-45 y el Área-45, sin embargo, las diferencias observadas

entre los ER fueron muy pequeñas. Se registraron diferencias significativas en cuanto a los mm de lluvia entre ciclos de cultivo, ya que para el CC del 2002-2003 llovió sólo 35.81 mm y para el periodo del 2003-2004 la lluvia fue de 198.89 mm. Podría atribuirse el aumento del CP, del TOA y la Fmax en el CC 2003-2004 a que tanto la temperatura como la disponibilidad de agua que tuvieron las plantas fueron superiores con respecto al CC 2002-2003 y propiciaron el aumento en la acumulación de la materia seca y de forma inversa disminuyó el rendimiento por hectárea de ese CC (datos no mostrados). Esto demuestra que pese a las condiciones climatológicas las LE cuentan con la información genética necesaria para generar trigos de buena calidad panadera, ya que las LE analizadas en este estudio en general mostraron tener buenas propiedades reológicas y producir pan de buen volumen, excepto la LE 3 que presentó un volumen de pan inferior a 180 cm<sup>3</sup>.

#### Composición Proteica de las Harinas

El porcentaje de la proteína polimérica total (PPT) de las muestras de los ciclos de cultivo 2002-2003 y 2003-2004 así como el contenido de gliadinas (Gli) y albúminas/globulinas (A-G), se muestran en el Anexo (Cuadro 16 y 17).

En el CC 2002-2003, el porcentaje de PPT varió de 41.6-46.0%. La harina proveniente de la LE5/FS1/ER2 mostró el menor valor de PPT y la LE4/FS3/ER2 el mayor. Por otra parte, la PPT para el segundo CC osciló entre 39.2 a 44.1%, siendo las muestras LE3/FS3/ER2 y LE4/FS4/ER2 las de menor y mayor porcentaje, respectivamente.

El porcentaje de Gli en el CC 2002-2003 varió de 41.0 a 46.2%, siendo la de menor contenido de Gli la muestra LE4/FS3/ER2 y la de mayor la LE5/FS1/ER2. Para las muestras del ciclo 2003-2004 los valores oscilaron

entre 40.6-47.6%; la harina con el valor mínimo se obtuvo de la LE4/FS1/ER2 y el máximo de la LE1/FS4/ER3.

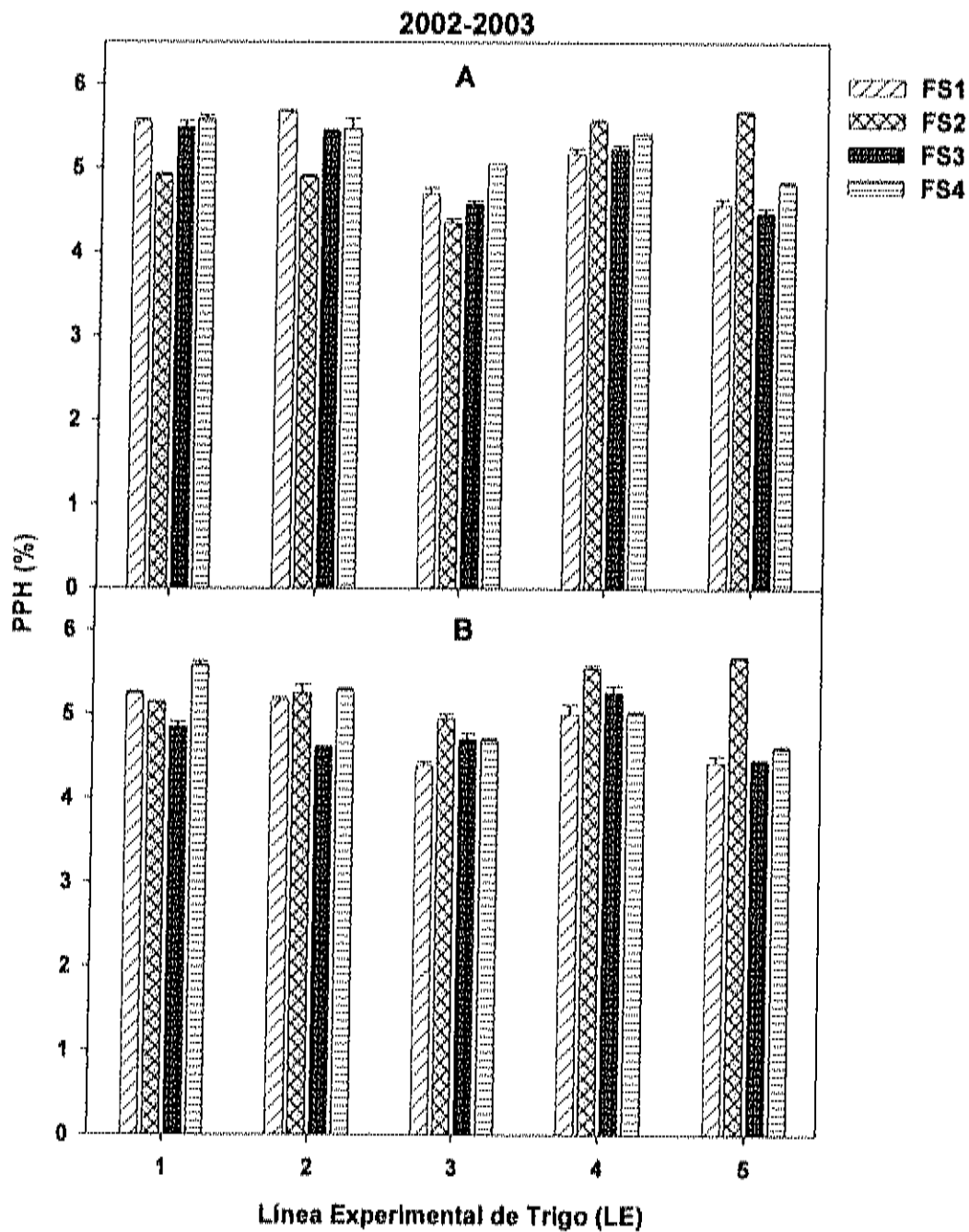
En cuanto a las A-G, en el ciclo 2002-2003 el contenido varió de 9.5-14.5%, correspondiendo el menor valor a la muestra LE4/FS1/ER2 y el máximo a la LE5/FS2/ER2. En el ciclo 2003-2004 las A-G variaron de 10.4-17.1%, donde el menor contenido de esta proporción se observó en la LE1/FS4/ER2 y el mayor en la LE4/FS1/ER3.

Las LE mostraron diferencias cuantitativas en la relación gluteninas/gliadinas y en la proporción de las proteínas poliméricas. Estas variaciones son importantes debido a que la relación entre las proteínas del gluten y la distribución del tamaño de las proteínas poliméricas afecta los atributos de calidad.

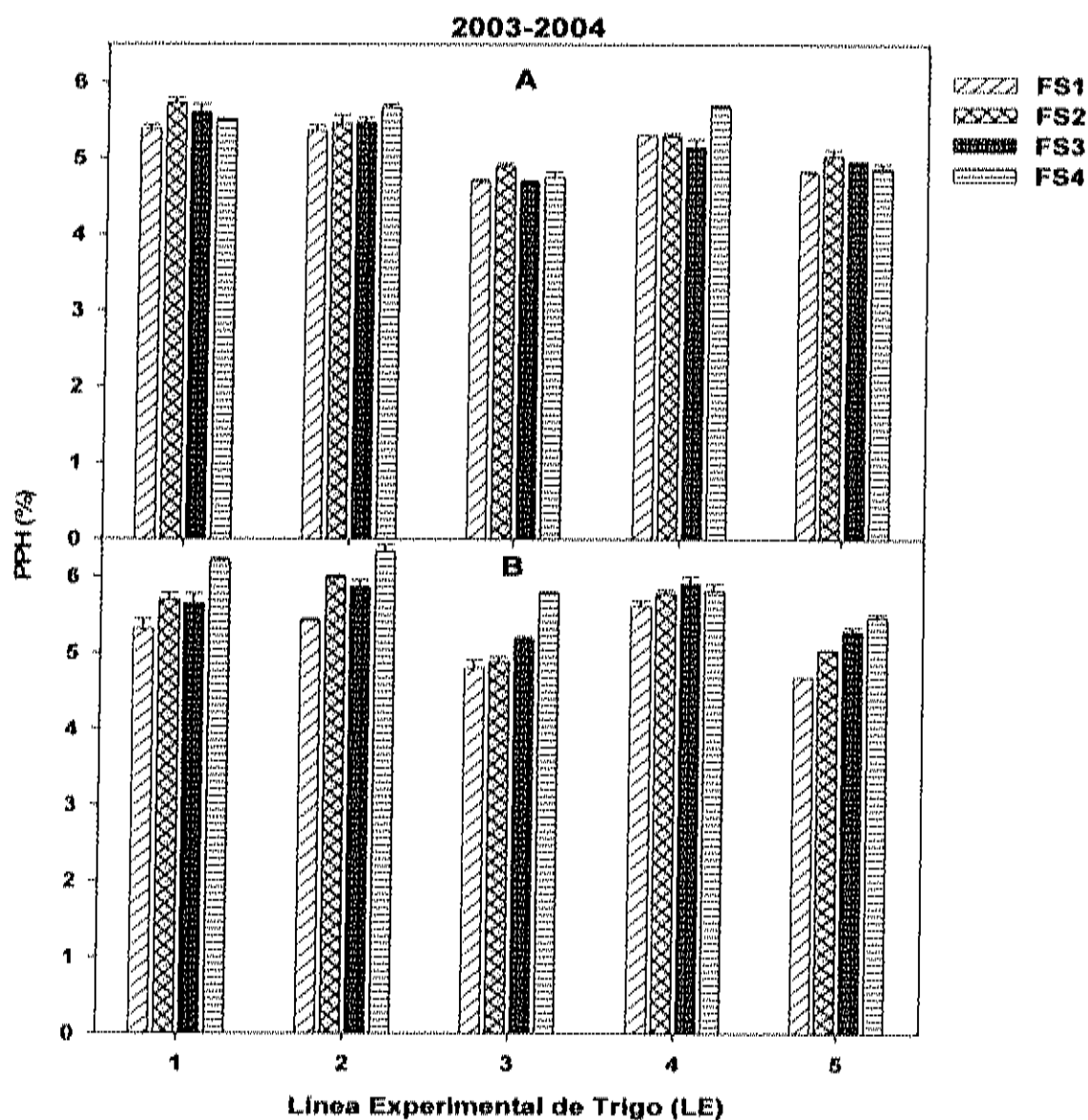
Los valores obtenidos de las fracciones proteicas de suma importancia para la calidad panadera (porcentaje de proteína polimérica total (PPT), las proporciones de proteína polimérica no extralible en la harina (PPNEH) y en la proteína polimérica total (PPNET)) se muestran en las Figuras de la 8-13.

El porcentaje de PPH en la harina fluctuó de 4.4-5.7 % en el ciclo de cultivo 2002-2003, el valor menor se encontró en la LE3/FS2/ER2 y el mayor en la LE5/FS2/ER3 (Fig. 8). En el ciclo 2003-2004 los valores oscilaron entre 4.7-6.3 %, en la LE3/FS3/ER2 se observó el valor más bajo, mientras que los mayores en las LE2/FS4/ER3 (Fig. 9).

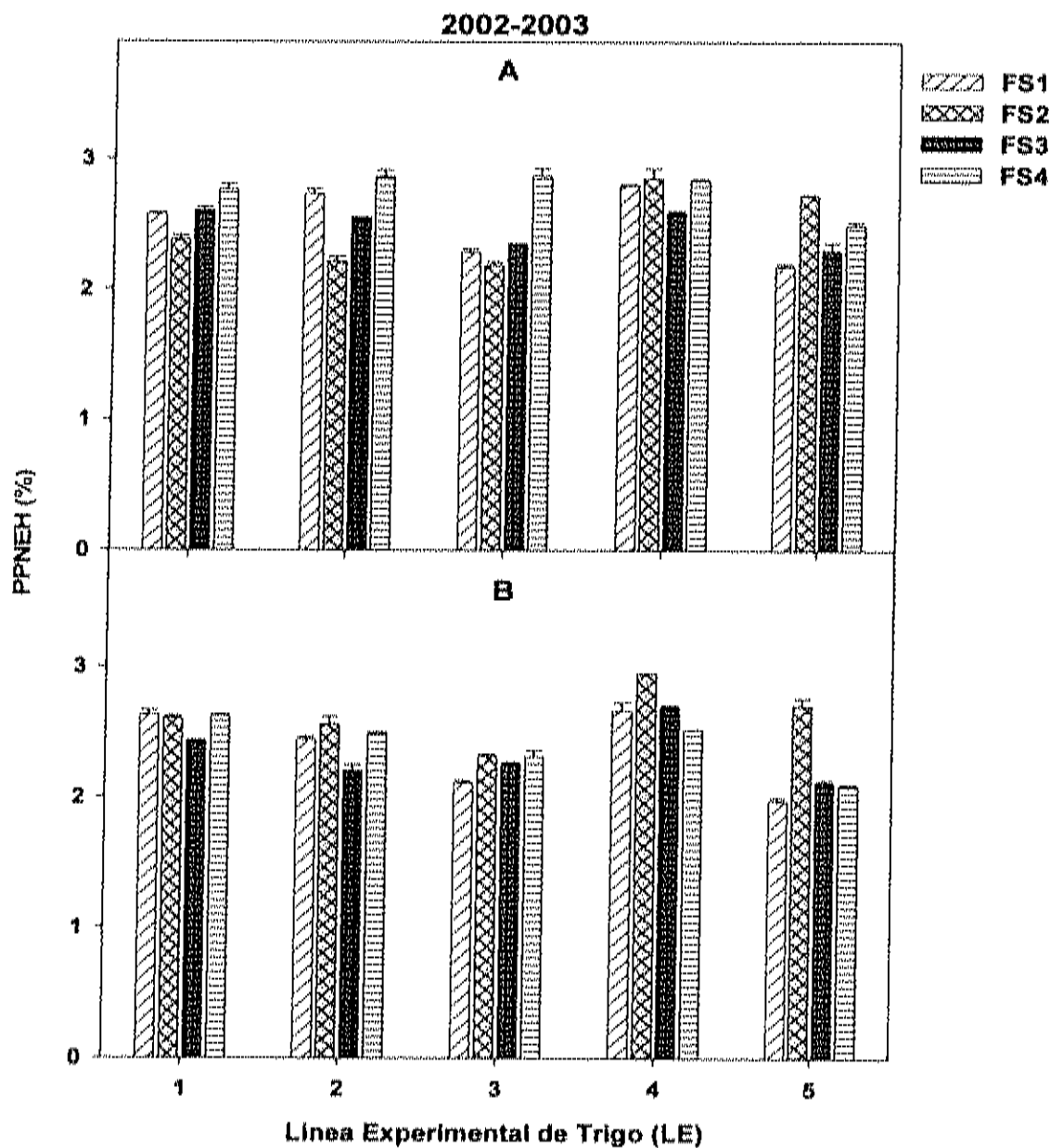
Los resultados de la PPNEH se muestran en las Figuras 10 y 11. El menor porcentaje de PPNEH en las muestras del ciclo 2002-2003 lo presentó la harina de la LE5/FS1/ER3 (2.0 %) y el mayor valor se encontró en la LE4/FS2/ER3 (3.0 %).



**Figura 8.** Porcentaje de proteína polimérica en la harina (PPH) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)

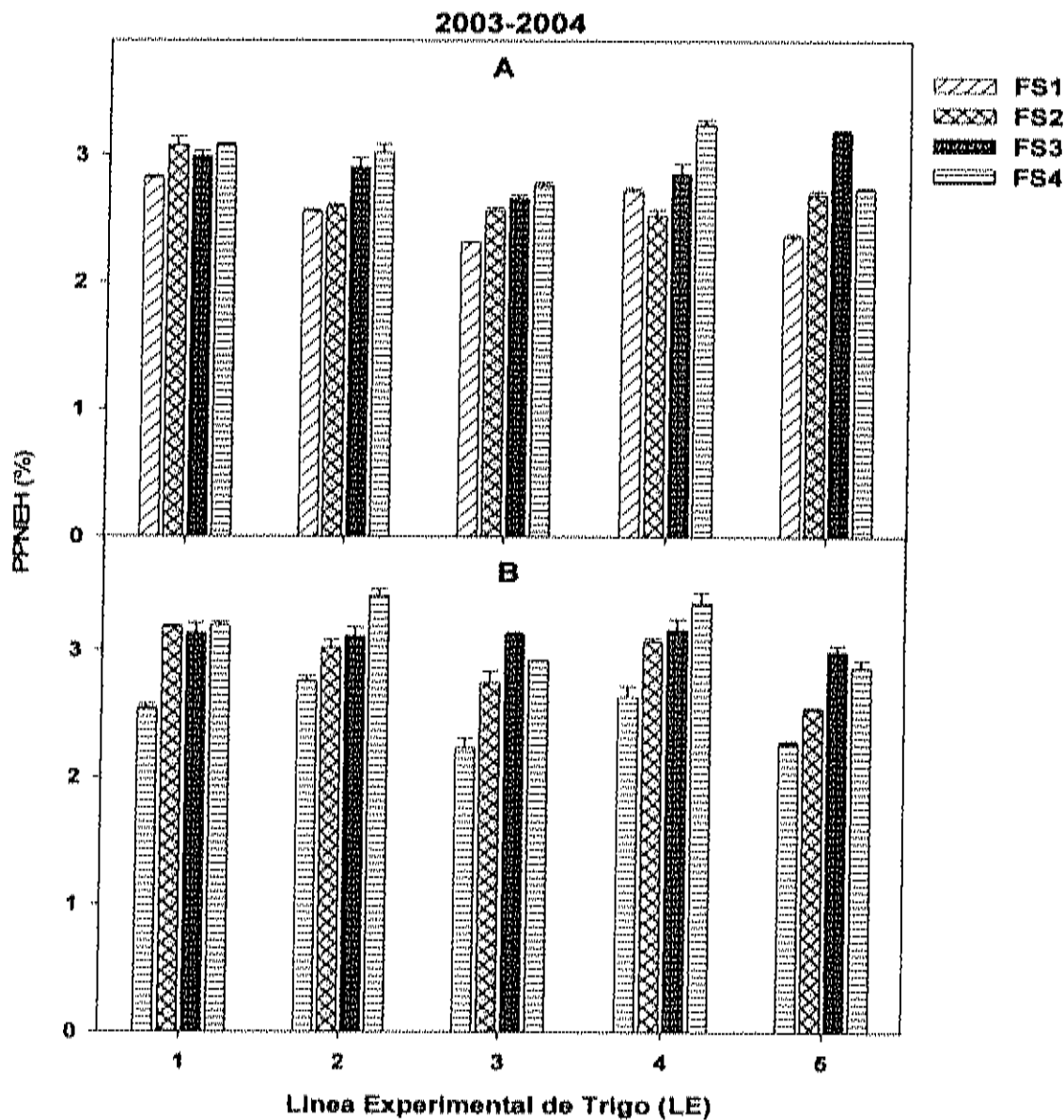


**Figura 9.** Porcentaje de proteína polimérica en la harina (PPH) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)



**Figura 10.** Proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina (PPNEH) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)





**Figura 11.** Proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina (PPNEH) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)

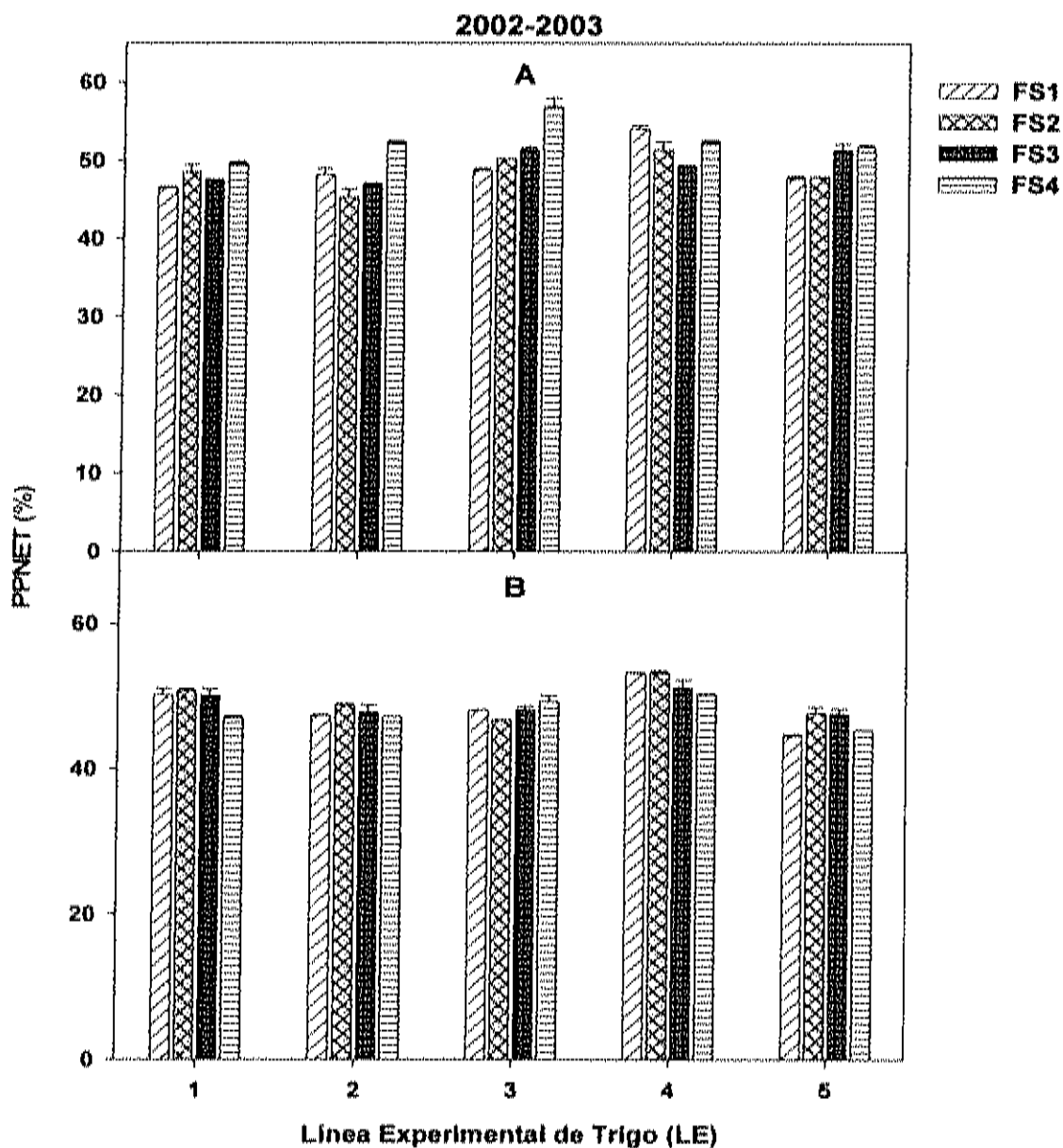
En cuanto al ciclo de cultivo siguiente, la línea que presentó el menor contenido de PPNEH fue la LE3/FS1/ER3 y el mayor en la LE2/FS4/ER3 con valores que oscilaron entre 2.2 % y 3.4 %, respectivamente.

La PPNET se reporta en las Figuras 12 y 13. Los valores obtenidos en el ciclo de cultivo 2002-2003 así como los del 2003-2004 oscilaron entre 44.5-56.8% y 46.5-64.1% respectivamente, correspondiendo a estos valores extremos: para el primer ciclo la harina de la LE5/FS1/ER3 para el menor y la mayor en la LE3/FS4/ER2; mientras que para el segundo CC se encontró la de menor contenido en la LE3/FS1/ER3 y la que presentó más proporción de esta fracción se encontró en la LE5/FS3/ER2.

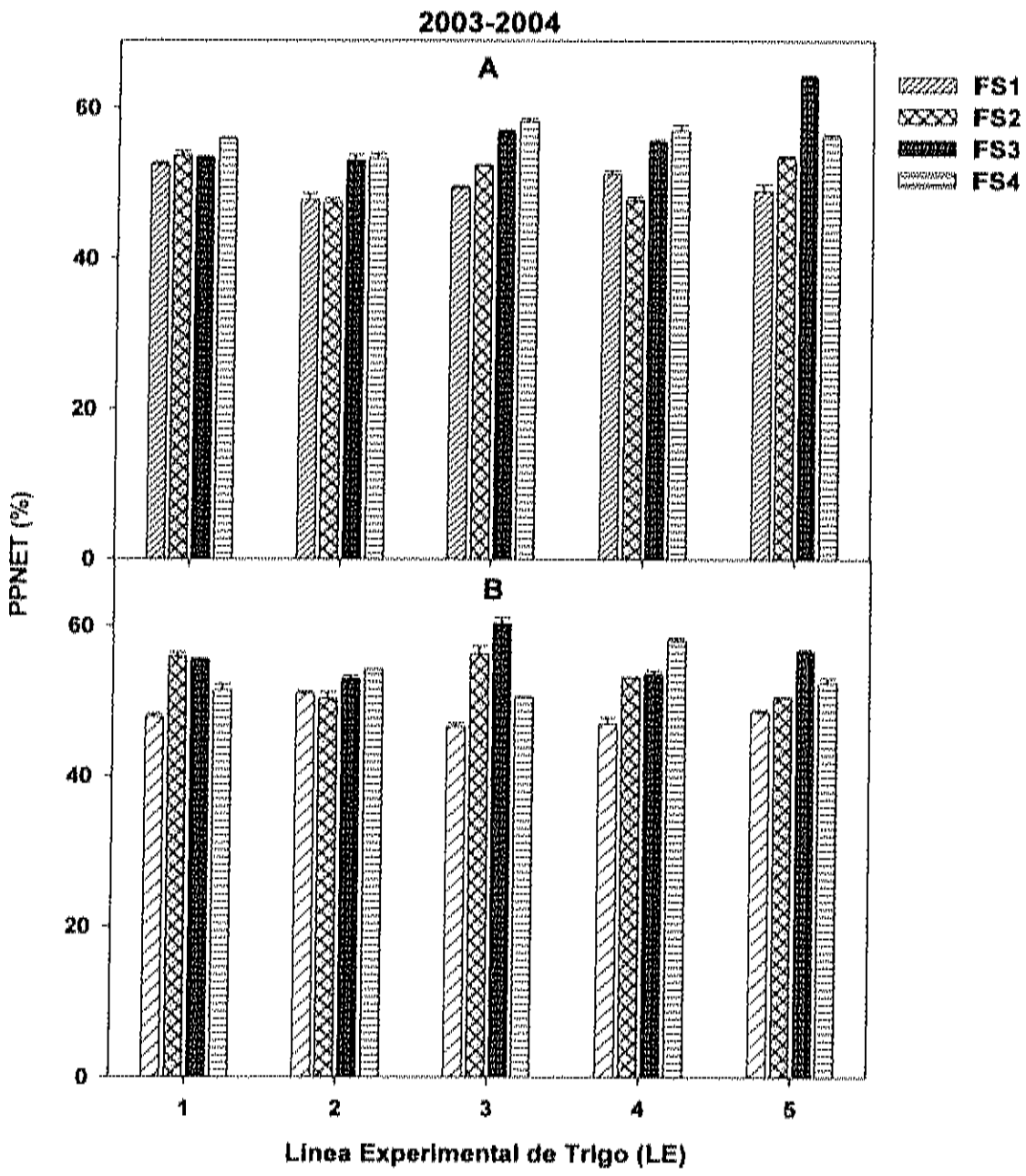
La variación entre el contenido proteico de ambos ciclos de cultivo fue significativa, esto pudiera deberse a los cambios ambientales que se dieron en cada periodo. En cuanto a la PPT se observó mayor contenido de ésta en el ciclo 2002-2003 en comparación con el 2003-2004, mientras que para las fracciones de Gli, A-G, PPH, PPNET, PPNEH se encontró un aumento en el segundo ciclo de cultivo, por lo que se asume que las condiciones ambientales del segundo CC modificaron la distribución de los pesos moleculares de las proteínas de trigo.

Los valores obtenidos de las fracciones proteicas en ambos ciclos de cultivo, se encuentran dentro de los rangos reportados por distintos autores para los trigos panaderos (Larroque et al., 1999, Johansson et al., 2002, Pike y MacRitchie, 2004 e Islas-Rubio et al., 2005).

En el Cuadro 6 (pag. 74) se muestran los valores de  $F$  y la significancia de los factores principales y sus interacciones sobre la composición proteica. El efecto (aleatorio) del ciclo de cultivo fue el que tuvo mayor significancia en la mayoría de las fracciones proteicas analizadas. Los factores fijos que fueron manipulados durante el experimento, LE, FS y las interacciones LExFS, LExER y FSxER, mostraron diferencias significativas importantes en la mayoría de las fracciones proteicas evaluadas.



**Figura 12.** Proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total (PPNET) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2002-2003 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)



**Figura 13.** Proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total (PPNET) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2003-2004 cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)

Estos resultados coinciden con los reportados por Zhu y Khan (2001), quienes encontraron que tanto el cultivar como el ambiente (temperatura durante el llenado del grano) tuvieron fuerte efecto en la composición proteica. Con estos resultados se observa que la tendencia que presentan las harinas de las LE aquí estudiadas es que están dentro de los rangos necesarios para lograr pan de buena calidad. También se constató el efecto que tiene tanto la FS como el ER en la composición proteica de las LE.

Se encontró que para la PPT tanto el CC como la LE y FS así como la interacción de los factores principales LExER presentaron efecto significativo sobre esta fracción proteica. En general, la LE 4 mostró el mayor contenido de PPT, así como el retrasar la FS, es decir sembrar en épocas tardías (FS 3 y 4) favoreció a que la síntesis de ésta aumentara. El ER no presentó efecto significativo sobre el contenido de la PPT. Al evaluar el efecto de la interacción LExFS (Cuadro 7, pag. 78) se observó que a pesar de tener efecto significativo éste fue muy pequeño, ya que al aplicar los contrastes planteados no se observaron diferencia entre ellos, esto nos podría sugerir dicha interacción presentó significancia por el alto efecto que tiene por sí sola la LE, y que depende principalmente de las características genéticas de las LE.

En cuanto a las Gli se encontró que sólo los factores principales CC, LE, FS y ER tuvieron efecto significativo. Al comparar las LE se observó que la LE 4 presentó el menor contenido de Gli, mientras que la LE 1 fue la mayor, excediendo en un 2 % a la LE 4. Se vió que si las LE se siembran en las fechas tardías (3 y 4) el contenido de esta fracción aumenta, por lo que se puede deducir que las condiciones climáticas, principalmente la temperatura favoreció la síntesis de Gli al sembrarlas más tarde, así como la disponibilidad de agua que tuvo la planta durante el periodo de reproducción y maduración. En contraste con las Gli, las A-G se favorecieron al sembrar las LE en fechas tempranas (FS 1 y 2), sin embargo se ha reportado que estas no juegan un papel importante sobre la calidad panadera de las harinas de trigo (Badui, 1999; Shewry y Tatham, 1997; Wrigley y Békés, 1999; MacRitchie, 1999).

En relación a la PPH, los factores principales analizados tuvieron efecto significativo sobre esta fracción proteica, se encontró que tanto el CC como la LE presentaron fuerte efecto significativo muy similar. Por otra parte, tanto la FS, el ER y la interacción de los factores LExFS presentaron también efecto significativo sobre esta variable. Al evaluar el efecto de la LE se encontró que las LE 1, 2 y 4 presentaron la mayor cantidad de PPH (5.0-5.4 %). Las FS 4 y 2 tuvieron un efecto positivo sobre este parámetro ya que favoreció la síntesis de esta.

Se puede observar en el Cuadro 7 (pag. 78) el efecto de la interacción LExFS sobre la PPH. Al contrastar las LE 1 y 2 vs LE 3 y 5 en todas las fechas de siembra se observó que las LE 1 y 2 fueron mayores en un 6.9 % en esta fracción proteica. Por otro lado, al comparar las LE 1 y 2 vs LE 3 y 4 en las FS 1 y FS 4 se encontró que para el primer contraste la PPH fue inferior un 5.4 % para las LE 1 y 2 en comparación con las LE 3 y 4, sin embargo al comparar dichas LE en la fecha de siembra tardía (FS 4) se observó que ésta fracción fue superior en un 14.1 %. Al comparar la PPH de las LE sembradas en la FS 1 contra la FS 4 se vio que al sembrar en la FS 1 la PPH fue un 13.4 % menor en comparación con las sembradas en la FS 4, mientras que al evaluarlas en las FS intermedias (2 y 3) se encontró que para la FS 2 el valor fue un 2.9 % superior. Por otra parte, al evaluar el efecto de las FS 1 y 2 vs FS 3 y 4 sobre la LE 3 se encontró que al sembrarla en las primeras dos fechas la PPH fue inferior en un 4.8 %. La FS 4 favorece un mayor porcentaje de proteína polimérica en la harina de las LE 1-3 y el haber sembrado a las LE 4 y 5 en la FS 2 favoreció la síntesis de esta fracción proteica.

Para la PPNEH se vio que el CC, LE, FS así como las interacciones LExFS y FSxER tuvieron efecto significativo, encontrándose que el factor aleatorio CC fue el que presentó mayor significancia, enseguida de éste la LE y la FS. Las LE sembradas en el ciclo 2003-2004 presentaron mayor contenido del PPNEH, siendo la LE 4 la que presentó el mayor contenido de esta fracción proteica (2.8 %), mientras que la LE 3 fue la que tuvo un valor menor de este importante parámetro. Se observó un incremento en la PPNEH al sembrar las LE en fechas tardías. No se encontraron

diferencias significativas sobre esta fracción proteica al aplicar a las LE dos o tres riegos de auxilio.

Al evaluar el efecto de la interacción LExFS sobre la PPNEH (Cuadro 7, pag. 78) se encontró que LE 1 y 2 vs LE 3 y 5 en todas las FS, las dos primeras LE excedieron en un 10.0 % el contenido de la PPNEH de las LE 3 y 5. Al contrastar al mismo grupo de LE pero en la FS 1 se obtuvo un valor mayor (18.5 %) para las LE 1 y 2 y se vió el mismo comportamiento al evaluar las LE en la FS 4 presentado éstas mayor proporción (12.2 %) en la PPNEH. Sobre las fechas de siembra tempranas vs las tardías (FS 1 vs FS 4) de las LE 1 y 2 se observó una disminución del 7.9 % de la PPNEH en la FS 1; se encontró un comportamiento similar para el resto de las LE ya que al compararlas en las FS 1 y 4 se vió que esta fracción proteica fue inferior en un 11.8 % cuando las LE fueron sembradas en la FS1 y al evaluar el comportamiento de la LE 3 en las FS 1 y 2 vs FS 3 y 4 las últimas dos FS superior en un 11.6 % a la PPNEH.

En el Cuadro 9 (pag. 80) se puede observar el efecto que tuvo la interacción FSxER sobre la PPNEH. Al comparar las FS 1 y 2 vs FS 3 y 4 en ambos ER se obtuvo un valor menor (6.7 %) al sembrar en las dos primeras fechas; sin embargo no se observaron diferencias significativas en el contenido de esta fracción proteica al aplicar dos o tres riegos de auxilio en las diferentes FS.

En el caso de la PPNET tanto los factores principales CC, LE, FS y ER cómo sus interacciones dobles presentaron efecto significativo. Se encontraron diferencias significativas entre la PPNET de las LE sembradas en los dos ciclos de cultivo, siendo las harinas de los trigos del período 2003-2004 las que tuvieron un 3.7 % más de PPNET. Entre las LE existieron diferencias significativas sobre el contenido de esta variable; en promedio la LE 4 mostró el mayor valor de la PPNET (52.3 %), mientras que la LE 2 fue la que tuvo el menor valor (49.5 %). Se vio que las LE sembradas en la FS 4 presentaron el mayor contenido de esta fracción proteica así como el aplicar el ER 2.

El efecto de la interacción LExFS sobre la PPNET se muestra en el Cuadro 7. Al contrastar todas las LE en las FS 1 vs FS 4 así como en las FS 2 vs FS 3 se observaron valores menores en un 6.6 % y 4.0 % al ser sembradas en las fechas 1 y 2 en comparación con las FS 3 y 4, por lo que al sembrar las LE en fechas tardías favoreció a la PPNET. Por otro lado, al comparar la LE 3 sembradas en fechas tempranas (FS1 y 2) vs las tardías (FS 3 y 4) se vio que las dos últimas proporcionaron un mayor contenido de la PPNET, comportamiento que se presentó en el resto de las LE. En cuanto al efecto que presentó la LExER (Cuadro 8, pag. 79) los contrastes planteados para este estudio no fueron significativos, pero se observó que las diferencias entre ambos ER fueron muy pequeños entre las LE.

Al contrastar las FS 3 y 4 aplicando 2 y 3 riegos de auxilio (Cuadro 9, pag. 80) ésta fracción proteica aumentó un 4.2 % cuando se aplicó el ER 2 en ambas FS y al contrastar las FS 1 y 2 vs FS 3 y 4 en ambos ER se vio que la PPNET disminuyó un 24.3 % en las fechas de siembra tempranas (FS 1 y 2).

Discusión general de la composición proteica. El análisis de varianza aplicado a las cinco LE que fueron evaluados en dos ciclos de cultivo consecutivos bajo las mismas FS y ER reveló efectos significativos de los factores principales y algunas de sus interacciones para casi todas las fracciones proteicas. En general, el contenido de proteína y de las diferentes fracciones proteicas de las muestras del CC 2003-2004 fueron mayores que las del ciclo anterior. El rendimiento por hectárea disminuyó para el segundo CC (datos no mostrados). Esta relación inversa entre el rendimiento y el contenido de proteína está bien documentada (Tahir et al., 2006; López -Bellido, 1990). La modificación de la composición proteica podría deberse al aumento de la temperatura de aproximadamente 1.5-2.0 °C en el segundo ciclo durante el periodo de llenado del grano. Se observó un aumento tanto en las fracciones de Gli, PPH, PPNEH y PPNET, en donde las tres últimas fracciones están más relacionadas con la Fmax y calidad panadera.



Se observó en general que las fechas tardías (FS 3 y 4) favorecieron la síntesis de las proteínas de reserva del trigo, por lo que atribuimos a que las LE sembradas en las FS 3 y 4 se encontraron en los siguientes rangos de temperatura mínima y máxima (Anexo, cuadro 11) 10.2-31.6 °C para el CC 2002-2003 y de 12.8-31.6 °C para el 2003-2004., por lo que se puede observar que la temperatura afecto positivamente a la composición proteica.

Algunos estudios han reportado que las condiciones ambientales entre ciclos, afectan a la calidad panadera de los trigos debido a la modificación de la síntesis de las diferentes fracciones proteicas relacionadas con la calidad panadera. Estos estudios mostraron que las masas débiles se presentaban en los años en los que la temperatura es muy fría durante el periodo de llenado del grano. Existe evidencia que la fuerza del gluten se incrementa cuando la temperatura durante el llenado del grano esta alrededor de los 30 °C y decrece cuando ésta tiende a subir más de 30 °C, lo cual está asociado con la variación en la composición proteica (Tahir et al., 2006; Rhazi et al., 2003; Altenbach et al, 2002; Randall y Moss, 1990).

En cuanto al efecto que presentó el ER, en general para las Gli y la PPH aplicar el ER 3 favoreció al aumento de su síntesis. Por otra parte, el ER 2 provocó un aumento en la PPT y PPNET, mientras que para la PPNEH no se encontraron diferencias significativas entre los ER. Estos resultados se asocian con las propiedades reológicas de las masas.

Las variaciones ocasionadas por el ER fueron muy pequeñas entre las LE. Se ha reportado que las Gli y las A-G son más sensibles a los requerimientos de agua y a los cambios en temperatura (Triboí et al., 2003). Althenbach et al. (2003) realizaron un estudio bajo condiciones estrictas de temperatura, disponibilidad de agua y fertilizante. Ellos reportaron que al someter a un cultivar a condiciones de sequía, el grano presentó el máximo contenido de agua y peso, se disminuyó la cantidad de almidón y la acumulación de la proteína durante el llenado del grano no se vio afectada.

## Volumen de Pan

La prueba de panificación es de las más importantes para evaluar la calidad panadera de la harina de trigo. La harina de buena calidad panadera se caracteriza por tener alto contenido de proteína y un gluten balanceado. Las harinas de las LE analizadas en ambos ciclos de cultivo presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la calidad panadera. Los valores del volumen de pan para las muestras del CC 2002-2003 oscilaron entre 143.1 y 276.6  $\text{cm}^3$ , correspondiendo estos valores a las LE3/FS1/ER2 y LE4/FS3/ER3, respectivamente (Fig. 14). Para el CC 2003-2004 el menor volumen de pan (163.6  $\text{cm}^3$ ) se observó con la LE5/FS2/ER3 y el mayor (298.3  $\text{cm}^3$ ) con la LE1/FS2/ER3 (Fig. 15).

El análisis de varianza indicó que el efecto de la LE fue mucho mayor que el de los otros factores principales (Cuadro 6, pag. 74) sobre el VP, por lo que se podría asumir que la información genética de las LE determina en mayor medida la calidad panadera de las harinas. Sin embargo, tanto el CC como la FS también tienen efecto sobre el volumen de pan. En cuanto a las interacciones evaluadas, se encontró que las interacciones LExFS y LExER presentaron efecto significativo sobre este importante parámetro.

En promedio, las LE sembradas en el ciclo 2003-2004 presentaron volúmenes de pan mayores que las del ciclo 2002-2003, dato que se puede apreciar en las Figuras 14 y 15. El mayor volumen de pan (252.5  $\text{cm}^3$ ) se obtuvo con la LE 4 mientras que el menor (192.0  $\text{cm}^3$ ) se obtuvo con la LE 3. Se vio que para las LE 1, 2 y 3 el sembrarlas más tarde resultó en harinas que produjeron mayor volumen de pan.

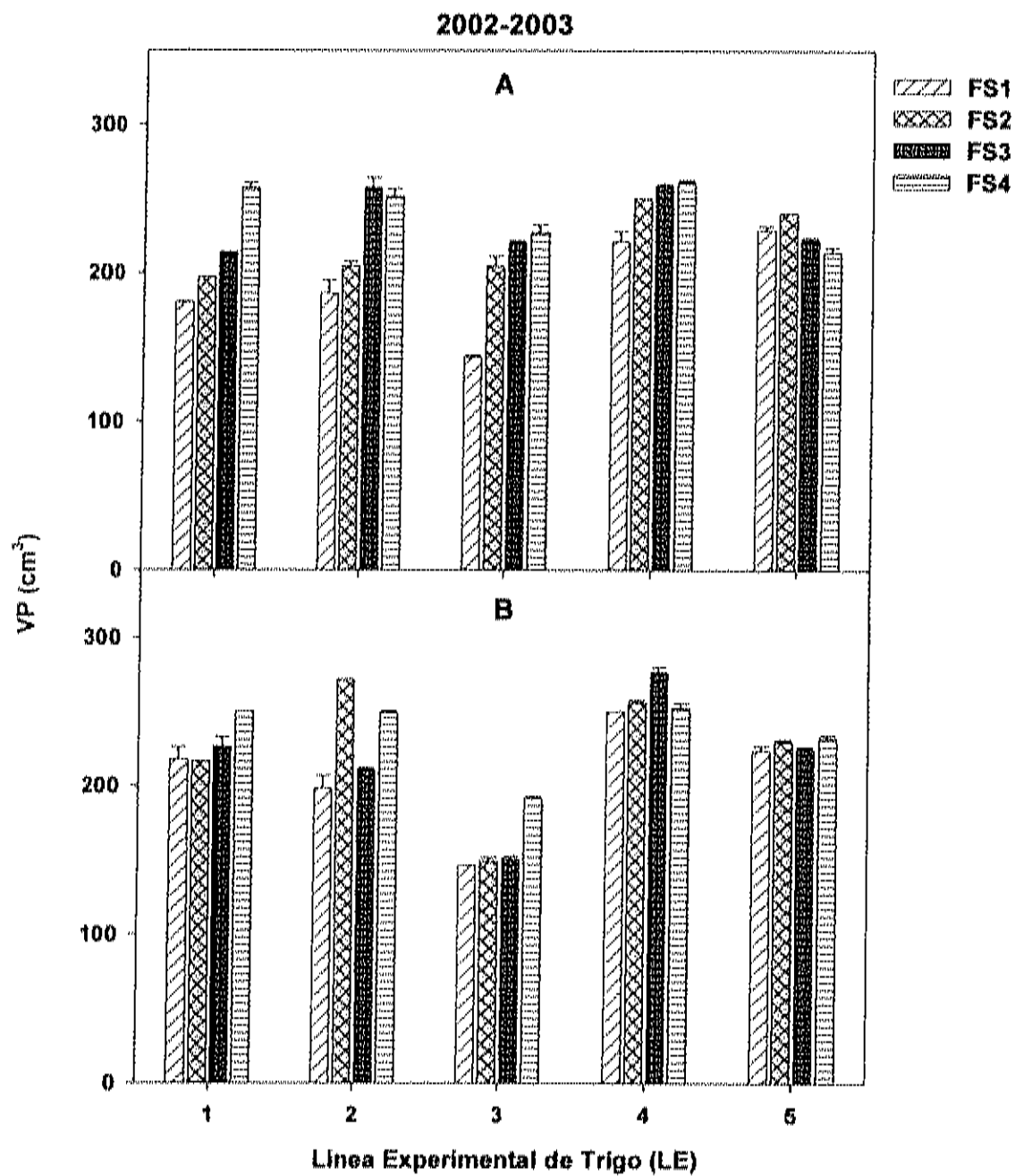
En el Cuadro 7 (pag. 78) se presenta la interacción de los factores LExFS sobre el VP. Al comparar la LE 3 vs LE 5, se observó una disminución

del 13.7 % en la LE 3, mientras que al contrastar las LE 1 y 2 vs 3 y 5 el primer grupo mostró VP superior en un 13.5 %. Por otra parte, al evaluar el efecto que tuvo la FS 1 y 4 sobre el grupo de LE antes mencionadas, se encontró que el VP fue superior en un 12.0 % para la FS 1 y 11.4 para la FS 4 en las LE 1 y 2. Finalmente al comparar la fecha de siembra temprana vs la tardía (FS 1 vs FS 4) se vió una disminución de este importante parámetro del 6.3 % al sembrar las LE en la fecha temprana (FS 1).

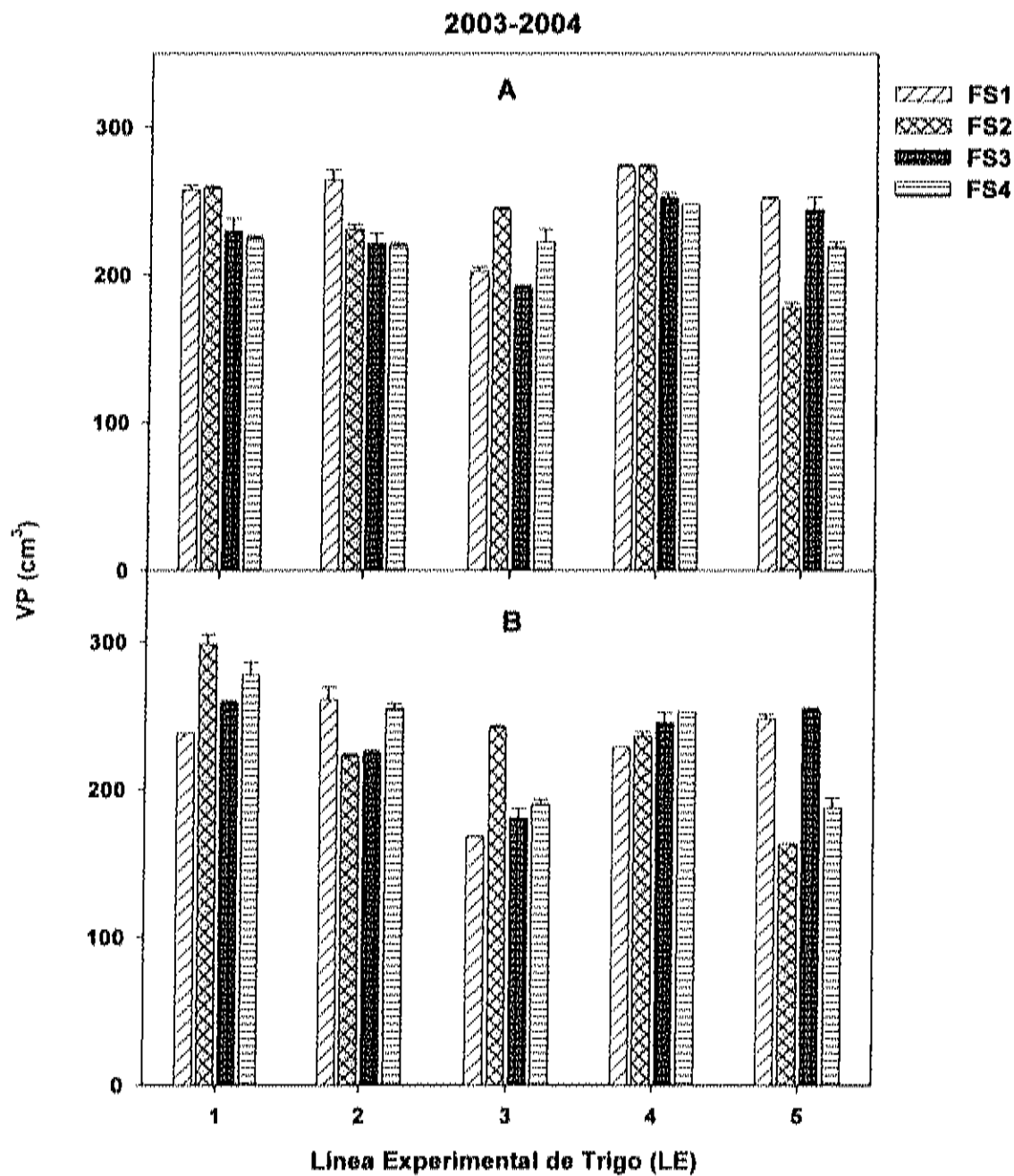
El efecto que tuvo la interacción LExER sobre el VP se puede observar en el Cuadro 8 (pag.79). Al comparar las LE 1 y 2 vs LE 3 y 5 aplicando el ER 2 y el ER 3, el VP aumentó un 5.9 % y 21.9 % respectivamente para cada ER en las LE 1 y 2. Por otra parte, al contrastar las LE 1 y 2 vs LE 4 en ambos ER se vió un aumento del VP en un 46.4 % en la LE 4, mientras que al comparar las LE 3 y 5 vs LE 4 se encontró una disminución sobre este parámetro en un 39.2 % en las LE 3 y 5 en ambos esquemas de riegos.

Discusión general del VP. El volumen de pan se vió afectado por el CC así como por los aspectos genéticos de cada LE, la FS y el ER. Sin embargo, el mayor efecto sobre el VP lo presentó la LE. Se ha reportado que el contenido de proteína total y el de las gluteninas solubles en SDS son mayormente influenciadas por los factores ambientales; mientras que el contenido de proteínas insolubles en SDS y los parámetros evaluados en la prueba de panificación están más controlados por los aspectos genéticos (Zhu y Khan, 2001; Mikhaylenko et al. 2000; Rao et al., 1993), lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Es posible aumentar el potencial panadero al sembrar en las FS 3 y 4 aplicando el ER 2, ya que se vió que bajo este esquema se obtienen los mejores resultados. El VP de las harinas de las LE sembradas en la FS 4 en ambos ER fue mayor que las de las otras FS y no se observó diferencia al aplicar el ER 2 ó el ER3 para esta FS.



**Figura 14** Volumen de pan (VP) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2002-2003, cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)



**Figura 15** Volumen de pan (VP) de las líneas experimentales de trigo (LE) del ciclo 2003-2004, cultivadas en cuatro fechas de siembra (FS), A = bajo el esquema de riego dos (ER2); B = bajo el esquema de riego tres (ER3)

Esto se relaciona con los resultados obtenidos en este estudio tanto en las pruebas reológicas como en composición proteica, y coincide con lo reportado por diversos autores, quienes han estudiado la influencia del ambiente en las propiedades reológicas y las pruebas de panificación en varios cultivares. A mayor contenido y calidad de proteína en la harina de trigo mayor es el VP (Uhlen et al., 2004, 1998; Færgestad et al., 2000; Scripper, 1991).

En general (Anexo, cuadro 18), se observó que la LE 4 tuvo el valor más alto de VP y de las fracciones relacionadas con la calidad panadera, así como también fue la que presentó un gluten mejor balanceado, ya que su resistencia máxima y su extensibilidad estuvieron equilibradas, lo cual se reflejó en el VP y en contraparte la LE 3 presentó el menor VP así como el de las Gli, PPH, PPNEH y PPNET, presentó un gluten desbalanceado ya que a pesar de tener el mayor valor en la resistencia máxima su extensibilidad no fue suficiente para poder obtener pan de buen volumen; mientras que la LE 1 fue la segunda que presentó mayor VP.

Por otra parte (Anexo, cuadro 18), al sembrar en las fechas de siembra tardías (FS 3 y FS 4) fueron las que presentaron el mayor valor del VP así como también el de las Gli, PPH, PPNEH y PPNET. En cuanto al ER al aplicar el ER 3 presentó el mayor valor de VP, sin embargo, las diferencias observadas entre ambos ER fueron muy pequeñas. Se vio que la LE 4 presentó valores de VP muy homogéneos independientemente de la FS y el ER.

#### Correlaciones entre Parámetros de Calidad y las Fracciones Proteicas

Las relaciones entre los parámetros reológicos, fracciones proteicas y volumen de pan se muestran en el Cuadro 10 (pag. 81).

**Cuadro 6** Efecto del ciclo de cultivo, línea experimental, fecha de siembra, esquema de riego y su interacción doble sobre las fracciones proteicas y el volumen de pan.

Factores	Valores de F								
	GL	Composición Proteica						Volumen de Pan	
		PPT	GII	A-G	PPH	PPNEH	PPNET	VP	VE
CC	1	156.2*	33.3*	24.1*	49.7*	129.1*	97.1*	10.5*	2.9
LE	4	11.4*	10.2*	9.0*	41.8*	20.4*	6.3*	30.4*	30.3*
FS	3	4.4*	3.7*	16.2*	11.0*	19.6*	21.1*	2.8*	3.4*
ER	1	2.1	6.6*	4.0*	4.1*	0.04	6.7*	0.4	0.3
LExFS	12	0.7	0.7	0.8	2.7*	1.9*	3.0*	3.1*	2.7*
LExER	4	2.9*	0.8	0.5	0.8	1.6	4.7*	5.1*	4.7*
FSxER	3	1.2	2.4	7.6*	2.6*	4.4*	8.3*	0.2	0.1

\*  $p \leq 0.05$ ; GL= grados de libertad; CC= ciclo de cultivo; LE= línea experimental; FS= fecha de siembra; ER= esquema de riego; PPT= proteína polimérica total, GII= gliadinas, A-G= albúminas y globulinas; PPH=porcentaje de proteína polimérica en la harina; PPNEH= proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina; PPNET= proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total; VP= volumen del pan; VE= volumen específico del pan.

Se observaron correlaciones significativas y positivas entre el contenido de proteína (CP) y el TOA ( $r=0.41$ ), Gli ( $r=0.60$ ), PPH, ( $r=0.81$ ), PPNEH, ( $r=0.74$ ), PPNET, ( $r=0.30$ ); así como también con el volumen del pan ( $r=0.32$ ) y el volumen específico ( $r=0.30$ ). Ello implica que al aumentar el CP aumentó el TOA y las fracciones proteicas de gran importancia para la calidad panadera, así como el volumen de pan

Por otra parte, el contenido de proteína se correlacionó inversamente con la PPT ( $r=-0.40$ ) y con las A-G, ( $r=-0.25$ ), es decir, al aumentar el CP, la PPT y las A-G disminuyeron. Se ha reportado que al aumentar el CP en la harina de trigo aumenta significativamente el contenido de Gli; mientras que la PPT y las A/G presentan un ligero aumento (Chavéz-Quiroz, 2005; Cuniberti et al., 2003; Zhu y Khan, 2001).

El TOA se asoció significativa y positivamente con la resistencia máxima (Fmax-45), así como con varias de las fracciones proteicas (Gli,  $r=0.35$ ; PPH,  $r=0.31$ ; PPNEH,  $r=0.70$ ; PPNET,  $r=0.76$ ), el volumen del pan ( $r=0.26$ ) y el volumen específico ( $r=0.21$ ). Se obtuvieron correlaciones negativas con la extensibilidad de la masa ( $r=-0.60$ ) y la PPT ( $r=-0.32$ ). La Fmax-45 se correlacionó positiva y significativamente con la PPNET ( $r=0.24$ ), el trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo (Área-45) ( $r=0.83$ ) y negativas con la Ext-45 ( $r=-0.24$ ). La extensibilidad a los 45 min de reposo (Ext-45) presentó asociación positiva con la PPT ( $r=0.17$ ) y Área-45 ( $r=0.20$ ). Éste parámetro también se correlacionó negativamente con varias de las fracciones proteicas (PPNET,  $r=-0.42$ ; PPNEH,  $r=-0.28$  y A-G,  $r=-0.16$ ). En cuanto al Área-45 se observó que se asoció positivamente con la Fmax-45 ( $r=0.83$ ) y la Ext-45 ( $r=0.83$ ). Entre más resistente y extensible sea la masa requerirá de mayor trabajo para romperse, es decir, será más fuerte. La harina de buena calidad panadera debe tener un gluten balanceado, es decir, que su resistencia a la extensión y su extensibilidad guarden una proporción adecuada.



Las propiedades reológicas evaluadas correlacionaron entre sí, con lo cual se vió que al aumentar la  $F_{max-45}$  aumentó significativamente el TOA pero disminuyó la  $Ext-45$  de la masa. Estas asociaciones coinciden con lo reportado en algunos estudios donde relacionaron varios parámetros reológicos medidos con diferentes instrumentos (Islas-Rubio et al., 2005; Chavéz-Quiroz, 2005; Wieser, et al., 2003; Southan y MacRitchie, 1999; Sapirstein y Fu, 1998).

Diversos estudios mostraron que la concentración de subunidades de glutenina de alto peso molecular (HMW-DS) contribuye al incremento en la resistencia a la extensión ( $R_{max}$ ) y disminución en la extensibilidad ( $Ext$ ), y el efecto de la fuerza de la masa parece no ser dependiente de la composición de HMW-GS (Antes y Wieser, 2001; Uthayakumaran et al., 2000; Suchy et al., 2000; Schropp y Wieser, 1996; Schropp et al., 1995).

La PPT se correlacionó positivamente con la  $Ext-45$  ( $r=0.16$ ) y negativamente con la mayoría de las fracciones proteicas (Gli,  $r=-0.61$ ; A-G,  $r=-0.33$ ; PPNEH,  $r=-0.17$ ; PPNET,  $r=-0.19$ ). La PPH mostró una correlación positiva con varias de las fracciones proteicas (Gli,  $r=0.40$ ; PPNEH,  $r=0.81$ ; PPNET,  $r=0.20$ ) y presentó asociación negativa con el contenido de A-G ( $r=-0.34$ ). Al aumentar el contenido de PPH aumentó el contenido de Gli y las proporciones de proteína polimérica no extraíble tanto en la proteína polimérica total como en la harina. La PPNEH mostró una correlación significativa con la PPNET ( $r=0.73$ ) y la PPNET se asoció positiva y significativamente con el Área-45, ( $r=0.24$ ), mientras que con la  $Ext-45$  presentó asociación negativa ( $r=-0.42$ ). Al aumentar la PPNET aumentó el trabajo de deformación de la masa y disminuyó la extensibilidad.

Southan y MacRitchie (1999) reportaron que la extensibilidad de la masa depende de la cantidad total de gluteninas, mientras que la fuerza se relaciona con la PPNET y PPNEH, y que las gliadinas no presentan asociación significativa con la  $F_{max-45}$  y el Área-45. En base a los resultados obtenidos se

demuestra que la proteína polimérica juega un papel muy importante en la determinación de las propiedades reológicas y de calidad de la masa.

El VP se correlacionó positiva y significativamente con el TOA, ( $r=0.26$ ), así como con algunas fracciones proteicas (PPH,  $r=0.42$ ; PPNEH,  $r=0.41$  y PPNET,  $r=0.21$ ). El contenido y composición proteica de la harina de trigo afecta sus propiedades funcionales, para hacer productos finales específicos de calidad (Cuniberti et al., 2003; Triboř et al., 2003; Zhu y Khan, 2001). La proporción de proteína polimérica no extraíble (PPNET y PPNEH) ha sido ampliamente correlacionada con la calidad panadera (Larroque et al., 2000; Southan y MacRíchie, 1999).



**Cuadro 8.**

Efecto de la interacción LExER sobre el rendimiento y peso hectolítrico del grano, propiedades reológicas, composición proteica y el volumen de pan.

Variable	LExER														
	LE1			LE2			LE3			LE4			LE5		
	ER2	ER3		ER2	ER3		ER2	ER3		ER2	ER3		ER2	ER3	
Re-Ha (Ton/Ha)	4.9	5.1		4.7	4.9		5.2	5.2		4.8	5.0		5.4	5.3	
P-Hec (Kg/ha)	80.3	80.4		79.5	79.4		81.3	81.6		80.7	80.5		79.6	80.0	
TOA (min) <sup>10-4</sup>	5.1	5.5		5.3	5.2		5.7	5.3		6.4	6.1		6.2	5.7	
Fmax-45 (g)	55.8	71.0		62.6	43.2		75.1	63.6		69.7	53.2		75.6	61.1	
Ext-45 (cm) <sup>10-4</sup>	6.7	7.1		6.4	6.0		5.1	6.1		4.2	5.7		4.8	5.2	
Área-45 (gcm)	326.4	397.1		322.3	230.0		394.3	330.4		273.0	262.6		331.1	254.9	
PPT (%) <sup>†</sup>	42.7	41.9		43.6	43.4		42.9	42.6		44.0	43.4		42.4	42.9	
PPH (%)	5.5	5.5		5.4	5.5		4.7	4.9		5.4	5.5		4.9	5.0	
PPNET (%)	50.9	51.1		49.3	49.9		53.0	50.7		52.3	52.4		52.7	49.1	
PPNEH (%)	2.8	2.8		2.7	2.8		2.6	2.6		2.6	2.9		2.6	2.4	
VP (%) <sup>10-4</sup>	227.4	247.9		229.5	236.6		206.9	177.2		254.7	249.7		224.7	220.4	
VE (g/cm <sup>3</sup> )	4.7	5.1		4.8	4.0		4.2	3.6		5.3	5.2		4.6	4.5	

Contrastes significativos ( $p < 0.05$ ): LE 1 y 2 ER 2 vs LE 3 y 5 ER 2<sup>†</sup>; LE 1 y 2 ER 3 vs LE 3 y 5 ER 3<sup>†</sup>; LE 1 y 2 vs LE 4<sup>†</sup>; LE 4 vs LE 3 y 5<sup>†</sup>; LE = línea experimental; ER = esquema de riego; Re-Ha= rendimiento por hectárea; P-Hec= peso hectolítrico; TOA= tiempo óptimo de amasado; Fmax-45 = resistencia máxima a los 45 min de reposo; Ext-45 = Extensibilidad a los 45 min de reposo; Área-45 = Trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo; PPT = proteína polimérica total; PPH = porcentaje de proteína polimérica en la harina; PPNET = proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total; PPNEH = proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina; VP = volumen del pan; VE = volumen específico. Los datos corresponden al promedio de las medias.

**Cuadro 9.**

Efecto de la interacción FSxER sobre el rendimiento y peso hectolítrico del grano, propiedades reológicas, composición proteica y el volumen de pan.

Variable	FSxER															
	FS1				FS2				FS3				FS4			
	ER2	ER3	ER2	ER3	ER2	ER3	ER2	ER3	ER2	ER3	ER2	ER3	ER2	ER3		
Re-Ha (Ton/Ha) <sup>1a</sup>	5.1	5.6	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.5	4.4					4.1		
P-Hec (Kg/ha)	80.3	80.3	80.5	79.8	80.5	80.5	80.5	80.2	79.9					81.1		
CP (%) <sup>2a</sup>	12.0	11.7	11.7	12.3	11.7	11.7	11.7	12.3	12.2					12.8		
TOA (min) <sup>3a</sup>	4.8	4.8	5.4	5.7	5.4	5.1	5.1	6.0	6.7					5.8		
Fmax-45 (g) <sup>4</sup>	58.9	52.1	58.0	54.9	51.9	51.9	52.0	101.2						54.7		
Ext-45 (cm)	5.2	5.1	5.1	5.1	5.7	5.7	5.5	4.8	6.3					6.3		
Área-45 (g/cm) <sup>5</sup>	367.8	311.4	278.5	327.3	253.9	253.9	264.5	417.5	276.7					276.7		
PPH (%)	5.1	5.0	5.2	5.4	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2					5.5		
PPNEH (%) <sup>6</sup>	2.5	2.4	2.6	2.8	2.7	2.7	2.7	2.9	2.8					2.8		
PPNET (%) <sup>6a</sup>	49.5	48.4	49.8	51.3	52.9	52.9	52.4	54.3	50.5					50.5		
VP (cm <sup>3</sup> )	220.8	218.0	228.1	228.5	231.2	231.2	225.2	234.5	233.8					233.8		
VE (g/cm <sup>3</sup> )	4.5	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	4.7	4.9	4.8					4.8		

Contrastes significativos (p<0.05). FS 1 y 2 ER 2 vs FS 1 y 2 ER 3<sup>1a</sup>; FS 3 y 4 ER 2 vs FS 3 y 4 ER 3<sup>1a</sup>; FS 1 y 2 vs FS 3 y 4<sup>2a</sup>; FS = fecha de siembra. ER = esquema de riego. Re-Ha= rendimiento por hectárea; P-Hec= peso hectolítico; CP= contenido de proteína; TOA= tiempo óptimo de amasado; Fmax-45 = resistencia máxima a los 45 min de reposo; Ext-45 = extensión a los 45 min de reposo; Área-45 = trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo; PPH = porcentaje de proteína polimérica en la harina; PPNEH = proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica total; PPNET = proporción de proteína polimérica no extraíble en la proteína polimérica no extraíble; VP = volumen de pan; VE = volumen específico. Los datos corresponden al promedio de las medias.

**Cuadro 10.** Coeficientes de correlación (*r*) de los parámetros reológicos, composición proteica y calidad panadera de las harinas de las líneas experimentales de trigo.

<i>r</i>	VE	VP	PPNET	PPNEH	PPH	A-G	GII	PPT	Area-45	Ext-45	Fmax-45	TOA	CP
CP	0.30**	0.32**	0.30**	0.74**	0.81**	-0.30**	0.50**	-0.40**	-0.03	-0.07	0.035	0.41**	1.0
TOA	0.21*	0.26**	0.76**	0.70**	0.31**	-0.003	0.35**	-0.32**	-0.005	-0.50**	0.30**	1.0	
Fmax-45	-0.10	-0.07	0.24**	0.14	0.69†	0.03	0.07	-0.10	0.83**	-0.24*	1.0		
Ext-45	-0.03	-0.08	-0.42**	-0.28**	-0.05	-0.16*	-0.07	0.17*	0.29*	1.0			
Area-45	-0.14	-0.13	0.05	-0.02	-0.07	0.006	-0.02	-0.01	1.0				
PPT	0.08	0.01	-0.19*	-0.17*	-0.09	-0.33**	-0.51**	1.0					
GII	0.02	0.04	0.40**	0.50**	0.40**	-0.52**	1.0						
A-G	-0.10	-0.04	-0.20*	-0.34**	-0.34**	1.0							
PPH	0.40**	0.42**	0.20*	0.81**	1.0								
PPNEH	0.40**	0.41**	0.73**	1.0									
PPNET	0.17*	0.21*	1.0										
VP	0.98**	1.0											
VE	1.0												

\*. \*\* = significancias a <0.05, <0.005. VE = Volumen específico del pan; VP = Volumen del pan; PPNET = proporción de proteína polimérica no extraíble en la pesena polimérica total; PPNEH = proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina; PPH = porcentaje de proteína polimérica en la harina; A-G = alúminas y glucosinas; GII = alúminas y glucosinas; PPT = proteína polimérica total; Área-45 = trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo; Ext-45 = extensibilidad a los 45 min de reposo; Fmax-45 = resistencia máxima a los 45 min de reposo; TOA = tiempo óptimo de amasado en el mixógrafo; CP = contenido proteico.

## CONCLUSIONES

Los factores principales: ciclo de cultivo, línea experimental de trigo, fecha de siembra y esquema de riego tuvieron efectos significativos sobre el contenido de proteína, algunas propiedades reológicas, ciertas fracciones proteicas y el volumen de pan.

El esquema de riego no tuvo efecto significativo en el trabajo de deformación, la proteína polimérica total, la proporción de proteína polimérica no extraíble en la harina y el volumen de pan.

La fecha de siembra no afectó significativamente la extensibilidad de la masa, pero sí modificó la síntesis de las proteínas de los trigos significativamente. Las fracciones proteicas PPH, PPNEH y PPNET tuvieron una mayor influencia sobre el volumen de pan.

El volumen de pan de las distintas líneas experimentales fue afectado en diferentes grados por la fecha de siembra, siendo las fechas 3 y 4 las que más favorecieron a este parámetro de calidad. Las líneas experimentales 1 y 4 sembradas en las fechas tardías (FS 3 y 4) produjeron pan de mayor volumen.

La LE 4 fue la de mejor calidad panadera ya que tuvo el mayor volumen de pan y fue menos influenciada por la fecha de siembra y el esquema de riego.

## REFERENCIAS

- AACC, 1995.** American Association of Cereal Chemists. Métodos Aprobados. St. Paul, MN.
- Altenbach, S.B., DuPont, F.M., Kothari, K.M., Char, R., Jonson, E.L. and Lieu, D. 2003.** Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat.
- Altenbach, S.B., Kothari, K.M. and Lieu, D. 2002.** Environmental conditions during wheat grain development alter temporal regulation of major gluten protein genes. *Cereal Chemistry* 79(2): 279-285.
- Antes, S. and Wieser, H. 2001.** Effects of high and low molecular glutenin subunits on rheological dough properties and breadmaking quality of wheat. *Cereal Chemistry* 78(2): 157-159.
- Badui, D.S. 1999.** Proteínas. En: *Química de los Alimentos*. Longman de México Editores, S.A. de C.V., pp: 123-209.
- Batey, I.L., Gupta, R.B. and MacRitchie, F. 1991.** Use of size-exclusion high-performance liquid chromatographic procedure. *Cereal Chemistry* 68: 207-209.
- Bean, S.R. Bietz, J.A. and Lookhart, G.L. 1998.** High-performance capillary electrophoresis of cereal proteins. *Journal Chromatography Analyst* 814: 25-41.
- Bean, S.R. and Lookhart, G.L. 1999.** Sodium dodecyl sulfate capillary electrophoresis of wheat protein. 1. Uncoated capillaries *Journal Agriculture Food Chemistry*. 47: 4246-4255.



- Belitz, H.D., Kieffer, R., Kim, J.J., Seilmeier, W. and Wieser, H. 1990.** Some factors important for gluten functionality. Interactions of cereal components and their implications for the future. Proc. Of ICC-AACC Symposium. Lasztity, R. and Hosney, R.C. (eds.). ICC Vienna. pp: 94-109.
- Belton, P.S. 1999.** On the elasticity of wheat gluten. *Journal of Cereal Science* 29: 103-107.
- Blumenthal, C., Barlow, E.W.R and Wrigley, C.W.J. 1993.** Growth environment and wheat quality: the effects of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science* 18: 3-21.
- Blumenthal, C., Bekes, F., Gras, P.W., Barlow, E.W.R. and Wrigley, C.W. 1991.** Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chemistry* 72: 539-544.
- Blumenthal, C., Gras, P.W., Bekes F., Barlow, E.W.R. and Wrigley, C.W. 1995.** Possible role of the Glu-D1 locus with respect to tolerance to dough-quality change after heat stress. *Cereal Chemistry* 72: 1, 135-136.
- Boehm, D.J, Berzonsky, W.A. and Bhattacharya, M. 2004.** Influence of nitrogen fertilizer treatments on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) flour characteristics and effect on fresh and frozen dough quality. *Cereal Chemistry* 81: 1, 51-54.
- Chávez-Quiroz, K.D. 2005.** Efecto de la fertilización nitrogenada sobre las propiedades reológicas, la composición proteica y la calidad panadera de harinas de trigo. Tesis de Maestría. CIAD, A.C. Hermosillo Sonora.
- Ciaffi, M., Tozzi, L., Borghi, B., Corbellini, M. and Lafiandra, D. 1996.** Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat. *Journal of Cereal Science* 24: 91-100.

**Cuniberti, M.B. 1998.** Efecto del stress calórico durante el llenado del grano sobre el P/L y la calidad del trigo. IV Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño- Invernal. Sección 5-05. Mar del Plata: 11 al 13 de noviembre de 1998.

**Cuniberti, M.B. y Riberi, L. 2005.** Calidad del trigo de la region central del país. Campans 2003/2004. INTA Marcos Juarez. <http://www.fyo.com.ar/granos/ampliar.asp?IdNoticia=30862&IdAutor=11637&idtipoinformacion=22>.

**Cuniberti, M.B., Rooth, M.R. and MacRitchie, F. 2003.** Protein composition-functionality relationships of a set of Argentinean wheats. *Cereal Chemistry* 80: 132-134.

**Dellavalle, P.D., Dalla, M.R., Vázquez, D. y Castro, M. 2006.** Elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *Agricultura Técnica* 66(4): 360-369.

**Don, C., Lichtendok, W.J., Plijter, J.J., Vliet, V. T. and Hamer, R.J. 2005.** The effect of mixing on glutenin particle properties: aggregation factors that affect gluten function in dough. *Journal of Cereal Science* 41: 69-83.

**Don, C., Lichtendok, W., Plijter, J.J. and Hamer, R.J. 2003.** Glutenin macropolymer: a gel formed by glutenin particles. *Journal of Cereal Science* 37: 1-7.

**Falder-Rivero, A. 2002.** Trigo, harina y pan. *Enciclopedia de los alimentos*. pp: 125-134.

**FAO.** [http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm). (Acceso 14 de Febrero del 2007).

- Færgestad, E.M., Molteberg, E.L. and Magnus, E.M. 2000.** Interrelationships of protein composition, protein level, baking process and the characteristics of hearth bread and pan bread. *Journal Cereal Science* 31: 309-320.
- Fenema, O.R. 1982.** Aminoácidos, péptidos y proteínas. En: *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*. Editorial Neverté, S.A., pp: 240-287.
- Gianibelli, M.C., Larroque, O.R., MacRitchie, F. and Wrigley, C.W. 2001.** Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chemistry* 78: 635-646.
- Guerrero-García, A. 1999.** Trigo. En: *Cultivos Herbáceos Extensivos*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp: 20-35.
- Gupta, R.B. and MacRitchie, F. 1994.** Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, Glu-1, Glu-3 and Gli-1 of bread wheats: Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Journal of Cereal Science* 19: 19-29.
- Holden, J., Peacock, J. and Willianís, T. 1993.** El hombre y las plantas. Una relación en crisis. *Genes, Crops and Environment*. <http://www.unavarra.es/genmic/genetaca%20y%20mejora/genes%20variedades%20y%20ambiente>.
- Hoseney, R.C., 1994.** Gluten Protein. En: *Principles of Cereal Science and Technology*. Edited by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Mn, USA. pp: 197-211.
- Hoseney, R.C., 1998.** Role of pentosans. En: *Principles of Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Mn, USA. pp: 251-252.

- Hou , G. Ng, P.K.W. 1995.** Quantification of glutenin subunits by sequential acetone precipitation and by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) coupled with densitometry using a known quantity of glutenins as a standard. *Cereal Chemistry* 72: 545-551.
- InfoAgro (2007).** Agroalimentación: El cultivo de trigo. <http://www.infoagro.com/hebaceros/cereales/trigo2.asp>. Actualizado 2006. Ultima fecha de acceso 26 de Enero del 2007.
- Islas-Rubio, A., MacRitchie, F., Gandikota, S. y Hou, G. 2005.** Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(3): 243-251.
- Johansson, E., Kuktaite, R., Andersson, A. and Prieto-Linde, M.L. 2005.** Protein polymer build-up during wheat grain development: influences of temperature and nitrogen timing. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 473-779.
- Johansson, E., Nilsson H., Mazhar, H., Skerritt, J., MacRitchie, F y Svensson, G. 2002.** Seasonal effects on storage proteins and gluten strength in four Swedish wheat cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 1305-1311.
- Johansson, E., Oscarson, P., Heneen, W.K. and Lundborg, T. 1994.** Differences in accumulation of storage proteins between wheat cultivars during development. *Journal Science Food Agriculture* 64: 305-313.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M.L., Svensson, G. and Jönsson, J. Ö. 2003.** Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and size distribution of mono-and polymeric proteins in wheat. *Journal of Agricultural Science* 140: 275-284.

- Johansson, E. and Svensson, G. 1998.** Variation in bread-making quality in some Swedish wheat cultivars grown during the period 1975-1996. *Journal of Agricultural Science* 78: 109-118.
- Kasarda, D. D., Woodard, K.M., Adalsteins, A.E. 1998.** Resolution of high molecular weight glutenin subunits by a new SDS-PAGE system incorporating a neutral pH buffer. *Cereal Chemistry* 75: 70-71.
- Khatkar, B.S., Bell, A.E. and Shofiel, J.D. 1996.** A comparative study of the inter-relationships between mixograph parameters and bread-making qualities of wheat flours and glens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 72: 71-85.
- Kieffer, R. and Stein, N. 1999.** Demixing in wheat dough-its influence on dough and gluten rheology. *Cereal Chemistry* 76: 688-693.
- Kieffer, R. Wieser, H., Henderson, M.H., and Graveland, A. 1998.** Correlation of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science* 27: 53-60.
- Kuktaite, R., Larsson, H. and Johansson, E. 2004.** Variation in protein composition of wheat flour and its relationship to dough mixing behaviour. *Journal of Cereal Science* 40: 31-39.
- Larroque, O. Gianibelli, M.C. and Bekes, F. 2000.** Rapid size-exclusion chromatography analysis of molecular size distribution for wheat endosperm protein. *Cereal Chemistry* 77: 451-453.
- Larroque, O., Gianibelli, M.C. and MacRitchie, F. 1999.** Protein composition for pairs of wheat lines with contrasting dough extensibility. *Journal of Cereal Science* 29: 27-31.
- López-Bellido, L. 1990.** Trigo. En: *Cultivos Herbáceos. Vol. I. Cereales.* Ediciones Mundi-Prensa. pp: 197-217.

- MacRitchie, F. 1999.** Wheat protein: characterization and role in flour functionality. *Cereal Foods World* 44: 188-193.
- MacRitchie, F. 2003.** Fundamentals of dough formation. *Cereal Foods World* 48: 173-176.
- MacRitchie, F. and Gupta, R.B. 1993.** Functionality composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulphur availability. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 1767-1774.
- Martínez-Cruz, E., Espita-Rangel, E., Benítez-Riquelme, R., Peña-Bautista, R.J., Santacruz-Varela, A y Villaseñor-Mir, H. 2007.** Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41: 153-160.
- Mikhaylenko, G.G., Czuchajowska, Z., Baik, B.K., and Kidwell, K.K. 2000.** Environmental influences on flour composition, dough rheology, and baking quality of spring wheat. *Cereal Chemistry* 77: 507-511.
- Osborne, T.B. 1907.** The proteins of the wheat kernel publ. No. 84. Carnegie Inst., Washington, D.C.
- Naeem, H., and MacRitchie, F. 2005.** Polymerization of glutenin during grain development in near-isogenic wheat lines differing at Glu-D1 and Glu-B1 in greenhouse and field. *Journal of Cereal Science* 41: 7-12.
- NCSS, 2001.** Number Cruncher Statisti Systems. Programa estadístico para Windows, Hintze JL; U.S.A.
- Norma Mexicana. NMX-F-007-1982.** Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Dirección general de normas.
- Payne, P.I., Holt, L.M., Jackson, E.A., and Law, C.N. 1984.** Wheat storage proteins: Their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B* 304: 359-371.

- Payne, P.I., Nightingale, M.A., Krattiger, A.F and Holt, L.M 1987.** The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal Science Food Agriculture* 40: 51-65.
- Peterson C.J., Graybosch. R.A., Shelton, D.R. and Baenziger, P.S. 1998.** Baking quality of hard winter wheat: response of cultivars to environment in the Great Plains. *Wheat Prospects for Global Improvement*. H.J. Braun et al. Eds. Kluwer Academic Publishers.
- Pike, P.R. y MacRitchie, F. 2004.** Protein composition and quality of some new hard white winter wheats. *Crop Science*, 44: 173-176.
- Pomeranz, Y. 1987.** Composition and functionality of wheat flour components. In: *Wheat: Chemistry and Technology*. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN. pp: 219-370.
- Puppo, M.C., Calvelo, A. and Añón, M.C. 2005.** Physicochemical and rheological characterization of wheat flour dough. *Cereal Chemistry* 82: 173-181.
- Randall, P.J. and Moss, H.J. 1990.** Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 603-617.
- Rao, A.C.S., Smith, J.L., Jandhyala, V.K., Papendik, R.I. and Parr, J.F. 1993.** Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. *Journal Agronomic* 85: 1023-1028.
- Rhazi, L., Cazalis, R. and Aussenac, T. 2003.** Sulfhydryl-disulfide changes in storage protein of developing wheat grain: influence on the SDS-unextractable glutenin polymer formation. *Journal of Cereal Science* 38: 3-13.

- Sapirstein, H.D. and Fu, B.X. 1998.** Intercultivar variation in the quantity of monomeric proteins, soluble and insoluble glutenin, and residue protein in wheat flour and relationships to breadmaking quality. *Cereal Chemistry* 75(4): 500-507.
- Schropp, P. and Wieser, H. 1996.** Effects of high molecular weight subunits of glutenin on the rheological properties of wheat gluten. *Cereal Chemistry* 73: 410-413.
- Schropp, P., Belitz, H.D., and Wieser, H. 1995.** Reoxidation of high molecular weight subunits of glutenin. *Cereal Chemistry* 72: 406-410.
- Scipper, A. 1991.** Modifications of the dough physical properties of various wheat cultivars by environmental influences. *Research Agribiological* 44:114-132.
- Serna-Saldivar, O.R. 1996.** Propiedades físicas y clasificación de los cereales. En: *Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales*. AGT Editor, S.A., México, D.F. pp: 79-107.
- Shewry, P.R., Halford, N.G. and Tatham, A.S. 1992.** High molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science* 15: 105-120.
- Shewry, P.R., and Lookhart, G. L. 2003.** Wheat gluten protein. *Wheat gluten protein analysis*. Edited by the American Association of Cereal Chemists, Inc. pp: 1-13.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Foder, J., Kreis, H. and Miflin, B.J. 1986.** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science* 4: 97-106.
- Shewry, P.R. and Tatham, A.S. 1997.** Biotechnology of wheat quality. *Journal Science Food Agriculture* 73: 397-406.



- Shewry, P.R., Tatham, A.S. and Halford, N.G. 1999.** The prolamins of the Triticeae. Seed Proteins. P.R. Shewry and R. Casey, eds. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. pp: 33-78.
- Southan, M. and MacRitchie, F. 1999.** Molecular weight distribution of wheat proteins. *Cereal Chemistry* 76(6): 827-836.
- Souza , E.J., Martin, M.J., Guttieri, M.J., O'Brien, K.M., Habernicht, D.K., Lanning, S.P., McLean, R., Carrison, R.G. and Talbert, L.E. 2004.** Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Science* 44: 425-432.
- Stone, P. and Nicolas, M.E. 1994.** Wheat cultivars vary widely in their response of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Australian Journal Plant Physiol* 21: 887-900.
- Suchy, J., Lukow, O.M., and Ingelin, M.E. 2000.** Dough microextensibility method using a 2-g micrograph and a texture analyzer. *Cereal Chemistry* 77(1): 39-43.
- Tahir, I.S.A., Nakata, N., Ali, A.M., Mustafa, H.M., Saad, A.S.I., Takata, K., Ishikawa, N., and Abdalla, O.S. 2006.** Genotypic and temperature effects on wheat grain yield and quality in hot irrigated environment. *Plant Breeding* 125: 323-330.
- Triboï, E., Martre, P., and Triboï-Blondel, A.M. 2003.** Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany* 54: 1731-1742.
- Uhlen, A.K., Hafskjold, R., Kalhovd, A.H., Sahlstrøm, S, Longva, Å., and Magnus, E.M. 1998.** Effects of cultivar and temperature during grain filling on wheat protein content, composition and dough mixing properties. *Cereal Chemistry* 75: 460-465.

- Uhlen, A.K., Sahlström, S., Magnus, E.M., Færgestad, E.M., Dieseth, J.A. and Ringlund, K. 2004.** Influence of genotype and protein content on the baking quality of hearth bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 887-894.
- Uthayakumaran, S., Stoddart, F.L., Gras, P.W. and Bekes, F. 2000.** Effects of incorporated glutenins on functional properties of wheat dough. *Cereal Chemistry* 77 (6): 737-743.
- Verbruggen, I.M. and Delcour J.A. 2003.** Extensional properties of wheat flour dough fortified with characterised wheat gluten fraction. *Journal of Cereal Science* 37: 151-156.
- Wardlaw I.F. and C.W. Wrigley. 1994.** Heat tolerance in temperate cereals: an overview. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 695-703.
- Wieser, H, Hsem, S.L.K. and Zeller, J. 2003.** Relationship between the qualitative and quantitative composition of gluten protein types and technological properties of synthetic hexaploid wheat derived from *Triticum durum* and *Aegilops tauschii*. *Cereal Chemistry* 80(3): 247-251.
- Wrigley, C.W. and Békés, F. 1999.** Glutenin-protein formation during the continuum from anthesis to processing. The following papers were presented at the symposium "Glutenin-protein formation: In vivo, in vitro, and in practice" held September 17 at the 1998 AACC Annual Meeting in Minneapolis, MN. 562-565.
- Xu, J., Bietz, J. A., Felker, F.C., Carriere, C.J. and Wirtz, D. 2001.** Rheological properties of vital wheat gluten suspensions. *Cereal Chemistry* 78: 181-185.
- Zhu, J. and Khan, K. 2001.** Effects of genotype and environment on glutenin polymers and breadmaking quality. *Cereal Chemistry* 78: 125-130.

## **ANEXO**

**Cuadro 11.** Condiciones climatológicas de los ciclos de cultivo 2002-2003 y 2003-2004 en el campo experimental del INIFAP-CIRNO.

		Periodo de Reproducción		Periodo de Maduración		Lluvia acumulada	HR
		TMax(°C)	TMin(°C)	TMax(°C)	TMin(°C)	(mm)	(%)
<b>2002-2003</b>	<b>FS 1</b>	25.79	10.60	29.44	7.43	35.8	30.4-94.3
	<b>FS 2</b>	24.96	9.95	26.80	10.30		
	<b>FS 3</b>	28.34	10.91	30.77	11.55		
	<b>FS 4</b>	25.29	8.43	31.57	10.17		
<b>2003-2004</b>	<b>FS 1</b>	21.10	7.60	31.02	11.98	198.9	33.5-103.6
	<b>FS 2</b>	23.75	6.32	28.44	9.80		
	<b>FS 3</b>	32.01	10.71	30.47	13.25		
	<b>FS 4</b>	30.35	11.52	31.63	12.84		

INIFAP-CIRNO = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO). TMin = temperatura mínima; TMax = máxima; HR = humedad relativa; FS = fecha de siembra. Fuente: <http://intranet.inifap.gob.mx>.

**Cuadro.12.** Contenido de humedad, proteína y cenizas de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003.

LE	FS	ER	Humedad (%)	CP (%)	Cenizas (%)
1	1	2	11.9±0.0	12.8±0.4	0.46±0.02
1	1	3	11.1±0.0	12.3±0.1	0.41±0.03
1	2	2	12.1±0.6	11.3±0.1	0.42±0.01
1	2	3	11.2±0.4	12.0±0.3	0.39±0.01
1	3	2	12.9±0.1	12.5±0.1	0.38±0.04
1	3	3	11.4±0.2	12.8±0.1	0.43±0.01
1	4	2	12.4±0.2	12.7±0.1	0.47±0.01
1	4	3	13.1±0.1	12.9±0.1	0.47±0.01
2	1	2	11.6±0.2	13.0±0.1	0.85±0.03
2	1	3	11.3±0.2	11.7±0.1	0.37±0.01
2	2	2	12.5±0.1	11.3±0.0	0.38±0.02
2	2	3	12.0±0.8	11.9±0.0	0.36±0.01
2	3	2	12.3±0.2	11.7±0.1	0.39±0.01
2	3	3	10.6±0.1	11.9±0.0	0.41±0.01
2	4	2	12.4±0.4	12.5±0.2	0.47±0.01
2	4	3	13.0±0.1	11.8±0.2	0.47±0.00
3	1	2	11.0±0.0	10.7±0.1	0.60±0.01
3	1	3	11.0±0.1	10.2±0.0	0.39±0.01
3	2	2	12.8±0.1	10.0±0.6	0.41±0.01
3	2	3	12.0±0.0	11.4±0.2	0.36±0.02
3	3	2	11.6±0.1	10.4±0.1	0.41±0.01
3	3	3	11.1±0.3	10.7±0.0	0.42±0.02
3	4	2	12.6±0.3	11.3±0.1	0.55±0.01
3	4	3	12.6±0.1	10.8±0.2	0.50±0.01
4	1	2	12.0±0.1	11.6±0.2	0.47±0.01
4	1	3	12.2±0.7	11.3±0.3	0.38±0.01
4	2	2	13.1±0.1	11.2±0.0	0.41±0.01
4	2	3	11.6±0.1	11.5±0.0	0.34±0.01
4	3	2	11.8±0.2	10.7±0.1	0.38±0.02
4	3	3	11.8±0.2	11.6±0.0	0.39±0.01
4	4	2	12.7±0.1	12.0±0.1	0.47±0.01
4	4	3	12.9±0.2	11.6±0.1	0.44±0.00
5	1	2	11.5±0.1	11.0±0.0	0.43±0.01
5	1	3	12.2±0.0	10.3±0.2	0.40±0.01
5	2	2	12.1±0.7	10.2±0.0	0.40±0.01
5	2	3	12.4±0.3	11.0±0.2	0.40±0.08
5	3	2	10.5±0.1	9.7±0.0	0.44±0.01
5	3	3	10.6±0.6	10.1±0.1	0.42±0.01
5	4	2	12.5±0.1	11.2±0.1	0.57±0.01
5	4	3	12.4±0.1	10.3±0.1	0.50±0.01

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar, LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, CP = contenido de proteína.

**Cuadro 13.** Contenido de humedad, proteína y cenizas de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.

LE	FS	ER	Humedad (%)	CP (%)	Cenizas (%)
1	1	2	14.8±0.0	13.2±0.2	0.42±0.02
1	1	3	14.7±0.1	13.4±0.3	0.41±0.08
1	2	2	14.6±0.0	13.8±0.1	0.38±0.01
1	2	3	14.9±0.1	13.5±0.0	0.43±0.00
1	3	2	14.3±0.1	13.3±0.3	0.41±0.01
1	3	3	14.7±0.1	13.9±0.3	0.46±0.01
1	4	2	14.8±0.1	12.5±0.3	0.44±0.02
1	4	3	15.3±0.2	14.7±0.3	0.41±0.01
2	1	2	15.0±0.1	12.7±0.2	0.39±0.00
2	1	3	14.8±0.0	12.9±0.4	0.44±0.03
2	2	2	14.7±0.0	12.6±0.7	0.40±0.00
2	2	3	14.6±0.0	14.0±0.4	0.44±0.02
2	3	2	14.4±0.1	13.0±0.1	0.41±0.01
2	3	3	14.6±0.1	13.7±0.2	0.43±0.01
2	4	2	14.7±0.0	12.8±0.7	0.42±0.00
2	4	3	14.8±0.1	14.9±0.1	0.40±0.01
3	1	2	15.0±0.0	11.0±0.2	0.39±0.00
3	1	3	14.7±0.0	11.5±0.3	0.40±0.01
3	2	2	14.3±0.0	11.6±0.2	0.40±0.01
3	2	3	14.7±0.1	11.9±0.2	0.48±0.01
3	3	2	14.1±0.1	11.7±0.2	0.45±0.01
3	3	3	15.1±0.3	12.1±0.3	0.49±0.04
3	4	2	13.4±0.2	11.5±0.4	0.47±0.02
3	4	3	14.9±0.1	14.3±0.2	0.41±0.00
4	1	2	15.3±0.1	12.1±0.1	0.39±0.02
4	1	3	14.9±0.0	12.6±0.1	0.39±0.01
4	2	2	14.8±0.1	12.8±0.1	0.38±0.01
4	2	3	14.9±0.1	13.7±0.1	0.41±0.01
4	3	2	14.8±0.0	12.2±0.8	0.41±0.02
4	3	3	14.0±0.1	13.6±0.3	0.46±0.02
4	4	2	14.9±0.2	13.0±0.2	0.45±0.01
4	4	3	13.7±0.2	13.7±0.4	0.43±0.01
5	1	2	14.7±0.2	11.4±0.2	0.38±0.01
5	1	3	14.8±0.1	11.1±0.1	0.40±0.01
5	2	2	14.4±0.1	11.8±0.2	0.42±0.01
5	2	3	14.6±0.1	11.9±0.4	0.45±0.03
5	3	2	14.8±0.2	11.8±0.1	0.45±0.03
5	3	3	15.7±0.3	12.7±0.3	0.46±0.03
5	4	2	14.8±0.0	12.1±0.4	0.46±0.01
5	4	3	15.2±0.1	12.8±0.1	0.40±0.01

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar, LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, CP = contenido de proteína

**Cuadro 14.** Mediciones reológicas de la masa de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003

LE	FS	ER	Fmax-45 (g)	Ext-45 (cm)	Area-45(gcm)
1	1	2	83.3±2.9	6.5±1.3	481.2±50.8
1	1	3	86.9±0.0	7.1±0.1	510.9±22.9
1	2	2	48.3±2.2	6.8±1.2	256.4±21.3
1	2	3	70.1±2.7	6.7±0.0	404.0±2.3
1	3	2	53.7±2.3	7.9±0.8	336.3±12.6
1	3	3	50.6±0.1	7.4±0.0	291.6±1.0
1	4	2	47.6±2.0	8.1±0.1	286.6±3.0
1	4	3	49.3±0.7	8.6±1.2	295.6±3.6
2	1	2	83.5±0.6	7.5±1.1	489.5±38.3
2	1	3	45.8±1.5	8.0±0.2	272.8±2.6
2	2	2	33.0±2.6	7.2±1.2	184.2±0.9
2	2	3	22.7±1.2	7.1±0.2	127.6±5.6
2	3	2	46.1±1.2	6.6±0.1	260.9±4.0
2	3	3	35.5±0.4	6.1±1.7	193.0±0.6
2	4	2	50.3±1.6	7.4±0.7	331.0±12.1
2	4	3	63.0±3.2	6.8±0.2	367.6±20.4
3	1	2	82.7±1.1	6.7±0.2	494.6±4.1
3	1	3	51.9±0.5	7.5±0.4	305.3±10.0
3	2	2	66.7±0.0	3.1±0.1	395.0±22.6
3	2	3	25.7±0.7	7.2±0.1	159.0±3.9
3	3	2	45.0±1.6	6.8±0.4	281.5±21.3
3	3	3	32.7±0.5	6.6±0.0	165.9±1.6
3	4	2	99.0±1.2	5.5±0.9	501.8±17.0
3	4	3	55.2±0.4	7.2±0.5	345.0±4.3
4	1	2	54.0±0.6	6.4±0.7	318.2±10.8
4	1	3	37.2±0.4	5.5±0.9	185.5±1.0
4	2	2	90.3±0.5	3.1±0.1	376.5±1.3
4	2	3	72.7±9.0	7.3±0.4	413.0±64.4
4	3	2	34.6±0.6	2.8±0.7	97.2±16.9
4	3	3	56.3±1.1	6.9±0.2	296.3±9.2
4	4	2	50.5±1.9	6.8±0.6	311.9±10.5
4	4	3	40.4±5.1	7.8±0.1	264.2±9.8
5	1	2	44.5±0.6	7.3±1.6	248.5±4.6
5	1	3	24.2±0.3	5.3±0.2	102.2±0.9
5	2	2	31.6±4.8	5.3±0.5	140.1±28.3
5	2	3	56.2±2.0	6.4±0.0	275.5±11.6
5	3	2	33.2±0.1	6.7±0.3	156.8±0.6
5	3	3	81.0±0.3	6.8±0.3	444.5±0.2
5	4	2	186.4±5.2	6.5±0.4	1022.7±0.3
5	4	3	50.7±1.2	6.3±1.6	241.7±38.6

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar. LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, Área-45 = Trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo, Ext-45 = Extensibilidad a los 45 min de reposo, Fmax-45 = Resistencia máxima a los 45 min de reposo.

**Cuadro 15.** Mediciones reológicas de la masa de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.

LE	FS	ER	Fmax-45 (g)	Ext-45 (cm)	Area-45 (gcm)
1	1	2	37.7±0.1	7.1±1.3	213.3±13.9
1	1	3	86.9±4.7	7.5±0.5	495.1±41.9
1	2	2	37.4±2.6	7.6±0.1	218.7±15.0
1	2	3	96.1±6.1	6.9±0.3	563.2±11.1
1	3	2	58.3±6.0	6.3±0.2	332.3±37.9
1	3	3	44.8±3.6	6.4±0.7	273.6±9.8
1	4	2	168.3±2.2	3.1±0.2	486.6±3.9
1	4	3	83.3±4.3	5.9±0.2	342.8±3.3
2	1	2	49.6±0.2	6.2±0.3	292.3±1.7
2	1	3	32.7±0.4	5.3±0.6	157.9±3.3
2	2	2	106.4±0.4	6.6±0.3	613.6±5.3
2	2	3	44.1±0.2	6.3±0.0	243.6±0.4
2	3	2	29.3±0.0	7.2±0.2	169.7±1.4
2	3	3	63.7±0.8	6.2±0.9	374.4±24.2
2	4	2	102.1±0.6	2.2±0.1	237.0±7.8
2	4	3	38.0±0.6	2.3±0.1	103.0±1.7
3	1	2	121.6±12.9	6.7±0.2	724.8±53.1
3	1	3	110.5±0.5	5.3±0.5	490.2±7.5
3	2	2	40.2±1.5	5.0±0.9	214.3±4.0
3	2	3	108.4±10.0	5.5±0.0	606.5±18.5
3	3	2	54.0±0.6	4.5±0.6	265.2±0.7
3	3	3	71.1±4.7	3.4±0.7	301.4±66.2
3	4	2	91.6±24.8	2.7±0.3	277.2±42.3
3	4	3	53.2±5.2	5.8±0.0	270.0±10.0
4	1	2	58.2±4.5	4.0±0.1	186.4±0.1
4	1	3	72.2±0.7	4.7±0.4	289.3±2.3
4	2	2	74.2±10.0	2.7±0.3	184.5±24.2
4	2	3	67.9±3.4	3.5±0.0	279.1±11.0
4	3	2	71.8±3.4	4.7±0.9	284.6±36.4
4	3	3	39.9±1.3	3.5±0.5	171.6±5.4
4	4	2	124.2±8.8	3.1±0.3	424.3±6.1
4	4	3	39.0±2.9	6.7±0.2	201.7±15.9
5	1	2	73.6±0.1	3.1±0.0	229.3±0.3
5	1	3	72.6±0.2	4.5±0.3	305.2±6.1
5	2	2	51.4±1.8	3.3±0.7	201.3±35.1
5	2	3	67.6±4.8	3.7±0.1	201.7±5.9
5	3	2	93.0±5.8	3.6±0.6	354.1±14.7
5	3	3	44.1±5.0	2.5±0.0	132.6±13.8
5	4	2	91.4±13.9	2.7±0.1	295.8±3.9
5	4	3	75.3±2.2	6.0±0.0	335.5±2.9

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar. LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, Area-45 = Trabajo de deformación de la masa a los 45 min de reposo; Ext-45 = Extensibilidad a los 45 min de reposo; Fmax-45 = Resistencia máxima a los 45 min de reposo.



**Cuadro16** Composición proteica de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2002-2003.

LE	FS	ER	PPT (%)	Glíadinas (%)	A-G (%)
1	1	2	43.2±0.3	44.8±0.2	11.9±0.1
1	1	3	42.7±0.1	44.9±0.0	12.3±0.1
1	2	2	43.3±0.2	43.8±0.4	12.9±0.2
1	2	3	42.7±0.0	45.6±0.2	11.7±0.2
1	3	2	43.9±0.6	44.2±0.2	12.0±0.4
1	3	3	42.9±0.5	45.5±0.6	11.6±0.1
1	4	2	44.1±0.4	43.9±0.3	12.1±0.1
1	4	3	43.4±0.4	44.5±0.5	12.2±0.1
2	1	2	43.5±0.1	44.4±0.2	12.1±0.1
2	1	3	44.2±0.4	43.6±0.3	12.2±0.1
2	2	2	43.1±0.3	44.3±0.1	12.6±0.3
2	2	3	44.1±0.9	44.3±0.5	11.6±0.4
2	3	2	45.3±0.1	42.6±0.0	12.1±0.1
2	3	3	44.1±0.0	43.9±0.1	11.9±0.2
2	4	2	43.8±1.0	43.7±0.9	12.4±0.0
2	4	3	44.6±0.2	43.0±0.1	12.4±0.0
3	1	2	43.7±0.7	43.1±0.4	13.3±0.3
3	1	3	42.9±0.5	43.4±0.0	13.7±0.5
3	2	2	43.7±0.6	42.4±0.4	14.0±0.2
3	2	3	43.6±0.5	43.7±0.1	12.7±0.4
3	3	2	44.9±0.4	41.9±0.3	13.4±0.2
3	3	3	43.9±0.7	42.5±0.1	13.7±0.6
3	4	2	44.6±0.0	42.8±0.1	12.6±0.1
3	4	3	43.4±0.2	43.3±0.5	13.4±0.3
4	1	2	44.6±0.6	45.9±0.3	9.5±0.3
4	1	3	44.1±1.0	43.3±0.6	12.6±0.4
4	2	2	45.2±0.4	41.4±0.7	13.4±0.4
4	2	3	44.2±0.3	43.6±0.9	12.1±0.6
4	3	2	46.0±0.4	41.0±0.4	13.5±0.7
4	3	3	45.5±0.7	41.8±0.9	13.0±0.0
4	4	2	45.0±0.0	41.8±0.1	13.2±0.1
4	4	3	43.1±0.2	44.3±0.0	12.6±0.1
5	1	2	41.6±0.7	46.2±0.2	12.6±0.9
5	1	3	42.9±0.8	43.1±0.8	14.0±0.0
5	2	2	41.8±0.5	43.7±0.0	14.5±0.4
5	2	3	43.3±0.2	44.3±0.2	12.4±0.1
5	3	2	44.4±0.5	41.9±0.1	13.7±0.6
5	3	3	43.7±0.2	43.0±0.0	13.5±0.1
5	4	2	43.2±0.2	44.4±0.0	12.5±0.2
5	4	3	44.6±0.3	42.5±0.6	13.0±0.3

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar. LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, PPT = proteína polimérica total, A-G = albúminas y globulinas.

**Cuadro17** Composición proteica de las harinas de las líneas experimentales de trigo del ciclo 2003-2004.

LE	FS	ER	PPT (%)	Gladinas (%)	A-G (%)
1	1	2	40.7±0.5	44.7±0.8	14.5±0.2
1	1	3	39.8±1.0	43.9±0.9	16.3±0.1
1	2	2	41.6±0.5	45.4±0.6	13.1±0.1
1	2	3	42.1±0.7	45.4±0.8	12.5±0.1
1	3	2	42.1±0.8	45.3±1.3	12.6±0.5
1	3	3	40.7±1.0	47.5±1.0	11.9±0.0
1	4	2	43.1±0.0	46.7±0.5	10.4±0.3
1	4	3	41.2±0.2	47.6±0.6	11.3±0.2
2	1	2	41.8±0.6	44.2±0.3	14.1±0.1
2	1	3	42.1±0.2	44.0±0.2	13.9±0.0
2	2	2	43.3±0.9	43.3±0.9	13.4±0.0
2	2	3	42.8±0.2	44.2±0.1	13.0±0.1
2	3	2	42.1±0.5	44.8±0.9	13.2±0.4
2	3	3	42.8±0.6	45.0±0.5	12.2±0.2
2	4	2	42.3±0.4	45.7±0.5	12.3±0.1
2	4	3	41.9±0.6	46.8±0.7	11.3±0.1
3	1	2	42.6±0.3	41.7±1.0	15.7±0.7
3	1	3	41.8±0.9	42.2±0.6	16.0±0.3
3	2	2	42.1±0.4	43.6±0.4	14.3±0.0
3	2	3	41.5±0.6	44.8±0.8	13.6±0.1
3	3	2	39.2±0.3	46.8±0.6	14.2±0.2
3	3	3	42.8±0.3	45.5±0.4	11.8±0.3
3	4	2	42.6±0.7	43.9±0.9	13.7±0.5
3	4	3	41.1±0.1	47.1±0.1	12.0±0.0
4	1	2	44.0±0.0	40.6±0.6	15.7±0.4
4	1	3	40.6±0.6	43.0±0.0	17.1±0.1
4	2	2	41.3±0.3	45.4±0.1	13.4±0.2
4	2	3	42.7±0.4	44.7±0.5	13.1±0.1
4	3	2	41.6±0.9	43.9±0.7	15.7±0.4
4	3	3	43.5±0.7	44.9±0.7	12.0±0.0
4	4	2	44.1±0.1	44.1±0.1	12.0±0.0
4	4	3	43.5±0.7	44.5±0.7	12.7±0.5
5	1	2	42.2±0.3	42.9±0.7	15.1±0.1
5	1	3	42.0±0.0	43.1±0.1	15.0±0.0
5	2	2	42.5±0.7	43.6±0.8	14.1±0.1
5	2	3	42.1±0.1	44.3±0.1	14.0±0.0
5	3	2	42.0±0.0	44.6±0.5	14.1±0.1
5	3	3	41.8±0.5	46.7±0.3	11.8±0.4
5	4	2	41.6±0.6	45.5±0.7	13.2±0.1
5	4	3	42.8±0.4	45.6±0.6	11.8±0.3

Valores promedio de triplicados ± desviación estándar. LE = línea experimental, FS = fecha de siembra, ER = esquema de riego, PPT = proteína polimérica total, A-G = albúminas y globulinas.

**Cuadro 18.** Análisis general de las líneas experimentales, fechas de siembra y esquema de riego.

Factor		Fmax-45	Ext-45	GII	PPH	PPNEH	PPNET	VP
LE	1		+	+				
	2	-					-	
	3	+	-	-	-	-		-
	4				+	+	+	+
	5							
FS	1		+	-	-	-	-	-
	2							
	3	-						
	4	+		+	+	+	+	+
	5							
ER	2	+	+					-
	3	-	-					+

LE = línea experimental; FS = fecha de siembra; ER = esquema de riego; Fmax-45 = Resistencia máxima a los 45 min de reposo; Ext-45 = Extensibilidad a los 45 min de reposo; PPH = porcentaje de proteína polimérica en la harina; PPNEH = proporción de proteína polimérica no extralible en la harina; PPNET = proporción de proteína polimérica no extralible en la proteína polimérica total; VP = volumen de pan.