



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos  
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

**Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Granos**

**Cambios en las Proteínas en Tres Variedades de Trigo Panadero  
(*Triticum aestivum L.*) con Diferente Contenido del Desorden Fisiológico  
"Panza Blanca"**

## TESIS

Que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta:

***Edith Alejandra Matus Barba***

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos. Señor gracias por los triunfos y por no dejarme vencer en los momentos difíciles, llenándome de amor y fortaleza.

A mis padres †**Chely Barba Guerrero y Jesús José Matus Navarro** por brindarme alegrías, por apoyarme en los buenos y malos momentos, me enseñaron a amar la vida y a valorar las cosas sencillas. Le doy gracias a Dios por haberme permitido ser su hija. Madre mía que estas en el cielo, estoy segura que de poder verme, me dirías que estas orgullosa de mí, gracias por todo el apoyo que me brindaste para iniciar una de las muchas etapas que me faltan, gracias por confiar en mí, ten por seguro que no te defraudaré. Hoy es un día especial, aunque no estés a mi lado no creas que te he olvidado, sigues viva en mi corazón, y allí, vivirás por siempre. Madre me haces tanta falta, te extraño y tú lo sabes y más en los momentos importantes de mi vida, quisiera poder abrazarte y decirte lo mucho que te quiero, pero te adelantaste antes de terminar esta etapa. Gracias papas los quiero mucho.

A mis hermanas, **Teresita**, por brindarme su confianza, acompañarme en esta espera, por comprender mi ausencia, soportar mis malos momentos, gracias hermana te quiero mucho, sabes que siempre puedes contar conmigo. †**Vianey**, fuiste un gran ejemplo para mí hermana, siempre te llevaré en mí mente y corazón.

A mis amigas **Zulema, Lupita y Emma** por compartir momentos inolvidables durante estos años, por sus valiosos consejos que me hicieron más ligera esta carga, gracias por acompañarme en ese día tan importante para mí y levantarme el ánimo.

A todos **mis Familiares**, me resulta muy difícil poder nombrarlos a todos en tan poco espacio, sin embargo, ustedes saben quiénes son.

**Edith Alejandra Matus Barba**

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Sonora**, en especial al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos** (DIPA) por darme la oportunidad de formar parte de ellos al realizar mis estudios de maestría, además por todas las facilidades brindadas para el desarrollo del presente trabajo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por el apoyo económico para la realización de mis estudios en esta institución.

A la **Dra. Patricia Isabel Torres Chávez**, por creer en mí aceptándome para la realización de la presente investigación bajo su dirección. Por su paciencia, su valioso tiempo, asesoría, dedicación, así mismo, por su apoyo, consejos y por no dejarme vencer ante los obstáculos que se me presentaron. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta investigación. De todo corazón muchas gracias.

Al **Dr. Benjamín Ramírez Wong**, por su valioso apoyo y sugerencias que contribuyeron a mejorar el desarrollo de esta investigación. Gracias por sus consejos.

A la **Q.B. Guadalupe Amanda López Ahumada**, por su apoyo, consejos y comprensión; además, por las sugerencias realizadas a esta investigación. Gracias por confiar en mí y darme ánimos.

Al **M.A. Alfonso Álvarez Avilés**, por su apoyo y sugerencias para mejorar el desarrollo de esta investigación.

A mis **maestros**, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por los conocimientos que me transmitieron en el desarrollo de mi formación, además por su motivación para la culminación de esta investigación.

A todos los laboratorios del DIPA, en especial al **Laboratorio de Química en Alimentos, Reología y Panificación, y Molinos**, por su apoyo en la realización de esta investigación.

A la **M.C. Concepción Lorenia Medina Rodríguez**, por su asesoría en el uso del equipo LECO, para la realización de esta investigación. Gracias maestra conchita, por su valioso tiempo.

A la **M.C. Beatriz Montaña Leyva**, gracias Bety por hacerme una estancia muy agradable en el laboratorio brindándome tu amistad, tu apoyo, por aconsejarme cuando más lo necesite. Tú sabes que te aprecio mucho.

A todo el **personal del DIPA**, que de una u otra manera me ayudaron a tener una mejor estancia en este departamento y a la realización de esta investigación; como olvidar a la indispensable **L.E.I. María del Socorro Favela Martínez (Coty)**, por su apoyo en todos los trámites realizados en la maestría. A todos muchas gracias.

A mis **compañeros**, que nos ayudamos mutuamente en nuestra formación, que me permitieron entrar en sus vidas durante estos años, gracias por su amistad y apoyo en los momentos más difíciles. En especial a **Zulema y Fabiola** gracias por escucharme, aconsejarme, darme ánimos y por compartir parte de su vida conmigo.

Son muchas las personas especiales a las que les agradezco su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otras en mi mente y corazón. Sin importar en dónde estén o algún día lleguen a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por sus bendiciones. A ti que dedicaste tu tiempo en leer esta tesis. Hay que sonreírle a la vida. Gracias.

**Edith Alejandra Matus Barba**

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
ANTECEDENTES.....	5
Generalidades del Trigo.....	5
Clasificación del Trigo.....	6
Constitución Genética del Trigo.....	6
Proteínas del Trigo.....	7
Proteínas Monoméricas.....	7
Albúminas y Globulinas.....	7
Gliadinas.....	8
Proteínas poliméricas.....	9
Gluteninas.....	9
Albúminas de masa molecular alta.....	10
Triticinas.....	10
Importancia de las Gluteninas en la Calidad Panadera.....	10
Efecto de los Factores Ambientales y la “Panza Blanca” en las Proteínas del Trigo.....	12
Acumulación de las fracciones proteicas.....	12
Factores ambientales.....	14
Fertilización con nitrógeno.....	14
Fertilización con azufre.....	15
Temperatura.....	17
Estrés hídrico.....	18

## CONTENIDO (Cont...)

	<b>Página</b>
“Panza blanca” en el grano de trigo.....	19
Análisis de las Proteínas del Trigo.....	21
Cromatografía líquida de alta resolución en las proteínas del trigo.....	21
Cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular.....	21
Cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa.....	22
Análisis Multivariado.....	23
Análisis de componentes principales.....	23
Análisis de cúmulos jerárquicos.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Materia Prima.....	24
Limpieza del Grano de Trigo.....	24
Determinación del Contenido de Trigo con “Panza Blanca”.....	24
Descripción de las Muestras.....	25
Preparación de las Muestras.....	25
Pruebas Químicas.....	25
Contenido de humedad.....	25
Contenido de proteína total.....	25
Cromatografía Líquida de Alta Resolución de Exclusión Molecular de la Proteína Soluble.....	26
Análisis de la Proteína Polimérica Insoluble.....	27
Análisis de Cromatografía Líquida de Alta Resolución de Fase Inversa para Gliadinas.....	27
Análisis de Cromatografía Líquida de Alta Resolución de Fase Inversa para Gluteninas.....	28
Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico.....	30
Análisis estadístico descriptivo.....	30

## CONTENIDO (Cont...)

	<b>Página</b>
Análisis de componentes principales preliminar.....	30
Análisis de cúmulos jerárquicos.....	33
Análisis de componentes principales por grupo.....	33
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
Incidencia de "Panza Blanca" en el Grano de Trigo.....	34
Análisis de Componentes Principales por Variedades Preliminar.....	36
Contenido de proteína y proporción de proteína polimérica insoluble.....	37
Proporciones de proteína soluble.....	40
Proteínas del gluten.....	45
Subclases de gliadinas.....	46
Subunidades de gluteninas.....	50
Análisis de Cúmulos Jerárquicos.....	55
Contenido de Proteína.....	57
Proteína polimérica Insoluble.....	60
Fracciones de proteína soluble .....	61
Subclases de Gliadinas.....	63
Subunidades de gluteninas.....	64
Análisis de Componentes Principales por Grupos.....	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>72</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Programa del gradiente en pasos para gliadinas.....	29
2. Programa del gradiente en pasos para gluteninas.....	31
3. Propiedades de los tres componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales del contenido de proteína, proporción de proteína polimérica insoluble y corregida por el contenido de proteína.....	38
4. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las proteínas solubles.....	43
5. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las gliadinas.....	48
6. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las gluteninas.....	52
7. Rangos, medias y desviaciones estándar de las proteínas de 44 muestras de trigo con diferente contenido de PB agrupadas en tres grupos.....	58
8. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de los grupos.....	66

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Histograma de la distribución de frecuencia de los trigos normales y con diferente contenido de “panza blanca” por variedad.....	35
2. Análisis de componentes principales. (A) Contenido de proteína (Prot), proporción de proteína polimérica insoluble (PPI) y proteína polimérica insoluble corregida por el contenido de proteína (CCPPI); (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB.. Kron, Kronstad; Ray, Rayón; Tac, Tacupeto; N, normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.....	39
3. Cromatogramas representativos en la separación de las proteínas solubles de la variedad Kronstad, Rayón y Tacupeto. (A, C, y E) Trigo normal y (B, D y F) trigo con diferente contenido de PB. PPS, proteína polimérica soluble; Alb+Glo, albúminas y globulinas.....	41
4. Análisis de componentes principales. (A) Proteína soluble; (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. PPS, proteína polimérica insoluble (fracción 1, 2 y 3); Alb, albúminas; glo, globulinas; gli, gliadinas; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína. N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.....	44
5. Separación de las subclases de gliadinas de las variedades (A) Kronstad, (B) Rayón y (C) Tacupeto de los trigos normales y con PB..	47
6. Análisis de componentes principales. (A) Subclases de gliadinas, (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. Gli, gliadinas; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína; Kron, Kronstad; Ray, Rayón; Tac, Tacupeto; N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.....	49

## LISTA DE FIGURAS (Cont...)

Figura	Página
7. Separación de las subunidades de gluteninas de las variedades (A) Kronstad, (B) Rayón y (C) Tacupeto de los trigos normales y con PB. HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja.....	51
8. Análisis de componentes principales. (A) Subunidades de gluteninas; (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. N, normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo. HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja; N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.....	53
9. Dendograma obtenido del análisis de cúmulos a partir de los resultados de las determinaciones realizadas a 44 trigos con diferente contenido de PB (●, grupo 1; ♥, grupo 2; ♦, grupo 3).....	56
10. Análisis de componentes principales por grupos. (A) variables estudiadas, (B) grupos con diferente contenido de PB. Prot, contenido de proteína; PPI, proteína polimérica insoluble; PPS, proteína polimérica soluble (fracciones 1 y 3); alb, albúminas; glo, globulinas; gli, gliadinas; HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína; 1, contenido intermedio de PB; 2, contenido alto de PB; 3, trigo normal o sin PB .....	67

## RESUMEN

El cultivo de trigo panadero en el estado de Sonora está presentando un desorden fisiológico conocido como “panza blanca”, caracterizado por la presencia de endospermo harinoso y contenido bajo de proteína, lo que afecta su calidad panadera y comercialización. El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en las fracciones proteicas de trigo panadero por efecto de diferentes contenidos de panza blanca y así avanzar en el conocimiento de las causas del problema, y efecto de este desorden en la calidad panadera de los trigos. Se colectaron 97 muestras de tres variedades de trigo; Kronstad, Rayón y Tacupeto recibidas por el Molino “La Fama” del ciclo 2007-2008, con diferente contenido de PB. Se analizó el contenido de proteína y la proteína polimérica insoluble por el método de combustión de Dumas. La fracción proteica soluble en propanol al 50% se analizó mediante la técnica de cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular, en donde se separaron, la proteína polimérica soluble, las gliadinas, las albúminas y globulinas. Las subclases de gliadinas ( $\omega$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) y las subunidades de gluteninas de masa molecular alta y de masa molecular baja se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa. La variedad Kronstad de trigo normal presentó un contenido mayor de proteína y de PPI, mientras que la variedad Tacupeto con alto contenido de PB un contenido menor de proteína y de PPI. Los grupos 1 y 2 de trigos con contenido intermedio y alto de PB respectivamente, presentaron un menor contenido de proteína, de proteína polimérica insoluble y un contenido mayor de proteína polimérica insoluble corregida por el contenido de proteína; además se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la proporción de las diferentes fracciones de la proteína proteica soluble; la proporción de la proteína polimérica soluble disminuyó, al igual que una fracción de gliadinas, la de masa molecular menor. Sin embargo, se observó un incremento en la proporción de otra fracción de gliadinas, la de masa molecular mayor y de albúminas y de globulinas; así mismo el contenido de las gliadinas  $\omega$ , de gliadinas  $\alpha + \beta$  y de las subunidades de gluteninas de masa molecular baja disminuyeron en los grupos 1 y 2 respecto a los trigos normales

del grupo 3. El alto contenido de panza blanca en los trigos se relaciona con una baja cantidad de las subunidades de gluteninas de masa molecular baja cuando se corrigió por el contenido de proteína, reflejándose en una proporción mayor de las subunidades de gluteninas de masa molecular alta, explicando el aumento en la proteína polimérica insoluble corregida. La disminución del contenido de proteína y de la proteína polimérica insoluble, así como el cambio en las proporciones de la proteína soluble, repercutirá en la calidad panadera de los trigos con panza blanca.

## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más importantes en el mundo, en términos de producción y utilización; es una fuente importante de alimento para la humanidad, ya que aporta energía, proteínas, vitaminas y minerales (FAO, 2005).

La calidad panadera del trigo es de carácter complejo, depende de factores genéticos y ambientales. Los principales componentes que determinan la calidad panadera del trigo son las proteínas formadoras del gluten. Éstas proteínas consisten en dos fracciones principales: las gliadinas, monoméricas, que interactúan por fuerzas no covalentes y las gluteninas, poliméricas, que se estabilizan por puentes disulfuro (Shewry y col., 2003).

En la zona triguera del Noroeste de México que comprende los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California, se ha venido observando en el grano de trigo un carácter conocido como "panza blanca" (PB), el cual se presenta como una porción opaca, almidonosa que puede ocupar una parte o la totalidad del endospermo del grano y afectar la calidad de la harina, lo que se debe a un cultivo de trigo que se ha manejado bajo deficiencia de nitrógeno (Martínez, 1985).

El contenido de proteína del trigo depende fuertemente de factores intrínsecos (constitución genética de la variedad) y factores extrínsecos, tales como: nitrógeno, humedad y temperatura durante la etapa de crecimiento. Una reserva adecuada de nitrógeno, así como la dosis y fecha de aplicación de éste, contribuye a la disminución de la incidencia de la PB (Gianibelli y col., 1990); mientras que los factores extrínsecos que favorecen la expresión del grano con PB son: la baja fertilización nitrogenada, fecha de siembra y calendarios de riegos. La presencia de éste desorden afecta la calidad de la proteína del trigo (Solís y Díaz de León, 2001).

En un estudio realizado por Matus (2007) en trigo panadero con PB se observó que los granos con éste desorden fisiológico tenían un contenido de proteína inferior (8.87%), comparados con los granos vítreos (14.69%). Además, la presencia de PB en el trigo afectó las propiedades reológicas de las masas al disminuir: la absorción de agua, el tiempo de mezclado, la fuerza, la extensibilidad y el trabajo de deformación.

En investigaciones anteriores se estudió el efecto de la fertilización con nitrógeno sobre la incidencia de PB en trigo cristalino (Ryan y col., 1997), trigo panadero (Gianibelli y col., 1990) y triticale (Sharma y col. 1983); encontraron que se reduce este desorden fisiológico al aumentar la dosis de nitrógeno, además, que los granos con PB presentan un contenido menor de proteína comparado con los granos vítreos. En estudio reciente, Cortés (2008) encontró que el nitrógeno es el único factor que incrementa el contenido de proteína y reduce la incidencia de PB en el grano de trigo.

Además, se ha demostrado en diferentes estudios de trigo panadero con PB (Raath y col., 1995; Gianibelli y col., 1990), que la proporción de gliadinas se reduce significativamente, mientras que la proporción de albúminas-globulinas aumenta en éstos granos, en comparación con los granos vítreos.

Durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2007-2008, en el estado de Sonora (principalmente en los campos del Valle del Yaqui, Hermosillo y Caborca) se han presentando cultivos de trigos panaderos hasta con más de 60% de PB (Comunicación Personal, Sr. Benjamín Viramontes de Molino la Fama, 2008). Esta situación representa un serio problema que afecta no solo la calidad del trigo sino además su comercialización. Actualmente los molinos harineros pueden recibir trigos hasta con un 10% de PB. Sin embargo, la mayoría de los productores de trigo no son capaces de comercializar eficientemente su producto a buen precio, ya que una cantidad mayor de PB se traduce a una calidad menor requerida para la industria. Debido a que este desorden fisiológico afecta solo la calidad industrial del grano y no

el rendimiento (Hernández, 1992), los productores se ven en la necesidad de vender sus trigos a industrias que elaboran alimentos para animales presentando pérdidas económicas.

La problemática descrita anteriormente y además que la calidad del trigo depende principalmente de las proteínas formadoras del gluten y el conocimiento actual sobre los cambios que ocurren debidos al defecto PB, no es suficiente, es que se planteó estudiar el comportamiento que presentan las fracciones proteicas del trigo con la presencia de PB, con la finalidad de aportar información que permita conocer mejor la causa de la reducción en la calidad panadera de los trigos afectados por esta condición y así, coadyuvar a mejorar la calidad de los trigos cultivados en Sonora.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinar los cambios en las fracciones proteicas de trigo panadero comercial con diferente contenido de "panza blanca".

### **Objetivos Específicos**

1. Comparar el contenido de proteína monomérica y polimérica soluble de tres variedades de trigo normal y con "panza blanca".
2. Comparar el contenido de proteína polimérica insoluble de tres variedades de trigo normal y con "panza blanca".
3. Identificar las fracciones proteicas que se ven afectadas por el desorden fisiológico "panza blanca".

## ANTECEDENTES

### Generalidades del Trigo

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta de crecimiento anual, de altura promedio de un metro. Sus hojas verdes, brotan muy pronto y van seguidas por tallos muy delgados rematados por espigas de cuyos granos molidos se saca la harina (CANIMOLT, 2008). Es un cultivo muy versátil, puede desarrollarse en casi todo tipo de terreno y en diferentes climas, siendo por ello uno de los más cultivados en todo el mundo. Entre las variedades más cultivadas se encuentran las panaderas (*Triticum aestivum*) y cristalinas (*Triticum durum*) (Atwell, 2001).

El grano de trigo está compuesto por diferentes partes: salvado, endospermo y embrión (Hoseney, 2002). Su composición química varía de acuerdo a la variedad y tipo de trigo, así como de acuerdo a las condiciones climáticas y de los suelos en los cuales fue cultivado, por lo mismo no posee una composición química uniforme. Por lo general, la composición química del trigo en promedio es de 14% de proteína, 2% de lípidos, 12% de fibra dietaria, 2% de minerales y 70% de carbohidratos digeribles (Bourne, 1989).

De los granos de cereales, el trigo es único, debido a que su harina por si sola tiene la capacidad de formar una masa que exhibe las propiedades reológicas necesarias para la elaboración de pan y para una infinidad de alimentos que se han desarrollado tomando ventajas de estos atributos. Las propiedades del grano de trigo residen principalmente en el gluten formado por las proteínas de almacenamiento del endospermo. Además, las proteínas del gluten, gliadinas y gluteninas son la fuente más importante de proteínas en la dieta humana (Gianibelli y col., 2001). Las propiedades tecnológicas del trigo están relacionadas con los polímeros de glutenina, principalmente de subunidades de masa molecular alta y de masa molecular baja, las cuales están unidas por enlaces disulfuro (Patacchini y col., 2001).

## Clasificación del Trigo

El endospermo de trigo está formado principalmente de almidón y proteína. Los trigos panaderos se caracterizan por tener un endospermo más suave que los trigos cristalinos. El grano de trigo se puede clasificar según la textura del endospermo en endospermo vítreo y endospermo almidonoso. El endospermo vítreo posee una superficie lisa, frágil, translúcida y transparente, debido a que la luz no se difracta cuando pasa a través del endospermo, porque existe una fuerte adherencia entre la proteína y el almidón en este tipo de endospermo; mientras que el endospermo almidonoso se diferencia por la ausencia de zonas translúcidas y presenta un endospermo más blanco y opaco debido a que hay espacios de aire que deberían estar ocupados por proteína (Dexter y col., 1989).

## Constitución Genética del Trigo

El trigo es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo, es de gran utilidad entender la organización de su genoma para propósitos de mejoramiento y para localización de genes de interés agronómico (Devos y Gale, 1993).

Las especies de trigo se clasifican de acuerdo al número de cromosomas que se encuentran en la célula vegetativa. Un genoma es el conjunto de cromosomas de un organismo y, en la especie de trigo, se encuentran siete pares de cromosomas (Ma, 2005). A cada par de cromosoma se le da un número seguido de una letra, la letra se refiere al genoma del cual el par es heredado (Payne y col., 1984).

Todas las especies de trigos cultivadas en el mundo pertenecen al género *Triticum*, el cual se divide en los grupos einkorn, emmer y dinkel. El trigo einkorn posee un genoma básico el cual contiene 1 genoma doble (AA) dentro del cual se encuentran siete pares de cromosomas, con un total de 14 cromosomas contenidos en su genoma. Este trigo es responsable del genoma A del *Triticum*. Los trigos

emmer son tetraploides que contienen 2 genomas dobles (AABB), tiene 14 pares de cromosomas y todo su genoma contiene 28 cromosomas. El trigo dinkel es un trigo hexaploide (panadero), el cual tiene 3 genomas dobles (AABBDD), este trigo contiene 21 pares de cromosomas y en total su genoma tiene 42 cromosomas (Hsam y col., 2001). Los genomas A, B y D codifican grupos de proteínas de almacenamiento que se pueden distinguir entre ellos por electroforesis (Payne y col., 1984). El hecho de que el trigo panadero sea hexaploide y que la información genética esté triplicada, hace que los análisis genéticos sean complejos. Además, la presencia de tres genomas homólogos le permiten tolerar pérdidas o adiciones de cromosomas, lo cual no es posible en especies diploides (Devos y Gale, 1993); por lo que, la eliminación de cromosomas no es letal, debido a que los genes de los cromosomas eliminados, estarán presentes en sus cromosomas homólogos.

### **Proteínas del Trigo**

Las proteínas del trigo se pueden clasificar usando diversos criterios; en base a su solubilidad, composición química, composición genética, entre otros. Desde el punto de vista funcional, las proteínas del trigo se dividen en dos clases principales: proteínas monoméricas y proteínas poliméricas (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli y col., 2001).

#### **Proteínas monoméricas**

Las proteínas monoméricas se encuentran formadas por polipéptidos de una sola cadena y comprenden dos grupos: albúminas-globulinas y gliadinas.

**Albúminas y globulinas.** Las albúminas y las globulinas son proteínas estructurales y metabólicas que se acumulan principalmente en la fase inicial del crecimiento del grano y de ahí permanecen casi constantes hasta el llenado del grano (Triboi y col., 2003). Estas proteínas son una mezcla de compuestos de masa molecular baja (20,000 a 30,000). Las albúminas son solubles en agua mientras que las globulinas

en soluciones salinas (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli y col., 2001). Las albúminas y globulinas contienen una cantidad menor de ácido glutámico y cantidad mayor de lisina, debido a que se encuentran en proporciones menores en el endospermo del trigo, su presencia no es suficiente para superar la falta de lisina en la harina de trigo (Gianibelli y col., 2001). En general, se cree que las albúminas y globulinas no desempeñan un papel fundamental en la calidad de la harina (Schofield y Booth, 1983).

**Gliadinas.** Las gliadinas son el mayor grupo de proteínas que contiene el endospermo. Éstas representan alrededor del 40% del total de las proteínas del grano (Daniel y Triboi, 2000). Son proteínas monoméricas solubles en alcohol, que interaccionan por enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Tatham y Shewry, 1995a). Las gliadinas le dan extensibilidad y viscosidad a la masa. Sus masas moleculares se encuentran desde 30,000 a 80,000. Las gliadinas se caracterizan por contener cantidades relativamente altas de glutamina y prolina, y una cantidad menor de glicina. En base a su movilidad electroforética a pH ácido en gel de poliacrilamida (A-PAGE) se dividen en cuatro grupos; gliadinas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ), y omega ( $\omega$ ) (orden de movilidad decreciente) (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli y col., 2001). Las masas moleculares de las gliadinas- $\omega$  se encuentran entre 46000 y 74000, y las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  van de 30000 a 45000 por electroforesis de gel de poliacrilamida-dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE) y la secuencia de aminoácidos (Kasarda y col., 1983). Los genes que codifican a las gliadinas  $\omega$ ,  $\gamma$  y algunas gliadinas  $\beta$  se encuentran en el brazo corto de los cromosomas 1A, 1B y 1D y los genes que codifican a las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y algunas gliadinas  $\gamma$  se encuentran en el brazo corto de los cromosomas 6A, 6B y 6D (Anjum y col., 2007; Payne y col., 1984).

## Proteínas poliméricas

Los principales tipos de proteínas poliméricas se separan por exclusión por tamaño y se identifican como gluteninas, albúminas de masa molecular alta y tritricinas.

**Gluteninas.** Las gluteninas son proteínas poliméricas formadas por enlaces disulfuro de polipéptidos; contienen ácido glutámico y prolina y contienen cantidades reducidas de lisina; le dan fuerza y elasticidad a la masa (Gianibelli y col., 2001). Pueden separarse en dos grupos en base al tamaño de los polipéptidos que forman sus polímeros, en subunidades de gluteninas de masa molecular baja (LMW, del inglés, Low Molecular Weight) que están en el rango de 36,000 a 44,000 y subunidades de gluteninas de masa molecular alta (HMW, del inglés, High Molecular Weight) están entre 95,000 a 136,000 (Shewry y col., 1986). Sin embargo, de acuerdo a su movilidad electroforética en SDS-PAGE, después de reducir los enlaces disulfuro, se pueden clasificar en cuatro grupos (regiones A, B, C y D). El grupo A (80,000 a 120,000) corresponde a las subunidades de gluteninas de HMW; los grupos B (42,000 a 51,000), C (30,000 a 40,000), y D (55,000 a 70,000), son las subunidades de gluteninas de LMW (Gianibelli y col., 2001).

Las subunidades de gluteninas de HMW son codificadas por los genes *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, en el brazo largo de los cromosomas 1A, 1B y 1D, respectivamente (Payne y col., 1984). Cada loci incluye dos genes unidos que codifican dos diferentes tipos de subunidades de gluteninas de HMW: las subunidades tipo "x" y tipo "y". El tipo "x" tiene una movilidad electroforética menor en SDS-PAGE, un número menor de residuos de cisteína y una masa molecular mayor que las tipo "y" (Payne y col., 1981), mientras que los genes que codifican a las subunidades de gluteninas de LMW se encuentran en el brazo corto de los cromosomas 1A, 1B y 1D (Anjum y col., 2007; Payne y col., 1984).

**Albúminas de masa molecular alta.** En este grupo se incluyen a las  $\beta$ -amilasas, pero no se encuentran presentes en los cuerpos proteicos. Su masa molecular es de aproximadamente 60,000. Las albúminas de masa molecular alta tienden a formar polímeros entre sí a través de puentes de disulfuro. Estas proteínas están codificadas por el brazo largo de los cromosomas 4DL, 4AL y 5DL ( $\beta$ -Amy-1) (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli y col., 2001).

**Triticinas.** Las triticinas son consideradas como proteínas tipo globulinas debido a su solubilidad. Consisten de polímeros entre sus propias subunidades. Estas proteínas tienen grandes cantidades de lisina y treonina. No se ha encontrado relación con la calidad panadera (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli y col., 2001). Las triticinas están codificadas por los genes en el brazo corto del cromosoma 1A (*Tri-A1*) y 1D (*Tri-D1*) (Gianibelli y col., 2001).

### **Importancia de las Gluteninas en la Calidad Panadera**

Las proteínas del gluten de trigo desempeñan un papel importante en la calidad de panificación del trigo confiriéndole la capacidad de absorción de agua, cohesividad, viscosidad y elasticidad a la masa. Las proteínas del gluten consisten en dos fracciones principales: gliadinas y gluteninas. Ambas fracciones son contribuyentes importantes en las propiedades reológicas de las masas, pero su función es diferente. Las gliadinas hidratadas son menos elásticas y cohesivas que las gluteninas, contribuyen principalmente a la viscosidad y extensibilidad de la masa. En contraste, las gluteninas hidratadas son cohesivas y elásticas, responsables de la fuerza y elasticidad de la masa. Una mezcla adecuada de ambas fracciones es esencial para las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad del producto final (Wieser, 2007).

La distribución de la masa molecular (DMM) de las proteínas del trigo es reconocida como la principal determinante en las propiedades físicas de la masa. La DMM de las proteínas del trigo está determinada por la cantidad relativa de las

proteínas monoméricas y poliméricas y además por la DMM de las proteínas poliméricas. Esta última, a su vez, depende de la proporción de las subunidades de gluteninas de HMW y las subunidades de gluteninas de LMW (Southan y MacRitchie, 1999). Tres factores influyen en la DMM: 1) las subunidades de gluteninas de HMW resultantes de la variación alelica (por ejemplo la presencia de subunidades de gluteninas de HMW 5+10 vs 2+12) (Payne y col., 1987; Gupta y MacRitchie, 1994), 2) la presencia de gliadinas que actúan como terminadores de cadena (Masci y col., 1999), y 3) relación de subunidades de gluteninas de HMW/LMW (MacRitchie y Gupta, 1993).

La determinación de la DMM de las proteínas del trigo se ve obstaculizada por la dificultad de su solubilización (Southan y MacRitchie, 1999). Las proteínas poliméricas son subunidades de gluteninas unidas mediante enlaces disulfuro; estas proteínas se han dividido en dos fracciones mediante su solubilidad en algunos solventes como buffer de fosfatos en SDS (Gupta y col., 1993) y propanol al 50% (Bean y col., 1998) en proteína polimérica soluble y proteína polimérica insoluble (PPI). La diferencia de solubilidad entre estas fracciones se debe a la diferencia en la masa molecular, ya que ésta disminuye al incrementar su tamaño molecular, debido a que los arreglos que se van dando entre las moléculas y el solvente van disminuyendo dándose con esto una entropía baja de mezclado (Gupta y col., 1993; Singh y MacRitchie, 2001). En la fracción insoluble se encuentran los polímeros de gluteninas de mayor tamaño. En muchos casos, existe una buena correlación entre el porcentaje de PPI de la harina y los parámetros de fuerza de la masa. Por lo tanto, no solo la cantidad total de las proteínas poliméricas es importante, sino la distribución de tamaño de las proteínas poliméricas (Gupta y col., 1993).

En algunos estudios se ha comprobado que la proteína polimérica total y el porcentaje de proteína polimérica presentes en el trigo, la cual está formada por las subunidades de gluteninas, tiene gran influencia en las propiedades reológicas y la calidad panadera que presentan las masas elaboradas con esos trigos (Rhazi y col., 2003). La PPI presenta una mayor correlación con la fuerza de las masas que la



proteína polimérica total presente en la harina; lo que indica que la fracción polimérica de masa molecular mayor (fracción insoluble) es la que contribuye principalmente a las variaciones en las propiedades de la masa (Gupta y col., 1996; Shewry y Tatham, 1997; Islas y col., 2005).

Las subunidades de gluteninas de HMW son un componente menor, en términos de cantidad; sin embargo, son importantes en el proceso de panificación, son las que determinan la elasticidad del gluten y estas subunidades son las que promueven la formación de polímeros grandes de gluteninas (Anjum y col., 2000; Anjum y col., 2007); Se ha demostrado que el tipo y cantidad de las subunidades de gluteninas de HMW presentes en la harina de trigo tienen una alta correlación con la fuerza del gluten y por lo tanto con la calidad panadera de la misma (Hsam y col., 2001); mientras que las subunidades de gluteninas de LMW representan el 60% del total de las gluteninas (D'Ovidio y Masci, 2004); estas también tienen un efecto sobre las propiedades viscoelásticas de las masas de trigo (Luo y col., 2001; Maucher y col., 2009). Sin embargo, no se han estudiado tan extensivamente como las subunidades de gluteninas de HMW debido en gran parte a el largo número de polipéptidos (Gianibelli y col., 2001; D'Ovidio y Masci, 2004).

### **Efecto de los Factores Ambientales y la “Panza Blanca” en las Proteínas del Trigo**

#### **Acumulación de las fracciones proteicas**

En el trigo, las proteínas se separan en base a su solubilidad en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas. Durante el desarrollo del grano estas proteínas se acumulan en diferentes etapas. Las proteínas estructurales y metabólicas (albúminas y globulinas) se acumulan en el grano principalmente durante la división celular (Triboi y col., 2003), desde la antesis (florescencia) hasta aproximadamente 20 días después de antesis (DDA) y de ahí permanecen a un nivel constante (Gupta y col., 1996; Stone y Nicolas, 1996; Panozzo y col., 2001); mientras que las proteínas de

almacenamiento (gliadinas y gluteninas) se acumulan aproximadamente desde 6 DDA hasta el final del desarrollo del endospermo del grano (Gupta y col., 1996; Stone y Nicolas, 1996; Panozzo y col., 2001; Triboi y col., 2003) y se utilizan como fuente de nitrógeno durante la germinación (Shewry y Halford, 2002). Se ha reportado que las gliadinas empiezan a acumularse primero que las gluteninas durante el llenado del grano (Stone y Nicolas, 1996; Panozzo y col. 2001).

La acumulación de las diferentes fracciones de las proteínas es muy diferente, por lo que se concluye que la composición proteica del grano cambia durante el desarrollo del grano. Existen algunas condiciones que acortan el llenado del grano, tales como la fertilización, la temperatura o la sequía, las cuales afectan el balance de las fracciones proteicas (Jamieson, y col., 2001).

El contenido y la composición de las proteínas del trigo afectan su habilidad para hacer ciertos productos finales (Mikhaylenko y col., 2000; Branlard y col., 2001). Es de importancia conocer cómo influyen los factores intrínsecos y extrínsecos sobre el contenido y composición de las proteínas. Se han realizado diversos estudios que han demostrado su influencia. El contenido de proteína está fuertemente influenciado por factores ambientales (factores extrínsecos) como la aplicación de N, exceso de agua, y la temperatura durante el llenado del grano; así como por las prácticas de manejo de la siembra, la densidad, el crecimiento de las raíces, el número de macollos y el número de flores por espiga (Mikhaylenko y col., 2000; DuPont y Altenbach, 2003; Tea y col., 2004; Bahrman y col., 2004); mientras que la composición de las proteínas depende principalmente de la constitución genética de la variedad (factor intrínseco), pero significativamente es afectada por los factores ambientales y sus interacciones; existen diferencias en la capacidad potencial que tienen los genotipos para acumular el N dentro del grano y en las estrategias de acumulación y removilización del N en la planta. Los genotipos pueden presentar variaciones en las proporciones relativas de proteínas solubles e insolubles, gliadinas y gluteninas (Graybosch y col., 1996; Huebner y col., 1997; Triboi y col., 2000; Zhu y Khan, 2001).

## Factores ambientales

Los factores ambientales que tienen gran influencia sobre las proteínas del trigo son la fertilización del suelo, las condiciones climáticas y las condiciones de siembra.

**Fertilización con nitrógeno.** El nitrógeno (N) es uno de los factores ambientales más importantes, el cual afecta tanto el contenido como la composición cuantitativa de las proteínas del trigo (Daniel y Triboi, 2000; Triboi y col., 2000). Además, es esencial para el crecimiento de la planta y para la producción de proteína (Paredes y col., 1985). Es de gran importancia la disponibilidad de este elemento durante todo el periodo de cultivo del trigo, el exceso de N al comienzo del ciclo de cultivo produce aumento del rendimiento del grano, mientras que el exceso de N posterior (después de la floración) conduce a aumentar la riqueza proteica (Hoseney, 1991).

Las gliadinas y gluteninas del trigo son los componentes del gluten, el cual determina la calidad de la harina, cuando se usa para diferentes procesos tecnológicos, los cuales consisten en una serie de etapas que se desarrollan en forma secuenciada y planificada en función de la elaboración de un producto, por ejemplo, en las etapas de panificación; es por ello la importancia de la influencia de la fertilización con N sobre estas fracciones proteicas. En algunos estudios realizados se menciona que la fertilización con N afecta tanto la calidad como la cantidad en las proteínas del gluten. Sin embargo, otros estudios revelan que el incremento de la cantidad de proteína en la harina, resultado de la aplicación de N en el grano, puede también inducir a cambios en la composición de la proteína como la proporción de proteína monomérica (albúminas, globulinas y gliadinas), la proporción de proteína polimérica (gluteninas) y la proporción de subunidades de gluteninas de HMW en los polímeros de gluteninas (Luo y col., 2000; Yue y col., 2007; Saint Pierre y col., 2008a).

La aplicación de N incrementa la proporción de gliadinas, incrementando el contenido proteico y disminuyendo la proporción de gluteninas (Triboi y col., 2000; Dupont y Altenbach, 2003; Martre y col., 2003; Johansson y col., 2004; Pedersen y Jorgensen, 2007). En cambio las albúminas y las globulinas no se incrementan proporcionalmente (Doekes y Wennekes, 1982, Gupta y col., 1992; Johansson y col., 2001; Triboi y col., 2003).

Existen varias investigaciones que se han realizado para evaluar el efecto que tiene el N o la temperatura en los tipos de gliadinas y de gluteninas. Wieser y Seilmeier (1998), y Wieser y col. (2008) encontraron que la proporción de las gliadinas  $\omega$  y las subunidades de gluteninas de HMW se incrementan y la proporción de las gliadinas  $\alpha$ ,  $\gamma$  y las subunidades de gluteninas de LMW decrecen con la fertilización nitrogenada. Daniel y Triboi (2000) encontraron que la proporción de las gliadinas  $\omega$  se incrementa con la aplicación de N e incremento de la temperatura. La proporción de gliadinas  $\alpha$  disminuye con el N e incrementa con la temperatura, mientras que las gliadinas  $\gamma$  incrementan con el N y disminuyen con la temperatura. Además, en otro estudio se encontró que todas las fracciones de las proteínas del grano se incrementan (incluyendo las gluteninas solubles e insolubles), sin embargo, se incrementó más la proporción de gluteninas solubles que el de las gluteninas insolubles, resultando en una disminución del índice de polimerización de las gluteninas (Wang y col., 2008). Cuando se aplica N después de la antesis, se incrementa la velocidad de acumulación de las subunidades de gluteninas de HMW comparada con las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  y las subunidades de gluteninas de LMW durante el desarrollo del endospermo del trigo (DuPont y col., 2006a, b).

**Fertilización con azufre.** La fertilización con azufre (S) en el trigo también tiene una influencia importante en la calidad de las proteínas de la harina de trigo, esto es por la relevancia de los enlaces disulfuro (S-S) en mantener la funcionalidad del gluten (Shahsavani y Gholami, 2008). Una deficiencia de S puede causar cambios en la concentración de proteínas (Wooding y col., 2000).

Cuando el S es limitante en la fertilización, puede haber reordenación de las cantidades de los diferentes grupos de proteínas, con un drástico efecto sobre la distribución de la masa molecular y, éste determina las propiedades físicas de las masas (Southan y MacRitchie, 1999).

Tatham y Shewry (1985a) clasificaron a las proteínas del gluten dentro de tres grupos en base al contenido de S: las proteínas pobres en S, gliadinas  $\omega$ ; las subunidades de gluteninas de HMW con cantidad intermedia de S; dentro de las proteínas ricas en S se encuentran las gliadinas  $\alpha$ ,  $\gamma$  y las subunidades de gluteninas de LMW (Dupont y Altenbach, 2003). La fertilización con N incrementa la polimerización, mientras que la fertilización con S, induce a la formación de moléculas pequeñas (subunidades de gluteninas de LMW). La aplicación de ambos fertilizantes (N+S) incrementan la masa molecular de la PPI (Tea y col., 2004).

La deficiencia de S en el desarrollo del trigo da como resultado una fuerza mayor en la masa de la harina y una reducción en la extensibilidad de la masa. Además, bajo estas condiciones se incrementa la síntesis de proteínas del gluten bajas en S (gliadinas  $\omega$  y subunidades de gluteninas de HMW) y disminuye la proporción de las proteínas ricas en S (subunidades de gluteninas de LMW, gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , albúminas y globulinas) (MacRitchie y Gupta, 1993; Shewry y Tatham 1997; Wieser y col., 2004).

Cundo se aplica S al grano de trigo, se observa que las proteínas albúminas y globulinas se incrementan, mientras que la PPI disminuye, lo que indica que la formación de puentes disulfuro intramolecular de los polímeros de las subunidades individuales de gluteninas suceden más en las subunidades de gluteninas de LMW que en las subunidades de gluteninas de HMW, por lo tanto hay una disminución de la fuerza de la masa debido a una disminución en el índice de polimerización de las gluteninas (Tea y col., 2004).

**Temperatura.** Algunas variables como la fertilización y la variedad pueden controlarse mientras que otras como la temperatura no (Saseendran y col., 2004). Las temperaturas altas hacen que aumente la relación gliadinas/gluteninas y disminuya la proporción de polímeros grandes en la harina en algunas variedades de trigo. Cuando las plantas de trigo no reciben niveles altos de fertilizante durante su desarrollo, el contenido de proteínas puede aumentar por el calor debido a la diferencia de efectos de la temperatura sobre las proteínas y esto puede o no dar lugar a diferencias en la composición de las proteínas y calidad de la harina. El contenido de proteína y los niveles de gliadinas  $\omega$  son más altos en la harina de plantas cultivadas bajo regímenes altos de fertilización o temperatura (DuPont y Altenbach, 2003).

La temperatura (24/17°C a 37/28°C) hace que se incremente el contenido de proteína en el grano. Estas temperaturas altas durante el llenado del grano influyen en la acumulación de las proteínas del gluten. La cantidad relativa de ciertas proteínas como las gliadinas  $\omega$  y subunidades de gluteninas de HMW se incrementan y las subunidades de gluteninas de LMW disminuyen en la producción del grano bajo esos regímenes de temperatura (DuPont y col., 2006b; DuPont y col., 2007). La velocidad de acumulación es más rápida para las gliadinas  $\omega$  y subunidades de gluteninas de HMW que en las subunidades de gluteninas de LMW en la producción del grano en altas temperaturas (DuPont y col., 2006a).

El porcentaje de proteínas y gliadinas en la harina se incrementa a temperaturas altas y con la aplicación de N, mientras que la cantidad de proteínas o gliadinas por grano tiene un efecto negativo a temperaturas altas y un efecto positivo con la fertilización de N. La proporción de  $\omega$  gliadinas se incrementa con ambos factores, mientras que las gliadinas  $\alpha$  y  $\beta$  aumentan con la temperatura y disminuyen con el N, y las gliadinas  $\gamma$  disminuyen con el aumento de la temperatura e incrementan con el N. Estos diferentes efectos de la temperatura y el N sobre el contenido de gliadinas en proteínas y sobre la composición de las gliadinas en la

harina se explican por la cantidad total de proteínas o acumulación de gliadinas en el grano (Daniel y Triboi, 2000).

**Estrés hídrico.** La sequía es uno de los factores más importantes en la producción de los cultivos y se ha estado convirtiendo en uno de los problemas más graves en varias regiones del mundo (Izanloo y col., 2008). Es por ello, que la búsqueda de especies y variedades tolerantes al estrés hídrico constituye una de las vías consideradas por los investigadores y productores para la explotación de las áreas, donde las sequías son frecuentes o no se cuenta con el suministro de agua necesario (Kirigwi y col., 2004).

El análisis de la cinética de la acumulación de gliadinas y gluteninas en los campos de regadío o agua proveniente de la lluvia, no mostraron un efecto significativo de la sequía (Panozzo y col., 2001). Del mismo modo, la sequía después de anéxsis no afectó la tasa de acumulación de los polímeros de gluteninas solubles e insolubles, sin embargo, la sequía después de anéxsis acortó el periodo de llenado del grano antes del inicio de la insolubilización del polímero, debido a la producción de almidón (Bhullar y Jenner, 1985; Cassman y col., 1992, Triboi y col., 2000; Daniel y Triboi, 2002; Fowler, 2003).

Cuando el trigo crece bajo condiciones adecuadas de humedad, el contenido de proteína depende en gran medida de la disponibilidad de N (Saseendran y col., 2004); mientras que el contenido de proteína en la harina es significativamente incrementado bajo deficiencia de agua (Guttieri y col., 2000; Ozturk y Aydin, 2004; Saint Pierre, 2008b), debido principalmente a una velocidad alta de acumulación del N en el grano y una velocidad baja de acumulación de carbohidratos. El riego, por el contrario, puede disminuir el contenido de proteína en la harina por la dilución del N con carbohidratos. El déficit de agua afecta la calidad del uso final del trigo (Guttieri y col., 2005). Algunos investigadores han utilizado algunas estrategias como aumentar la fertilización nitrogenada y reducir riegos para aumentar la concentración de proteína en el grano de trigo (Guttieri y col., 2005; Brown y Petrie, 2006).

Cuando se aplica riego al cultivo, el rendimiento se incrementa, pero el contenido de proteína del grano, proteína monomérica (albúminas, globulinas y gliadinas) disminuye con respecto al tratamiento sin riego. En cambio, cuando se incrementa la frecuencia de riego, el contenido de gluteninas solubles se incrementa, mientras que el contenido de gluteninas insolubles y el índice de polimerización de las gluteninas disminuyen (Wang y col., 2008).

### **“Panza blanca” en el grano de trigo**

Panza blanca (PB) es un desorden fisiológico importante que se presenta en el grano de trigo; esta se reconoce por presentar endospermo suave, de color opaco; se caracteriza por la presencia de áreas adyacentes almidonosas y vítreas. Las áreas almidonosas se identifican como unas manchas que van de blanco a blanco amarillento, de acuerdo a las capas externas del grano, dándole un aspecto moteado. Estas manchas de aspecto almidonoso pueden ocupar una parte, la mitad o la totalidad del endospermo del grano. Los granos con PB se han reportado que tienen un contenido mayor de humedad, contenido alto de almidón y un contenido bajo de proteína en comparación con los granos normales (Dexter y col., 1989; Gianibelli y col., 1990; Sharma y col., 1983; Dowell, 2000). La apariencia de estos granos está dada por una infinidad de grietas microscópicas dentro del endospermo, que al observarse en el microscopio presentan gránulos de almidón parcialmente sueltos y espacios entre ellos; en granos vítreos estos espacios están ocupados por una matriz de proteína (Sharma y col., 1983). La PB afecta gravemente el contenido de proteína del grano; además, afecta las propiedades reológicas de la masa, así mismo la calidad del trigo panadero en la elaboración de pan (Ammiraju y col., 2002; Matus, 2007).

Existen diversos factores que influyen en la presencia de PB en el grano de trigo. Una reserva adecuada de N, así como la dosis y fecha de aplicación de éste, contribuye a la disminución de la incidencia de PB, mientras que los factores que favorecen la expresión del grano con PB son: la composición, la baja fertilización



nitrogenada, la fecha de siembra, los calendarios de riegos (Sólis y Díaz de León, 2001) y la genética (Dhaliwal y col., 1986). La presencia de éste desorden puede afectar la calidad de la proteína del trigo.

En investigaciones anteriores se encontró que el contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo de trigo es importante, ya que cuando este se encuentra bajo estrés hídrico, donde no se aplica agua sino que se utiliza el agua de temporada (precipitación pluvial), es menor la incidencia de PB; mientras que cuando se emplea gran cantidad de agua por medio de riegos y la aplicación de N es menor, el cultivo suele ser más propenso a la presencia de PB. Esto puede indicar que el N puede ser diluido por la gran cantidad de agua en el suelo y no estar disponible tanto para el desarrollo del grano como la producción de proteína (Robinson y col., 1979; Solís y Díaz de León, 2001). Asimismo se ha estudiado el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la incidencia de PB en: trigo cristalino (Ryan y col., 1997), trigo panadero (Gianibelli y col., 1990) y triticale (Sharma y col., 1983); estas investigaciones mencionan que se reduce este desorden fisiológico al aumentar la dosis de N, además, que los granos con PB presentan un contenido menor de proteína comparado con los granos normales. El estrés del N en el desarrollo del grano, no solo disminuye el contenido de proteína, sino también la proporción de gliadinas significativamente, mientras que la proporción de albúminas/globulinas aumenta en trigos panaderos con PB en comparación con granos normales (Gianibelli y col., 1990; Raath y col., 1995). Pocos son los estudios en relación a la PB en trigos panaderos; sin embargo, no se sabe mucho sobre la base genética de PB. Dhaliwal y col. (1986) investigaron la heredabilidad de PB en el trigo panadero y se encontraron que dos genes dominantes se localizan en los cromosomas 1A y 7A, y cuatro modificaciones en 4A y 4B, 6A y 6D, los cuales tienen influencia en la expresión de PB en el trigo.

## **Análisis de las Proteínas del Trigo**

Existen técnicas que permiten separar a las proteínas del trigo como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, del inglés, High Performance Liquid Chromatography).

### **Cromatografía líquida de alta resolución en las proteínas del trigo**

La cromatografía líquida de alta resolución es una de las técnicas que se utiliza para caracterizar a las proteínas de los cereales. Además, permite analizar un gran número de muestras de manera fácil y rápida, presentando una alta resolución y reproducibilidad y es posible su automatización (Bietz, 1986). Existen diversas técnicas como la cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular (SE-HPLC, del inglés, Size Exclusion-HPLC) y la cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa (RP-HPLC, del inglés, Reverse Phase-HPLC).

**Cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular.** La SE-HPLC es una de las técnicas que actualmente se utiliza para medir las proporciones de las principales proteínas del endospermo del grano de trigo (albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas) y otros cereales (Labuschagne y col., 2004; Larroque y col., 2000). Los resultados que se han obtenido con esta técnica tienen una alta correlación con la calidad panadera del trigo (Gupta y col., 1993; Southan y MacRitchie, 1999; Larroque y col., 2000).

La separación de las proteínas mediante esta técnica se lleva a cabo al hacer pasar la muestra a través de un soporte contenido dentro de una columna. Este soporte está compuesto por pequeñas esferas que contienen poros de un tamaño determinado y uniforme. La muestra se caracteriza por ser una mezcla compleja de proteínas de diferente tamaño molecular, donde los componentes de mayor tamaño que los poros de las esferas no penetran en estas, y por lo tanto, se excluyen de la columna con una rapidez mayor, mientras que los componentes de menor tamaño

penetran en los poros de las esferas; por lo que requerirán mayor tiempo para salir de la columna, siendo así la separación en base a su tamaño molecular (Sadek, 2000).

La fase móvil que se utiliza en SE-HPLC actúa solo como medio de transporte debido a que la separación se produce nada más en términos del tamaño molecular ya que no hay interacción con la columna, la muestra o el empaque (Nollet., 2004).

**Cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa.** La HPLC de fase inversa es lo contrario a la HPLC de fase normal en cuanto a que trabaja con una fase estacionaria no polar y una fase móvil polar. La RP-HPLC es un método que frecuentemente se utiliza para el análisis de las proteínas del gluten. Su resolución es igual o superior que la mayoría de otros métodos, y es más rápida, reproducible y sensible que la SE-HPLC. La RP-HPLC proporciona buena cuantificación y recuperación y es adecuada tanto para una separación preparativa y analítica. En RP-HPLC, las proteínas se separan en base a sus diferencias de hidrofobicidad en la superficie; se puede utilizar sola o complementarla con otros métodos de separación, como la electroforesis en gel de poliacrilamida, que se basa en el tamaño y/o la carga (Lookhart y col., 2003b; Shewry y Lookhart, 2003).

Al caracterizar a las gluteninas por medio de RP-HPLC, se tiene que los picos que presentan una hidrofobicidad menor pertenecen a las subunidades de gluteninas de HMW y los picos de hidrofobicidad mayor pertenecen a las gluteninas de LMW. En cuanto a las gliadinas, las tipo  $\omega$  son menos hidrofóbicas, y en seguida aparecen los picos correspondientes a las gliadinas  $\alpha+\beta$  y por último las gliadinas  $\gamma$  (Uthayakumaran, 2001).

## Análisis Multivariado

El análisis multivariado es un conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es el análisis de datos con más de dos variables dependientes. El análisis multivariado tiene como propósito medir, explicar y predecir el grado de relación entre las variables dependientes. Por lo tanto, el carácter multivariado reside en las múltiples combinaciones de las variables dependientes y no sólo en el número de variables dependientes u observaciones. El análisis multivariado se divide en varias técnicas, se describirán las que se utilizaron en este estudio para el análisis de resultados, tales como: el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de cúmulos jerárquicos (ACJ) (Hair y col., 1999).

**Análisis de componentes principales.** El ACP es una técnica estadística que permite la visualización directa de la relación que existe entre las variables dependientes. Este método permite transformar un conjunto de variables dependientes, intercorrelacionadas, en otro conjunto de variables dependientes no correlacionadas denominadas componentes principales (CP) (Hair y col., 1999; Aamodt y col., 2003).

**Análisis de cúmulos jerárquicos.** El ACJ es una técnica que permite agrupar a los objetos en grupos, de manera que los individuos de un mismo grupo tienen características similares que grupos distintos, con respecto a un criterio de selección predeterminado. Este análisis genera un dendograma el cual es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un ACJ (Hair y col., 1999; Patindol y col., 2009).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Materia Prima**

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron 97 muestras comerciales con diferente contenido de “panza blanca” (PB) de las variedades Kronstad-F2004, Rayón-F89 y Tacupeto-F2001 (F, muestras del grupo 1 o trigos panaderos de gluten fuerte; seguida del año de liberación de la variedad) cosechadas en el ciclo otoño invierno 2007-2008, las cuales fueron proporcionadas por el molino “La Fama” de esta Ciudad. Durante esa cosecha el molino “La Fama” recibió en total 77,284.64 toneladas de trigo, obteniéndose 59,950.93 toneladas de la variedad Kronstad, 21,690.29 toneladas de la variedad Rayón y 25,643.63 toneladas de la variedad Tacupeto. Las muestras se transportaron al laboratorio de Química de Cereales del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, donde se llevo a cabo el estudio.

### **Limpieza del Grano de Trigo**

El grano de trigo se limpió con zarandas, eliminando la materia extraña del mismo como son: granos diferentes al trigo, granos quebrados, granos pequeños, residuos vegetativos, polvo, piedras, palos, entre otros. Una vez limpio el trigo, se colocó en bolsas de plástico a -18°C.

### **Determinación del Contenido de Trigo con “Panza Blanca”**

El contenido de trigo con PB se determinó siguiendo los procedimientos de la Norma Mexicana NMX-FF-036-1996 modificada. Se pesaron 100g de trigo limpio, posteriormente se separaron manualmente los granos con PB del trigo normal. Se consideró como trigo normal a aquel trigo de color café, café claro ligeramente amarillo, café rojizo (dependiendo de la variedad), translucido el cual no contenía PB;

mientras que el trigo con PB a todo aquel grano que presentó una coloración blanca o blanco amarillento, la cual se manifestó como un punto, una mancha que cubría un área, la mitad o totalidad del endospermo del grano. Los granos con PB se expresaron en porcentaje. Determinándose de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Trigo con "panza blanca" (\%)} = \frac{\text{masa de granos con "panza blanca"}}{100 \text{ g}} \times 100$$

### Descripción de las Muestras

A las 97 muestras se les determinó el contenido de PB y se encontró que 26 muestras no contenían PB y que 71 muestras tenían diferentes porcentajes de PB; posteriormente se realizó un submuestreo, tratando de equilibrar el número de muestras entre variedades. El número de muestras que se usó para el análisis de proteínas fue de 44, de las cuales, de trigo normal fueron 11 y de trigo con PB fueron 33.

### Preparación de las Muestras

Los granos de trigo se molieron en un molino de café doméstico de cuchillas (marca krups, modelo 203). El trigo molido se colocó en frascos de plástico a  $-18^{\circ}\text{C}$  para ser analizado en forma completa.

### Pruebas Químicas

**Contenido de humedad.** La determinación del contenido de humedad del grano de trigo molido se realizó mediante el método 44-40 de la AACC (2000).

**Contenido de proteína total.** La determinación del contenido de proteína total en el grano de trigo molido se llevó a cabo por el método de combustión de Dumas, mediante el determinador de nitrógeno (marca Leco FP528), multiplicando el valor

obtenido de nitrógeno por el factor de conversión 5.7, utilizando el método 46-30 de la AACC (2000).

### **Cromatografía Líquida de Alta Resolución de Exclusión Molecular (SE-HPLC) de la Proteína Soluble**

#### **Extracción de proteína**

La extracción se llevó a cabo utilizando el método propuesto por Bean y col. (1998), para obtener la proteína soluble. Se colocaron 250 mg de trigo molido en un vial, en donde se le adicionó 1 mL de 1-propanol al 50%, se agitó por 5 minutos en un vortex (Genie 2 scientific Industries, Bohemia, NY) con previa agitación con una espátula y centrifugo a 8, 200 x g por 5 minutos en una centrífuga (marca Eppendorf, modelo 5415D). Se tomaron 500  $\mu$ L del sobrenadante y se almacenaron en un vial. La extracción se repitió y se añadió la misma cantidad de sobrenadante al vial, para obtener un total de 1 mL. El extracto total se centrifugó a 12, 000 x g por 15 minutos, con el fin de remover partículas en suspensión y evitar el filtrado en la preparación de la muestra para HPLC. Además, se realizó una extracción más, descartando el sobrenadante y el pellet se guardó para la determinación de la proteína polimérica insoluble.

#### **Cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular**

El análisis de la proteína soluble se realizó utilizando un equipo de HPLC (marca Varian ProStar), que consistió en un automuestreador (marca Varian ProStar, modelo 410) con un carrusel de 84 sitios, una bomba cuaternaria (marca Varian modelo 240), un detector de arreglo de diodos UV-visible (marca Varian ProStar, modelo 330) y un regulador de temperatura para la columna (marca Timberline). Se utilizó una columna de exclusión molecular (marca Phenomenex Biosep SEC-S 4000) con un tamaño de 300 x 7.8 mm, un tamaño de partícula de 5  $\mu$ m y un tamaño de poro de 400 Å. Se inyectaron alícuotas de 10  $\mu$ L en una columna con temperatura

de 40°C y se fraccionaron a un flujo de 0.5 mL/min con acetonitrilo (ACN) al 50%, conteniendo ácido trifluoroacético (TFA) al 0.1% y con un tiempo de equilibrio de 5 minutos entre inyecciones. La detección de las fracciones de proteína se hizo de una manera continua a una longitud de onda de 210 nm (Bean y col., 1998).

### **Análisis de Proteína Polimérica Insoluble**

El "pellet" que se obtuvo mediante la extracción de proteína soluble con 1-propanol al 50% se secó en una estufa de convección (marca Felisa) a 105 °C por cuatro horas. Al "pellet" seco se le determinó el contenido de proteína polimérica insoluble mediante el método de combustión de Dumas, usando el determinador de nitrógeno (marca Leco FP528 St. Joseph, MI), multiplicando el valor obtenido de nitrógeno por el factor de conversión 5.7, siguiendo el método 46-30 de la AACC (2000) (Bean y col., 1998).

### **Análisis de Cromatografía Líquida de Alta resolución de Fase Inversa (RP-HPLC) para Gliadinas**

#### **Extracción de proteína**

La extracción se llevó a cabo mediante el método de Bean y col. (1998) para obtener el extracto de gliadinas. A 300 mg de trigo molido se le agregó 1 mL de 1-propanol al 50%, se agitó por 5 minutos en un vortex (Genie 2 scientific Industries, Bohemia, NY) con previa agitación con una espátula y se centrifugó a 8, 200 x g por 5 minutos en una centrifuga (marca Eppendorf, modelo 5415D). Se tomaron 500 µL del sobrenadante y se almacenaron en un vial. La extracción se repitió y se añadió la misma cantidad de sobrenadante al vial, para obtener un total de 1 mL. También se realizó otra extracción descartando el sobrenadante y el pellet se guardó para la determinación de gluteninas.



## **Cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa**

Para la separación de proteínas se utilizó el mismo equipo de HPLC descrito en la sección anterior. Se utilizó una columna (ZORBAX 300SB-CN), con un tamaño de poro de 300 Å, 4.6 mm de diámetro, 250 mm de longitud y un tamaño de partícula de 5 µm (marca Agilent). En la Tabla 1 se muestra el programa del gradiente en pasos para gliadinas. La fase móvil que se utilizó en cada paso, consistió en acetonitrilo (ACN) y agua con 0.1% de ácido trifluoroacético (TFA). El solvente A consistió en ACN, el solvente B fue agua con 0.1% de TFA y el solvente C es ACN con 0.1% de TFA. El volumen de inyección fue de 10 µL y el flujo de 0.5 mL/min a 70 °C por 48 minutos, iniciando con 25% de C, aumentando a 33% de C por 10 minutos, después a 40% de C por 20 minutos. Por último se aumentó a 50% de C por 48 minutos. El tiempo de equilibrio entre inyecciones fue de 10 minutos y la lectura se hizo a 210 nm (Lookhart y col., 2003a).

### **Análisis de Cromatografía Líquida de Alta Resolución de Fase Inversa (RP-HPLC) para Gluteninas**

#### **Extracción de proteína**

La extracción se llevó a cabo utilizando el método modificado propuesto por Bean y col. (1998). Al pellet que se obtuvo de la extracción de gliadinas, se le adicionaron 950 µL de 1-propanol al 50%, y 50 µL de 2-mercaptoetanol y se agitó por 1 hora en un vortex (Genie 2 scientific Industries, Bohemia, NY) y se centrifugó a 15,000 x g por 15 minutos en una centrifuga (marca Eppendorf, modelo 5415D).

#### **Cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa**

El equipo, la columna y las fases móviles fueron las mismas que se utilizaron para el análisis de gliadinas. Se utilizó un gradiente en pasos para la separación de

Tabla 1. Programa del gradiente en pasos para gliadinas.

Tiempo (min)	Flujo (mL/min)	ACN <sup>1</sup> (A) (%)	Agua+0.1%TFA (B) (%)	ACN+0.1%TFA (C) (%)
0	0.5	0	75	25
10	0.5	0	67	33
20	0.5	0	60	40
48	0.5	0	50	50

<sup>1</sup>ACN, Acetonitrilo; TFA, Ácido trifluoroacético.

las subunidades de gluteninas. El volumen de inyección fue de 10  $\mu\text{L}$  y el flujo de 0.5 mL/min a 50 °C por 52 minutos, iniciando con 23% de C, aumentando a 33% de C por 5 minutos, después a 43% de C por 30 minutos, posteriormente a 55% de C por 1 minuto y siguió aumentando a 58% de C en 14 minutos manteniendo la misma concentración por 2 minutos más (Tabla 2). El tiempo de equilibrio entre inyecciones fue de 10 minutos y la lectura se hizo a 206 nm (Lookhart y col., 2003a).

## **Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico**

### **Análisis estadístico descriptivo**

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, construyendo un histograma de distribución de frecuencias, para determinar la incidencia de PB en las 97 muestras de las tres variedades de trigo (Kronstad, Rayón y Tacupeto).

### **Análisis de componentes principales preliminar**

Para la realización del análisis de datos, que incluyera todas las determinaciones, se utilizaron 44 muestras de trigo normal (11 muestras) y con PB (33 muestras) de las variedades Kronstad, Rayón y Tacupeto, los datos se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP). Esta técnica permitió reducir el número de variables dependientes, perdiendo una cantidad menor de información posible, dando como resultado un número menor de variables dependientes, representadas por los CP y así se seleccionaron aquellas variables dependientes que estuvieron más relacionadas con el contenido de PB.

Para decidir cuántos componentes se utilizarían en este estudio y seleccionar las variables dependientes, se emplearon algunos criterios, tales como el valor propio, el porcentaje de variabilidad que aportó cada CP, para llegar a un número de CP específicos. Los valores propios representaron el número de variables dependientes que se acumularon en cada CP, éstos a su vez acumularon la

Tabla 2. Programa del gradiente en pasos para gluteninas.

Tiempo (min)	Flujo (mL/min)	ACN <sup>1</sup> (A) (%)	Agua+0.1%TFA (B) (%)	ACN+0.1%TFA (C) (%)
0	0.5	0	77	23
5	0.5	0	67	33
35	0.5	0	57	43
36	0.5	0	45	55
50	0.5	0	42	58
52	0.5	0	42	58

<sup>1</sup>ACN, Acetonitrilo; TFA, Ácido trifluoroacético.

variabilidad de las variables dependientes de forma desigual. Pocos fueron los CP que acumularon un número mayor de variables, así como un porcentaje de variabilidad original alto; por lo tanto se escogieron los dos primeros CP; en primer lugar se seleccionó el primer componente principal (CP1), ya que fue el que acumuló un número mayor de variables dependientes y explicó la mayor variabilidad; a continuación, el segundo componente principal (CP2) que fue el que explicó más variabilidad de la que no se explicó en el CP1.

Una vez seleccionados los dos primeros CP, es importante su interpretación para ello fue necesario realizar una rotación factorial de los ejes que definen esos CP, en la cual se giran en el origen los ejes de los dos primeros CP hasta alcanzar una determinada posición; al rotar los CP, los ejes forman un ángulo de 90 grados. Este procedimiento implica que los CP son matemáticamente independientes y que la rotación ha sido ortogonal. El efecto de rotar la matriz de factores es redistribuir la varianza de los dos primeros CP para lograr un patrón de factores más simple. Dentro de la rotación factorial esta la rotación varimax que fue la que se utilizó debido a que es adecuada cuando el número de CP es reducido; además en este tipo de rotación los CP no están correlacionados entre sí, por lo tanto, la rotación varimax permitió minimizar el número de variables dependientes que presentaron mayor correlación con cada CP y no relacionado con las demás variables dependientes, es decir cada CP explicó la dispersión de unas cuantas variables dependientes. Asimismo la rotación varimax permitió visualizar las correlaciones entre las variables dependientes, entre las variables dependientes y el contenido de PB, y entre las variables dependientes y la variedad de los trigos con ayuda de la rotación ortogonal, cuando dos variables dependientes están lejos del centro del gráfico, entonces si están: cercas unas de otras, están correlacionadas positivamente y significativamente ( $r$  cerca de 1), ortogonales unas de otras, no están correlacionadas significativamente ( $r$  cerca de 0) y simétricamente opuestas con respecto al centro, están correlacionadas negativamente y significativamente ( $r$  cerca de -1).

El ACP preliminar permitió seleccionar las 20 variables dependientes de mayor importancia descriptiva de un total de 39 variables dependientes, para posteriormente realizarles un análisis de cúmulos jerárquicos (ACJ) y un ACP.

### **Análisis de cúmulos jerárquicos**

Se realizó un ACJ con el objetivo de agrupar a los trigos por el contenido de PB basándose en las características de las 20 variables dependientes seleccionadas mediante el ACP.

Posteriormente al obtener los grupos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para establecer la diferencia entre los grupos formados mediante el ACJ con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  y una comparación de medias por la prueba de Tukey para observar diferencias entre tratamientos específicos.

### **Análisis de componentes principales por grupo**

Se realizó el ACP por grupo para ver la relación que existe entre los CP y las variables dependientes, entre las variables dependientes, y entre las variables dependientes y los grupos con diferente contenido de PB.

El análisis estadístico se llevó a cabo usando el programa XL-STAT-Pro versión 9.0 (2009 Addinsoft) para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Incidencia de “Panza Blanca” en el Grano de Trigo

El endospermo del grano de trigo se puede clasificar como vítreo o no vítreo (harinoso o almidonoso). A los granos que tienen partes del endospermo almidonosos se les dice granos con “panza blanca” o granos almidonosos. Los granos con endospermo vítreo son de color ámbar translucidos, debido a una estructura interna compacta, mientras que los granos con endospermo no vítreos son opacos, se caracterizan por la presencia de áreas adyacentes almidonosas y vítreas porque la estructura del endospermo es menos compacta, con espacios abiertos (Dexter y col. 1989; Dowell, 2000).

Inicialmente, se analizaron un total de 97 muestras comerciales, de las cuales 26 muestras correspondieron al trigo panadero normal y 71 muestras al trigo con PB de tres diferentes variedades (Kronstad, Rayón y Tacupeto) cosechadas en el ciclo otoño-invierno 2007-2008. En la Figura 1 se muestra el histograma de distribución de las muestras de trigo normal y con diferente contenido de PB que se obtuvieron en este estudio. Se puede presumir que las variedades Tacupeto y Rayón son más susceptibles a la presencia del desorden fisiológico PB, debido a que tienen una cantidad mayor de muestras con este defecto (33 y 26 muestras, respectivamente) de un total de  $n=34$  y  $n=32$ , respectivamente y además, presentan los porcentajes más altos de granos con endospermo almidonoso, los cuales tienen una coloración blanca o blanco amarillento que cubre una parte, la mitad o la totalidad del endospermo del grano, dando una apariencia moteada. La variedad Kronstad presentó un número menor de muestras con PB (12 muestras) de un total de  $n=31$ , por lo tanto se puede pensar que, tiene una resistencia mayor a la presencia de este desorden fisiológico.

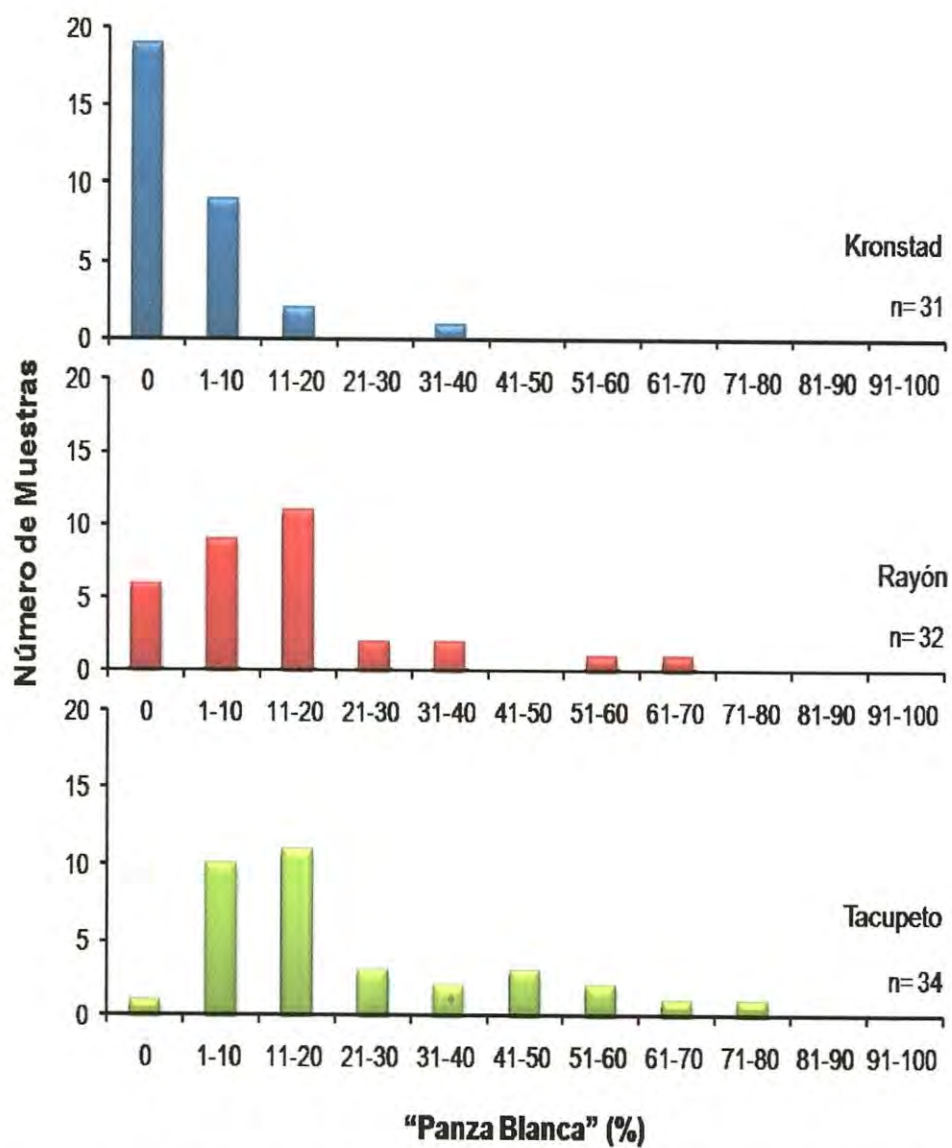


Figura 1. Histograma de la distribución de frecuencia de los trigos normales y con diferente contenido de "panza blanca" por variedad.



Las variedades Kronstad, Rayón y Tacupeto presentaron el 39%, el 81% y el 97% de las muestras con PB, respectivamente. Estos porcentajes altos nos pueden dar una idea de la magnitud del problema de PB en los trigos debido a que el molino "La Fama" recibió un total de 77,284.86 toneladas de trigo, siendo 29,950.93 toneladas de la variedad Kronstad, 21,690.29 toneladas de la variedad Rayón y 25,643.63 toneladas de la variedad Tacupeto, de las cuales nos proporcionaron las muestras evaluadas en este estudio.

La causa del comportamiento en la incidencia de PB que presentaron las tres variedades de trigo, puede ser a consecuencia de varios factores que pudieron favorecer las condiciones necesarias para la presencia de PB en el trigo, tales como las condiciones del suelo, la fecha de siembra, el calendario de riegos, la fecha y la dosis de aplicación de N y el uso de variedades sensibles (Robinson y col., 1977; Sharma y col. 1983; Gianibelli y col., 1990; Ryan y col., 1997; Solís y Díaz de León, 2001; Cortés, 2008); sin embargo, no se puede afirmar ya que se desconoce bajo qué condiciones se sembraron estas variedades.

### **Análisis de Componentes Principales por Variables Preliminar**

El análisis de componentes principales (ACP) utiliza la correlación entre variables dependientes y permite la visualización de la relación que existe entre ellas (Aamodt y col., 2003). Este método permitió interrelacionar la información de las variables dependientes en un pequeño número de nuevas variables dependientes, llamadas componentes principales (CP) y con ello se seleccionaron aquellas que estuvieron más relacionadas con el contenido de PB, así mismo, se empleo este análisis preliminar para ver el efecto que presentó la variedad con el contenido de PB.

## Contenido de proteína y proporción de proteína polimérica insoluble

Las proteínas son los componentes más importantes del grano de trigo ya que regulan su calidad y uso final (Weegels y col., 1996). La variación tanto en el contenido como la composición de las proteínas modifica la calidad de la harina panificable (Weegels y col., 1996; Lafiandra y col., 1999; Branlard y col., 2001). Dentro de las proteínas del trigo están las proteínas poliméricas las cuales se han dividido en dos fracciones: la proteína polimérica soluble (PPS) y la proteína polimérica insoluble (PPI).

Un total de tres CP explica la variabilidad en el contenido de proteína, la proporción de PPI y la proteína polimérica insoluble corregida por el contenido de proteína (CCPPI) en los trigos con diferente contenido de PB (Tabla 3). La rotación varimax se utilizó para reducir el número de variables dependientes que influyen en el trigo con diferente contenido de PB (Figura 2). Solamente los dos primeros CP fueron considerados en la rotación, se observa que el primer componente principal (CP1) explicó 2.15 variables individuales y el segundo componente principal (CP2) 0.84 variables individuales (Tabla 3), por lo tanto, se explicó la variabilidad mejor que en los otros componentes. Como se observa en la Figura 2 con los dos primeros componentes se explicó el 99.97% de la variabilidad observada en los datos. El CP1 explicó el 62.17% y el CP2 con 37.79% de la variabilidad observada. Las variables dependientes de mayor importancia en el CP1 fueron el contenido de proteína y la proporción de la PPI; en el CP2 la CCPPI. Además, se muestra que el contenido de proteína, la proporción de la PPI y la CCPPI no presentaron correlaciones importantes entre sí (Figura 2A). Las variables dependientes contenido de proteína y la proporción de la PPI que están en el cuadrante inferior derecho presentaron una relación con las variedades Kronstad y Rayón de trigos normales y además, están inversamente relacionadas con la CCPPI que se encuentra en el cuadrante opuesto, superior izquierdo, la cual presentó una relación mayor con las variedades Tacupeto (15, 42, 50, 60, 69 y 71% de PB) y Rayón (59 y 61% de PB) con alto contenido de PB en las muestras, estas variedades presentaron los valores más altos y una relación

Tabla 3. Propiedades de los tres componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales del contenido de proteína, proporción de la proteína polimérica insoluble y corregida por el contenido de proteína.

Componente Principal	Valor Propio	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	2.155	71.84	71.84
2	0.844	28.11	99.96
3	0.001	0.03	100.00

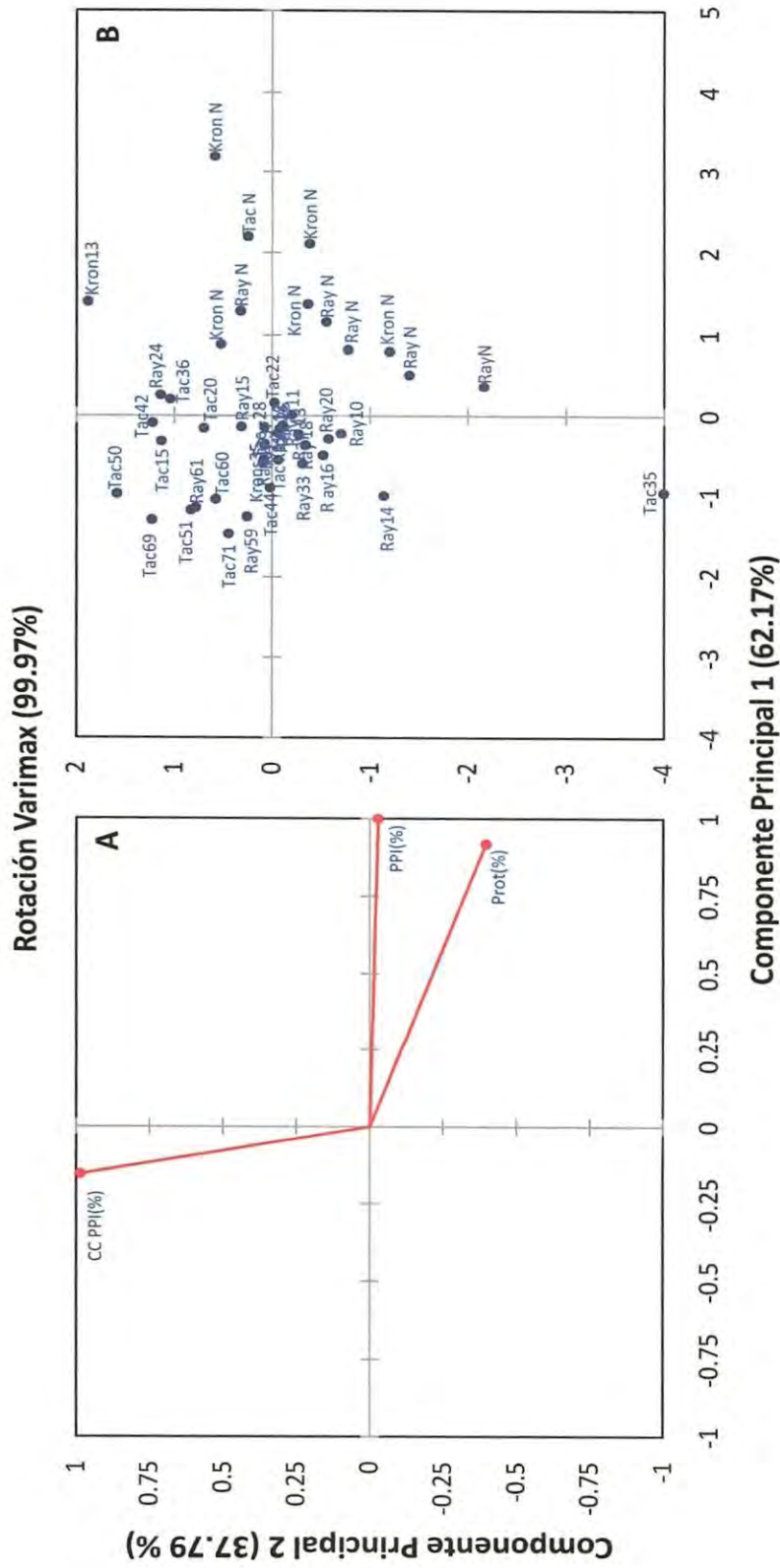


Figura 2. Análisis de componentes principales. (A) Contenido de proteína (Prot), proporción de proteína polimérica insoluble (PPI) y proteína polimérica insoluble corregida por el contenido de proteína (CCPPI); (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. Kron, Kronstad; Ray, Rayón; Tac, Tacupeto; N, normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.

inversa con el trigo normal, es decir, si el contenido de proteína y la proporción de PPI aumenta en los trigos normales, en los trigos con PB disminuye, mientras que la CCPPI es mayor en los trigos con PB (Figura 2B), esto último puede significar, que las proteínas que forman el polímero se ven afectadas en forma diferencial, es decir las proteínas que forman el polímero están en una proporción mayor en los trigos con PB.

Los trigos normales de las variedades Kronstad y Rayón presentaron un contenido mayor de proteína y de PPI. La variedad Tacupeto con alto contenido de PB presentó una cantidad mayor de la PPI corregida por el contenido de proteína, mientras que las variedades Kronstad y Rayón una cantidad menor, lo cual puede significar que la proteína contenida en los trigos con PB de la variedad Tacupeto contiene una proporción mayor de péptidos de masa molecular alta que forman el polímero de gluteninas.

### **Proporciones de proteína soluble**

La cromatografía líquida de alta resolución de exclusión molecular (SE-HPLC) es una de las técnicas valiosas que se utiliza actualmente para medir las proporciones en las proteínas solubles del endospermo de trigo (gluteninas, gliadinas, albúminas y globulinas) separándolas en base a su masa molecular (Gupta y col., 1993; Gupta y MacRitchie, 1994; Larroque y col., 2000; Labuschagne y col., 2004).

En la Figura 3 se muestran los cromatogramas representativos correspondientes a las proteínas solubles en 50% propanol, obtenidas mediante SE-HPLC de las variedades Kronstad, Rayón y Tacupeto. Dentro de las proteínas solubles se encuentran las gluteninas poliméricas solubles (baja masa molecular) o proteínas poliméricas solubles, gliadinas, albúminas y globulinas. Los cromatogramas se separaron en siete fracciones o picos; las fracciones 1, 2 y 3 corresponden a la proteína polimérica soluble (PPS), las fracciones 4 y 5 representan

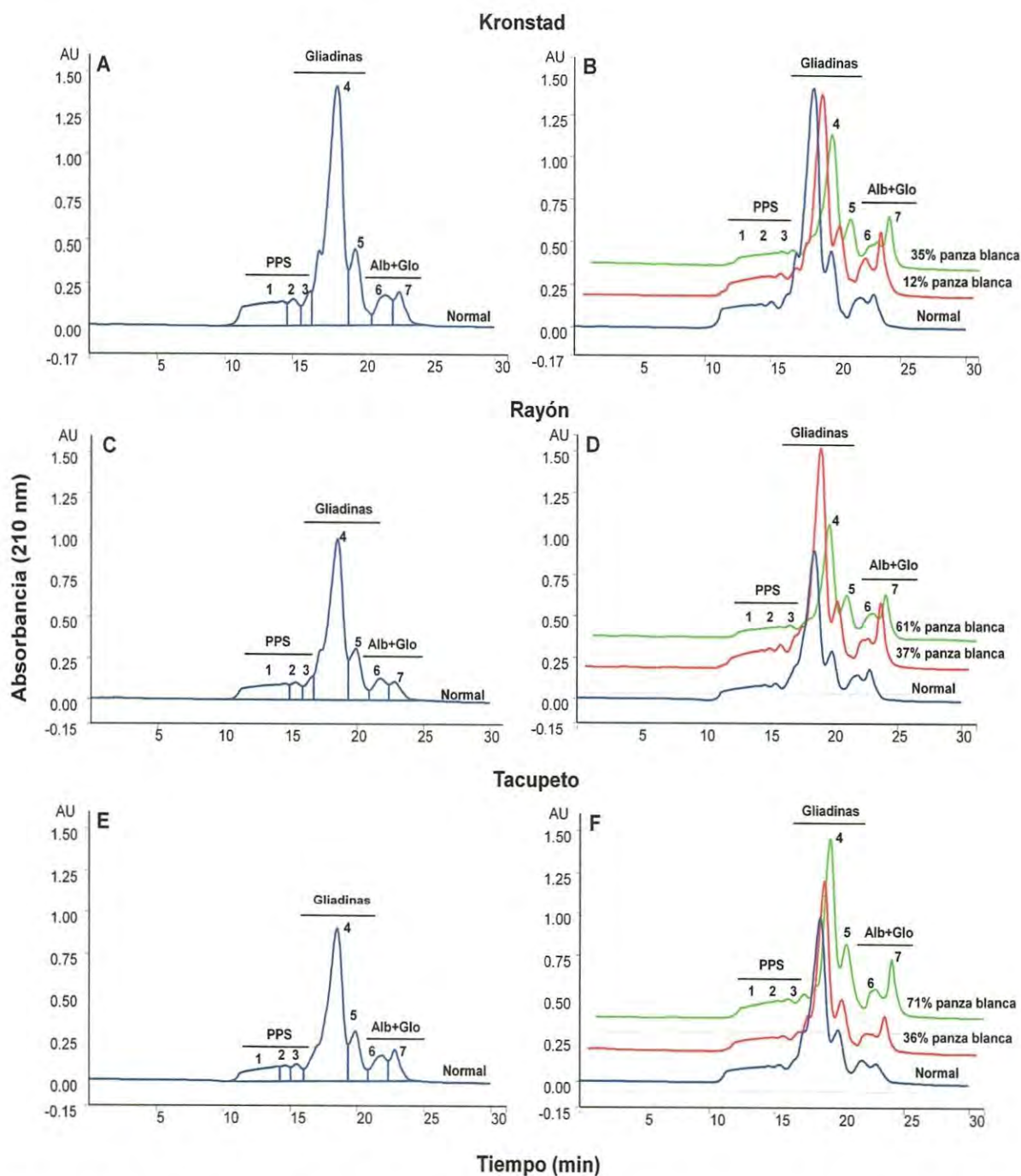


Figura 3. Cromatogramas representativos en la separación de las proteínas solubles de la variedad Kronstad, Rayón y Tacupeto. (A, C y E) Trigo normal y (B, D y F) trigo con diferente contenido de PB. PPS, proteína polimérica soluble; Alb+Glo, albúminas y globulinas.

a las gliadinas (gli1 y gli2), mientras que en la fracción 6 se encuentran las albúminas (alb), por último en la fracción 7 se muestran las globulinas (glo). Se observa que las tres variedades presentaron un comportamiento similar en cada uno de los picos, así como una notable disminución en la proporción de PPS y la primera fracción de gliadinas (masa molecular mayor); un aumento en la proporción de la segunda fracción de las gliadinas (masa molecular menor), en la proporción de albúminas y en la proporción de globulinas en trigos con PB, en comparación con el trigo normal. La reducción en la proteína polimérica soluble, concuerda con la observación anterior, en donde la CCPPI se ve aumentada en los trigos con un contenido mayor de PB.

Batey y col. (1991), encontraron que la primera fracción de las gliadinas de masa molecular mayor corresponde principalmente a las gliadinas  $\omega$ , aunque están todas las subclases de gliadinas ( $\omega$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) y la segunda fracción de las gliadinas de masa molecular menor a las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , ya que las gliadinas  $\omega$  tienden a desaparecer en esta fracción.

En la Tabla 4 se presentan los primeros siete CP que explican la variabilidad de la proteína soluble en 50% propanol en los trigos con diferente contenido de PB. En la Figura 4 se muestra la rotación varimax donde los dos primeros CP se consideraron en la rotación, se observa que el CP1 explicó 8.22 variables individuales y el CP2 6.18 variables individuales (Tabla 4). Como se observa los dos primeros componentes explicaron el 68.61% de la variabilidad observada en los datos. El CP1 explicó 36.87% y el CP2 con 31.74% de la variabilidad observada. En la Figura 4A se muestra que las variables dependientes de mayor importancia en el CP1 fueron la proporción de gli1 y de alb; el contenido absoluto (CA) de la PPS1, de PPS2, de PPS3, de gli1, de gli2, el contenido corregido por proteína (CC) de la PPS1, de PPS2 y en el CP2 la proporción de PPS1, de PPS3, de gli2, de glo, el CAglo, el CCPPS3, el CCgli2, el CCalb y el CCglo. Así mismo, las variables dependientes que presentaron una correlación positiva entre sí son el CAPPS1 y CAgli1, el CAPPS3 y CCgli1, el CCalb y CCglo, mientras que entre las variables

Tabla 4. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las proteínas solubles.

Componente Principal	Valor Propio	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	8.222	39.15	39.15
2	6.185	29.45	68.60
3	2.643	12.58	81.19
4	1.665	7.93	89.12
5	0.994	4.73	93.85
6	0.707	3.64	97.22
7	0.239	1.13	98.36



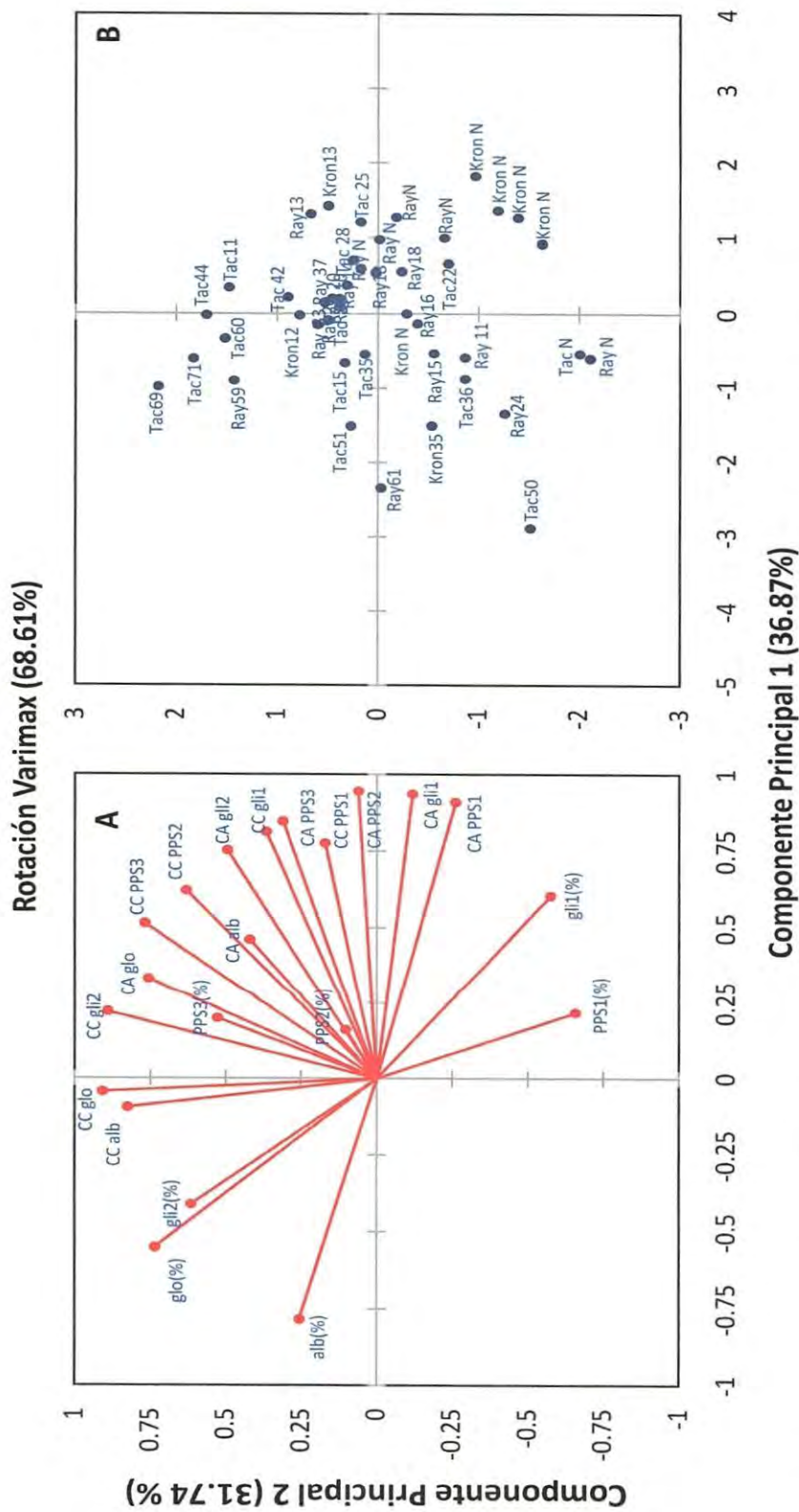


Figura 4. Análisis de componentes principales. (A) Proteína soluble; (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. PPS, proteína polimérica insoluble (fracción 1, 2 y 3); Alb, albúminas; glo, globulinas; gli, gliadinas; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína. N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.

dependientes con una correlación negativa estuvieron la proporción de gli1 con la proporción de gli2 y de glo, la proporción de alb con el CAPPs1. En esta misma Figura en el cuadrante superior izquierdo se encuentra la proporción de gli2, de alb y de glo, el CCalb y el CCglo, las cuales tienen una similitud con las variedades Kronstad (12% de PB), Rayón (59% de PB) y Tacupeto (15, 35, 51, 59, 60, 69 y 71% de PB) con alto contenido de PB (Figura 4B); estas variables dependientes tienen un efecto negativo con el cuadrante opuesto, inferior derecho, donde se encuentran las variables dependientes tales como la proporción de PPS1, de gli1, el CAPPs1 y el CAgli1, que a su vez tienen una relación con las variedades Kronstad (algunas muestras de trigo normal), Rayón (algunas muestras de trigo normal y con 18% de PB) y Tacupeto (22% de PB) de trigos normales y con PB. La mayoría de las variables dependientes de la proteína soluble correspondiente al contenido absoluto y corregido por la proteína se encuentran en el cuadrante superior derecho tales como el CAPPs2, el CAPPs3, el CAgli2, el CAglo, el CCPs1, CCPs2, CCPs3, CCgli1 y CCgli2 estas presentaron características similares con las variedades Kronstad (13% de PB), Rayón (trigo normal, 13, 14 y 37% de PB) y Tacupeto (11, 25, 42 y 44% de PB), además, presentaron una relación inversa con las variedades Kronstad (trigo normal y 35%PB), Rayón (trigo normal, 11, 15, 16, 24 y 61% de PB) y Tacupeto (trigo normal, 36 y 50% de PB) con diferente contenido de PB (Figura 4B).

Lo anterior indica que los trigos normales de las variedades Kronstad y Rayón presentaron una mayor proporción y contenido absoluto de la PPS1 y de gli1, mientras que los trigos con alto contenido de PB de la variedad Tacupeto los valores más bajos y además, presentaron una mayor proporción de gli2, y una mayor proporción y cantidad corregida por la proteína, de alb y de glo que los trigos normales.

### **Proteínas del gluten**

El gluten de trigo se define como un material elástico que se forma cuando la masa de trigo se lava con agua eliminando así los gránulos de almidón y los

constituyentes que son solubles en ella. El gluten está compuesto por dos fracciones de proteínas, gliadinas y gluteninas, que son las proteínas de almacenamiento. Estas proteínas del gluten juegan un papel importante en las propiedades reológicas de las masas y la calidad panadera del trigo, por lo tanto, es importante ver el efecto que tiene la PB sobre las gliadinas y gluteninas (Wieser, 2007).

### **Subclases de gliadinas**

En la Figura 5 se observan los cromatogramas representativos de las tres variedades de trigo obtenidos de las diferentes subclases de gliadinas. Las subclases de gliadinas aparecen en el siguiente orden de elución: gliadinas  $\omega$ , las gliadinas  $\alpha+\beta$  y las gliadinas  $\gamma$  de acuerdo con Burnouf y Bietz (1985). Las últimas mostraron una hidrofobicidad mayor ya que presentaron un tiempo mayor de retención que las gliadinas  $\omega$ . Para la identificación de las diferentes subclases de gliadinas se utilizó como estándar la variedad Arowa donde los diferentes picos de las gliadinas fueron identificados por Lookhart y Albers (1988).

En la Tabla 5 se presentan los principales siete CP que explican la variabilidad de las subclases de gliadinas en los trigos con diferente contenido de PB. En la Figura 6 se muestra la rotación varimax donde los dos primeros CP se consideraron en la rotación, se observa que el CP1 explicó 5.23 variables individuales y el CP2 2.76 variables individuales (Tabla 5). Los dos primeros componentes explicaron el 88.86% de la variabilidad observada en los datos. El CP1 explicó el 53.83% y el CP2 el 35.03% de la variabilidad observada. En la Figura 6A, se puede observar, que las variables dependientes de mayor importancia en el CP1 fueron la proporción de gli- $\gamma$ , de gli- $\alpha+\beta$ , el CAgli- $\gamma$ , el CAgli- $\alpha+\beta$ , el CCgli- $\gamma$  y el CCgli- $\alpha+\beta$  y en el CP2 la proporción de gli- $\omega$ , el CAgli- $\omega$  y el CCgli- $\omega$ . Las variables dependientes que presentaron una correlación positiva entre sí son el CAgli- $\gamma$  y CCgli- $\gamma$ , y el CAgli- $\omega$  y CCgli- $\omega$ ; mientras que entre las variables dependientes con una correlación negativa estuvieron la proporción de las gli- $\alpha+\beta$  y el CCgli- $\gamma$ . En la misma Figura en el

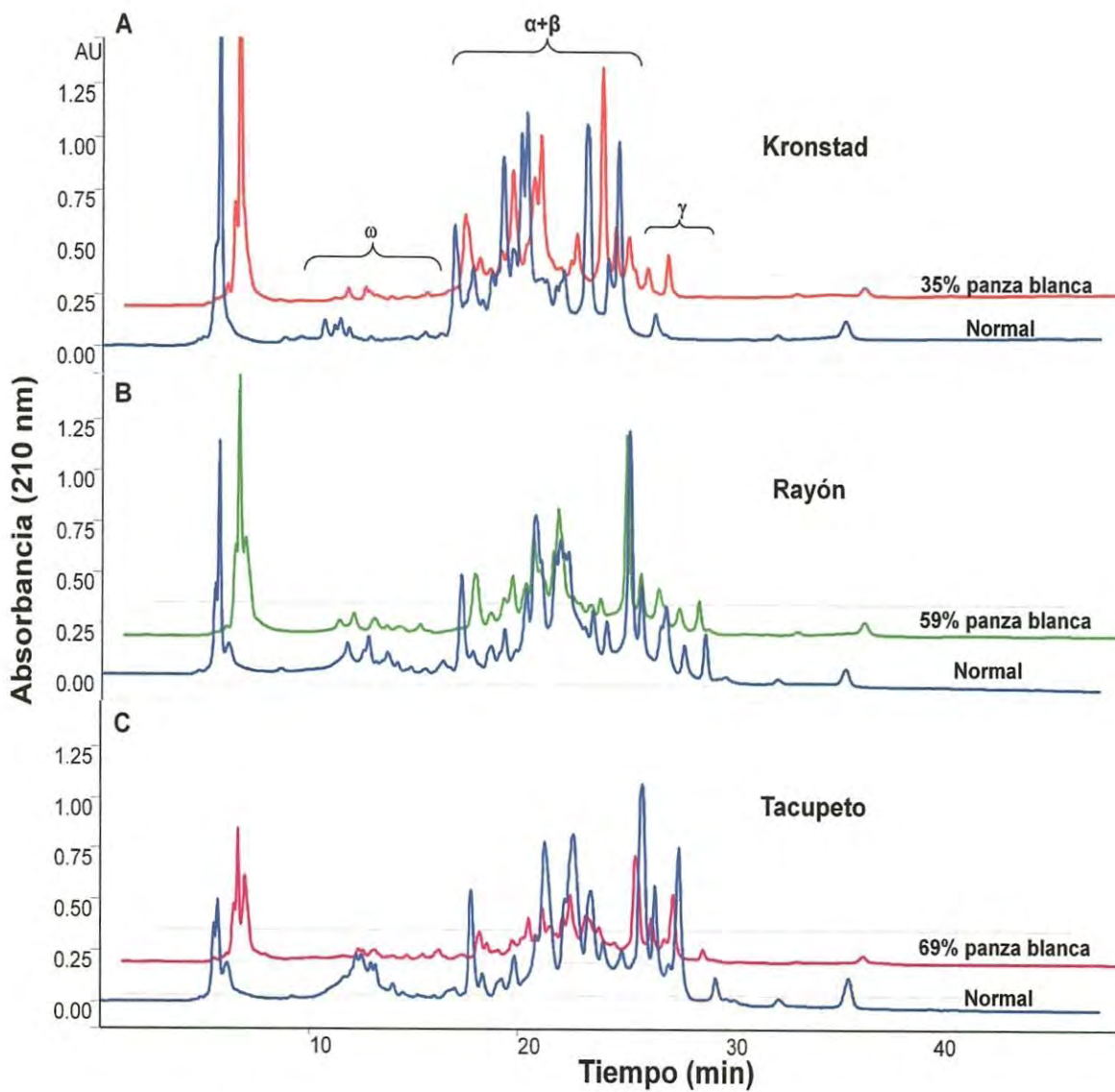


Figura 5. Separación de las subclases de gliadinas de las variedades (A) Kronstad, (B) Rayón y (C) Tacupeto de los trigos normales y con PB.

Tabla 5. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las gliadinas.

Componente Principal	Valor Propio	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	5.237	58.18	58.18
2	2.761	30.67	88.86
3	0.804	8.93	97.79
4	0.113	1.25	99.05
5	0.062	0.68	99.73
6	0.017	0.18	99.92
7	0.005	0.05	99.98

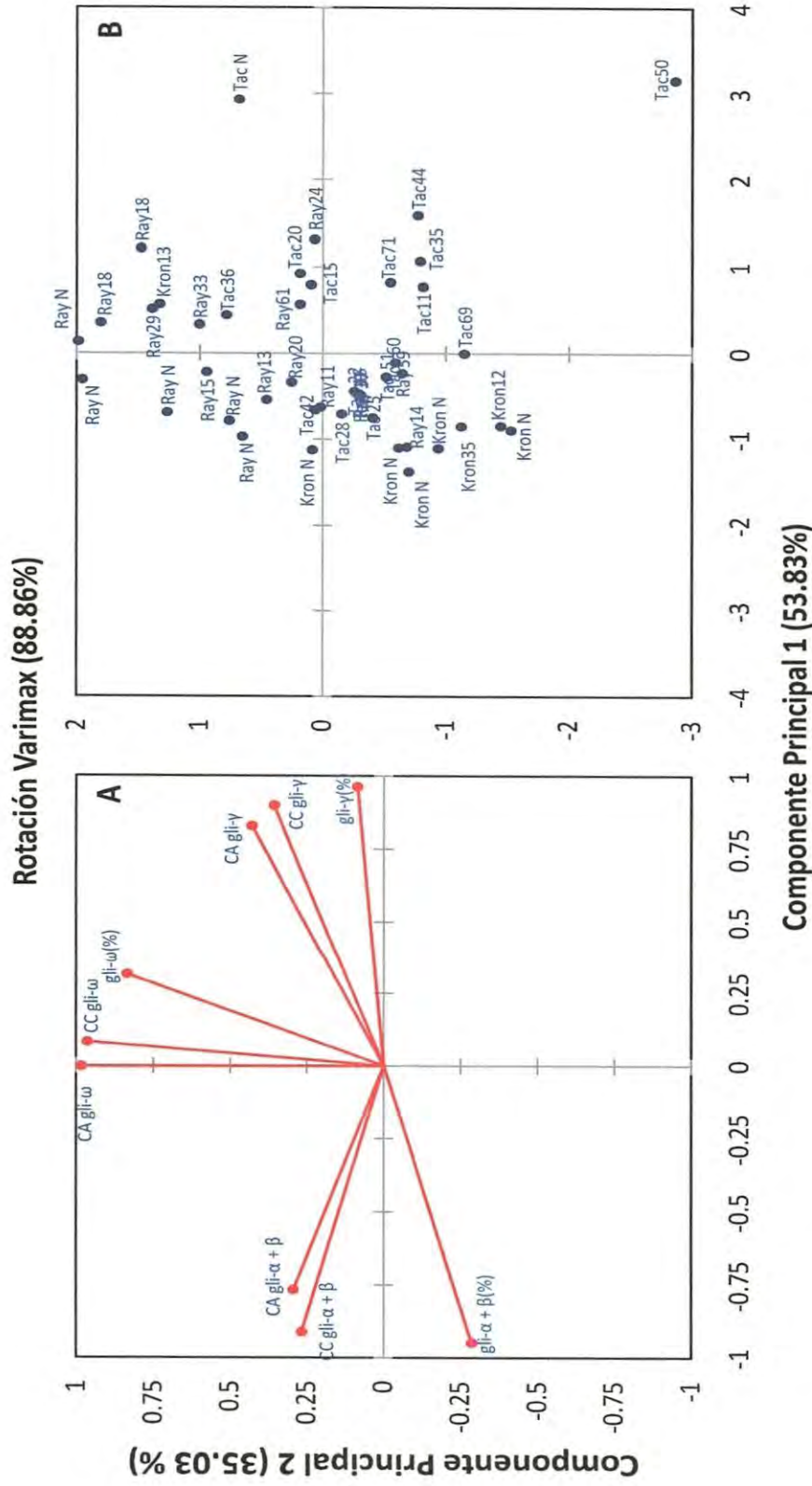


Figura 6. Análisis de componentes principales. (A) Subclases de gliadinas, (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. Gli, gliadinas; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína; Kron, Kronstad; Ray, Rayón; Tac, Tacupeto; N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.

cuadrante superior derecho se encuentran las variables dependientes, proporción de gli- $\omega$  y de gli- $\gamma$ , el CAgli- $\omega$ , el CAgli- $\gamma$ , el CCgli- $\omega$  y el CCgli- $\gamma$ , las cuales presentaron características similares con las variedades Kronstad (13% de PB), Rayón (trigo normal, 18, 24, 29, 33, 61% de PB) y Tacupeto (trigo normal, 15, 20 y 36% de PB) con contenido intermedio de PB; además, presentaron una relación inversa con el cuadrante opuesto, inferior izquierdo, con la proporción de gli- $\alpha+\beta$ , la cual tiene una relación con las variedades Kronstad (trigos normales, 12 y 35% de PB), Rayón (11, 14 y 59% de PB) y Tacupeto (22, 25, 28 y 51% de PB) con contenido diferente de PB. Así mismo en el cuadrante superior izquierdo están las variables dependientes de CAgli- $\alpha+\beta$  y de CCgli- $\alpha+\beta$ , las cuales tienen una relación con las variedades Kronstad (trigo normal), Rayón (algunas muestras de trigo normal, 13, 15 y 20% de PB) y Tacupeto (42% de PB), estas variables dependientes presentaron una relación negativa con el cuadrante opuesto, inferior derecho, con la variedad Tacupeto (11, 35, 44, 69 y 71% de PB) con alto contenido de PB (Figura 6B).

En general, la mayoría de las muestras de la variedad Rayón presentaron una mayor proporción y cantidad de las subclases de gliadinas, las muestras de la variedad Kronstad presentaron una mayor proporción de gliadinas  $\alpha+\beta$ , mientras que las muestras de la variedad Tacupeto con alto contenido de PB presentaron una cantidad menor de gliadinas  $\alpha+\beta$ .

### **Subunidades de gluteninas**

En la Figura 7 se presentan los cromatogramas representativos de las gluteninas correspondientes a la separación de las subunidades de gluteninas, se muestra que la región correspondiente a las subunidades de gluteninas HMW es menor que la región de las subunidades de gluteninas de LMW.

Un total de cinco CP explican la variabilidad de las subunidades de gluteninas en los trigos con diferente contenido de PB (Tabla 6). En la Figura 8 se muestra la

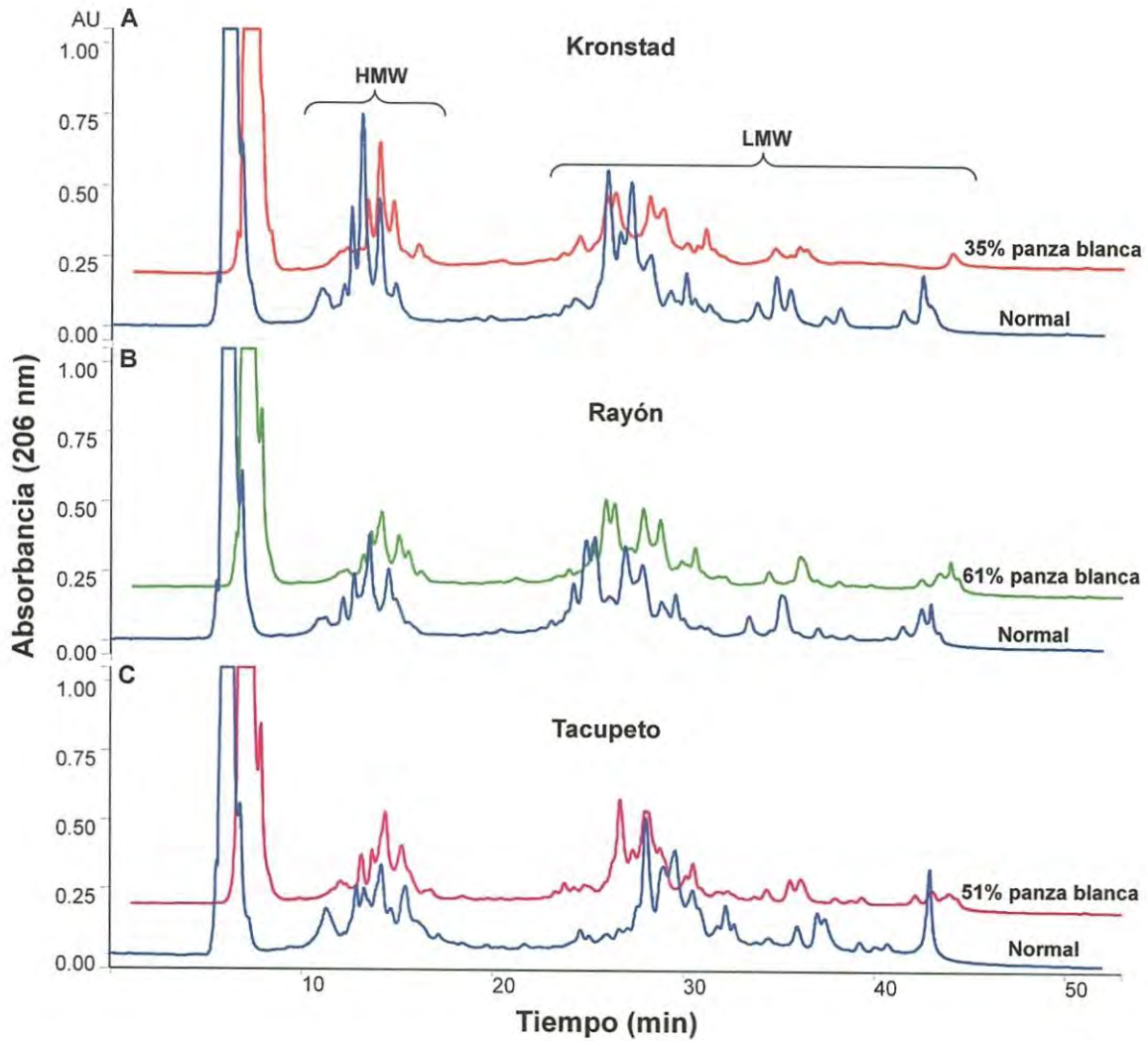


Figura 7. Separación de las subunidades de gluteninas de las variedades (A) Kronstad, (B) Rayón y (C) Tacupeto de los trigos normales y con PB. HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja.



Tabla 6. Propiedades de los seis componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales de las gluteninas.

Componente Principal	Valor Propio	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	3.053	50.88	50.88
2	2.504	41.72	92.60
3	0.306	5.10	97.71
4	0.135	2.25	99.96
5	0.002	0.03	100.00

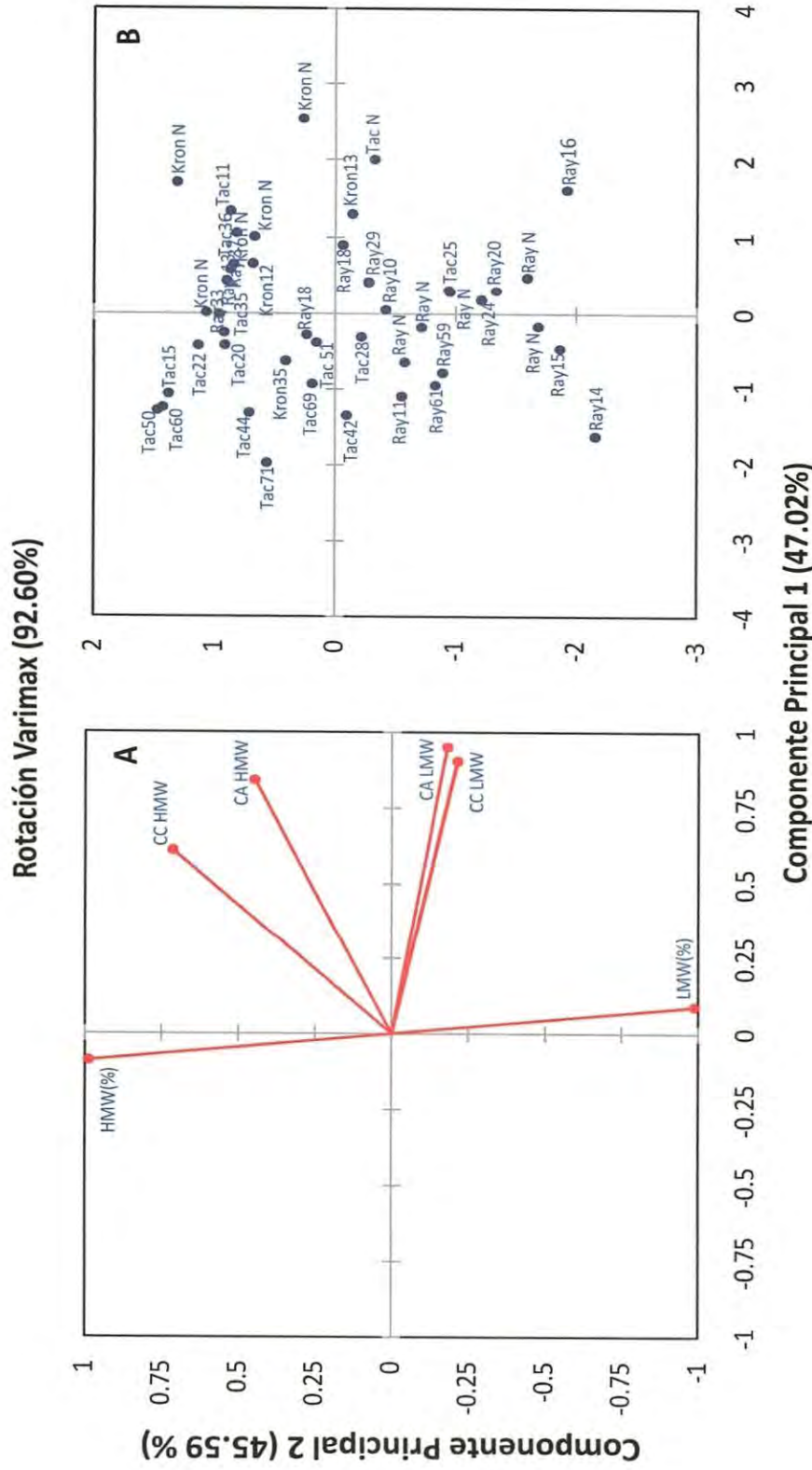


Figura 8. Análisis de componentes principales. (A) Subunidades de gluteninas; (B) variedades de trigo con diferente contenido de PB. N, normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo. HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja; N, trigo normal; los números representan el porcentaje de PB en el trigo.

rotación varimax donde los dos primeros CP se consideraron en la rotación, se observa que el CP1 explicó 3.05 variables individuales y el CP2 2.50 variables individuales (Tabla 6). En la Figura 8 los dos primeros componentes explicaron el 92.60% de la variabilidad observada en los datos. El CP1 explicó el 47.02% y el CP2 el 45.59% de la variabilidad observada. Las variables dependientes de mayor importancia en el CP1 fueron el CAHMW, el CALMW y el CCLMW y en el CP2 la proporción de las subunidades de gluteninas de HMW, subunidades de gluteninas de LMW y el CCHMW. En la Figura 8A se observa que las variables dependientes que presentaron una correlación positiva entre sí fueron el CALMW y CCLMW, mientras que entre las variables dependientes que tuvieron una correlación negativa están la proporción de subunidades de gluteninas de HMW y la proporción de subunidades de gluteninas de LMW. En esta misma Figura, en el cuadrante superior izquierdo se encuentra la variable dependiente subunidades de gluteninas de HMW la cual presentó características similares con las variedades Kronstad (35% de PB), Rayón (18% de PB) y una relación mayor con la variedad Tacupeto en su mayoría con alto contenido de PB (15, 20, 22, 44, 50, 51, 60, 69 y 71% de PB). Esta variable dependiente presentó un efecto inverso con el cuadrante opuesto, inferior derecho donde se encuentran las variables dependientes proporción de subunidades de gluteninas de LMW, el CALMW y el CCLMW las cuales tienen una similitud con las variedades Kronstad (13% de PB), Rayón (trigo normal, 10, 16, 18, 20, 29% de PB) y Tacupeto (trigo normal y con 25% de PB) con contenido intermedio de PB. Como se observa en el cuadrante superior derecho se encuentran las variables dependientes CAHMW y el CCHMW las cuales se relacionaron con las variedades Kronstad (trigo normal y 12% de PB), Rayón (13 y 37% de PB) y Tacupeto (11 y 36% de PB) con contenido intermedio de PB, estas variables dependientes a su vez presentaron una relación negativa con contenidos altos de PB de las variedades Rayón (trigo normal, 11, 14, 15, 59 y 61% de PB) y Tacupeto (28 y 42% de PB) (Figura 8B), esta relación de los contenidos absolutos y corregidos de las subunidades de HMW son congruentes con lo observado anteriormente de aumento diferencial de la CCPPI, ya que se ha observado, que la presencia de subunidades de gluteninas de HMW es mayor en la PPI que en la PPS (Zhu y Khan, 2002; Gupta y col., 1993).

Las subunidades de gluteninas de HMW de la variedad Tacupeto no se vieron afectadas por la presencia de trigos con alto contenido de PB, sin embargo, si, las subunidades de gluteninas de LMW al tener una proporción y cantidad menor de estas subunidades. En lo que respecta a la variedad Rayón con contenido intermedio y alto de PB, esta presentó una proporción y cantidad menor de las subunidades de gluteninas de HMW y un comportamiento inverso de las subunidades de gluteninas de LMW.

### **Análisis de Cúmulos Jerárquicos**

El análisis de cúmulos es una herramienta que se utiliza para ordenar objetos en grupos o cúmulos, el grado de asociación es fuerte entre los miembros de un mismo cúmulo y débil entre miembros de diferente cúmulo (Patindol y col., 2009). Por lo tanto se utilizó el análisis de cúmulos para clasificar a los trigos por variedad-contenido de PB en base a los resultados obtenidos anteriormente en el ACP preliminar de las determinaciones, en donde se seleccionaron 20 variables dependientes correspondientes al contenido de proteína, la proporción de PPI, de CCPPI, la proteína soluble en propanol al 50%, las subclases de gliadinas y las subunidades de gluteninas.

En la Figura 9 se muestra el dendograma obtenido del análisis de cúmulos a partir de los resultados obtenidos de las determinaciones realizadas a 44 muestras de trigo con diferente contenido de PB. Se observa que el análisis de cúmulos agrupo a los trigos con diferente contenido de PB en tres grandes grupos en base a sus similitudes y diferencias, en el grupo 1 se agruparon 23 muestras de trigo con contenido intermedio de PB de las cuales 3 muestras corresponden a la variedad Kronstad (12, 13 y 35% de PB), 13 muestras a la variedad Rayón (10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 18, 20, 24, 29, 33 y 37% de PB) y 7 a la variedad Tacupeto (11, 22, 25, 28, 36 y 42% de PB); en el grupo 2 se agruparon 11 muestras de trigo con alto contenido de PB, no hay ninguna muestra de la variedad Kronstad, mientras que hay 2 de la variedad Rayón (59 y 69% de PB) y 9 de la variedad Tacupeto (15, 20, 35, 44, 50,

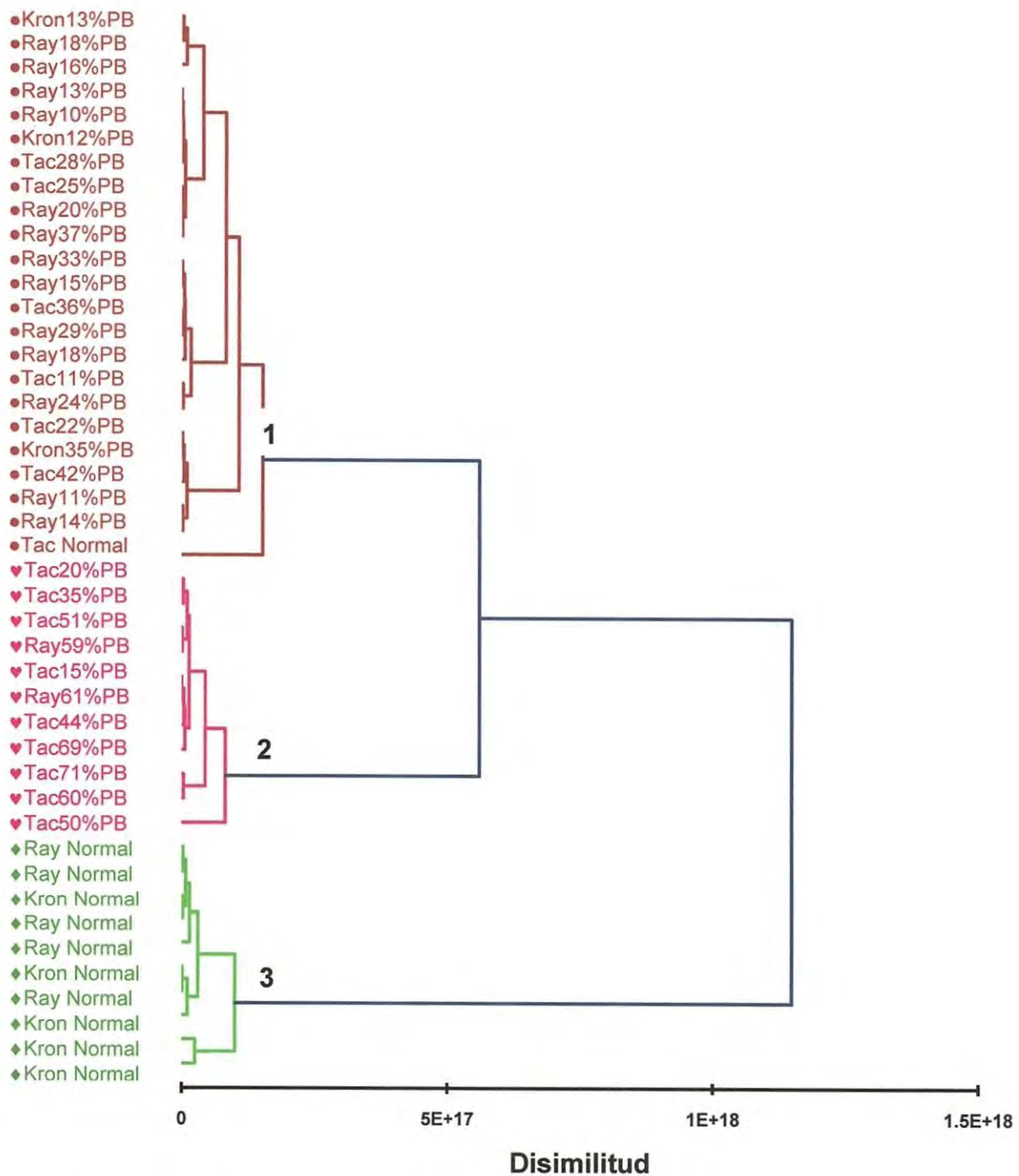


Figura 9. Dendrograma obtenido del análisis de cúmulos a partir de los resultados de las determinaciones realizadas a 44 trigos con diferente contenido de PB (●, grupo 1; ♥, grupo 2; ♦, grupo 3).

51, 60, 69 y 71% de PB) y en el grupo 3 se agruparon 10 muestras de trigo normal o sin PB de las variedades Kronstad (5 muestras) y Rayón (5 muestras); no se agrupó ninguna muestra de de la variedad Tacupeto en este grupo.

Los trigos normales (grupo 3) presentaron una disimilitud de  $1.15 \times 10^{18}$  respecto a los trigos con contenido intermedio (grupo 1) y contenido alto (grupo 2) de PB, mientras que estos dos últimos grupos presentaron una disimilitud menor entre ellos de  $5.56 \times 10^{17}$ . Esto puede indicar que los trigos normales se pueden diferenciar claramente de los trigos con contenido intermedio y contenido alto de PB por las determinaciones analizadas en este estudio. Los rangos, las medias y las desviaciones estándar de las determinaciones de los trigos con diferente contenido de PB de cada uno de los grupos, se muestran en la Tabla 7.

### **Contenido de proteína**

El contenido de proteína presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos (Tabla 7). El trigo normal presentó el valor más alto (15.5%) seguido del trigo con contenido intermedio de PB (12.6%) y por último el trigo con alto contenido de PB (10.8%). El problema de PB afectó el contenido de proteína ya que a medida que éste aumenta, el contenido de proteína disminuye. Se han realizado pocas investigaciones respecto al contenido de proteína en los trigos panaderos con PB, sin embargo, el comportamiento anterior concuerda con las investigaciones realizadas por Gianibelli y col. (1990) en trigo panadero, donde se encontró que los granos con PB tenían un contenido de proteína inferior (10.81%) comparados con los granos normales (12.90%) ellos consideraron que era porque los trigos provenían de suelos con deficiencia de N; además, otros estudios realizados por Hubbard y col. (1977); Raath y col. (1995); Matus (2007) en trigo panadero, Dexter y col. (1989); Samson y col. (2005) en trigo cristalino y Sharma y col. (1983) en trigo triticale; mencionan que la presencia de PB en el trigo reduce el contenido de proteína.

Tabla 7. Rangos, medias y desviaciones estándar de las proteínas de 44 muestras de trigo con diferente contenido de PB agrupadas en tres grupos.

	Grupo 1 (n=23)			Grupo 2 (n=11)			Grupo 3 (n=10)		
	Rango	Media	DE <sup>1</sup>	Rango	Media	DE	Rango	Media	DE
Prot <sup>2</sup> (%)	11.7-16.6	12.6b <sup>3</sup>	1.02	9.6-14.3	10.8c	1.35	14.0-18.2	15.5a	1.19
PPI (%)	6.6-9.7	7.4b	0.66	6.0-7.3	6.5c	0.41	7.9-10.7	8.8a	0.84
CC <sup>5</sup> PPI (%)	0.5-0.6	0.5ab	0.02	0.4-0.6	0.6a	0.04	0.5-0.6	0.5b	0.02
PPS1 (%)	8.6-14.7	12.0ab	1.50	9.0-13.4	11.3b	1.35	11.4-14.7	12.9a	1.23
PPS3 (%)	2.9-4.7	3.7a	0.52	2.9-5.2	4.1a	0.71	3.3-4.2	3.8a	0.28
Gli1 (%)	49.2-57.3	52.5b	2.19	44.6-50.9	47.3c	1.80	51.9-58.5	55.5a	2.14
Gli2 (%)	10.8-15.1	12.9b	1.18	13.8-18.1	15.6a	1.28	10.2-13.9	11.8c	1.17
Alb (%)	4.9-8.7	6.6b	0.84	6.4-10.5	7.7a	1.21	4.4-8.4	5.9b	1.25
Glo (%)	4.5-10.3	8.3b	1.27	8.3-10.8	9.9a	0.81	4.4-7.7	6.1c	1.16
Gli-γ (%)	0.4-30.2	7.1a	7.25	1.8-34.0	10.9a	9.36	0.3-10.6	3.5a	3.69
HMW (%)	23.0-33.8	29.0a	3.17	27.1-35.4	31.6a	2.17	24.4-33.4	29.1a	3.34
CA <sup>4</sup> Gli-w	3.2-10.1X10 <sup>7</sup>	6.7X10 <sup>7</sup> a	1.8X10 <sup>7</sup>	1.0-6.5X10 <sup>7</sup>	4.7X10 <sup>7</sup> a	1.4X10 <sup>7</sup>	3.1-11.3X10 <sup>7</sup>	7.4X10 <sup>7</sup> b	2.8X10 <sup>7</sup>
CA Gli-α+β	5.4-8.0X10 <sup>8</sup>	6.8X10 <sup>8</sup> b	7.4X10 <sup>7</sup>	2.0-5.6X10 <sup>8</sup>	4.6X10 <sup>8</sup> c	9.5X10 <sup>7</sup>	8.3-11.2X10 <sup>8</sup>	9.6X10 <sup>8</sup> a	8.3X10 <sup>7</sup>
CA Gli-γ	3.2-282.6X10 <sup>6</sup>	5.9X10 <sup>7</sup> a	6.4X10 <sup>7</sup>	1.0-11.2X10 <sup>7</sup>	5.8X10 <sup>7</sup> a	3.8X10 <sup>7</sup>	3.7-115.0X10 <sup>6</sup>	4.0X10 <sup>7</sup> a	4.2X10 <sup>7</sup>
CA LMW	3.4-7.9X10 <sup>8</sup>	5.1X10 <sup>8</sup> b	1.0X10 <sup>8</sup>	1.9-4.8X10 <sup>8</sup>	3.4X10 <sup>8</sup> c	7.9X10 <sup>7</sup>	4.8-8.7X10 <sup>8</sup>	6.1X10 <sup>8</sup> a	1.1X10 <sup>8</sup>
CC PPS1	6.0-10.9X10 <sup>6</sup>	8.7X10 <sup>6</sup> a	1.6X10 <sup>6</sup>	5.3-9.9X10 <sup>6</sup>	7.5X10 <sup>6</sup> a	1.4X10 <sup>6</sup>	6.8-10.0X10 <sup>6</sup>	8.8X10 <sup>6</sup> a	1.4X10 <sup>5</sup>
CC Gli1	2.4-4.6X10 <sup>7</sup>	3.8X10 <sup>7</sup> a	6.2X10 <sup>6</sup>	1.9-3.7X10 <sup>7</sup>	3.1X10 <sup>7</sup> b	5.9X10 <sup>6</sup>	2.5-4.7X10 <sup>7</sup>	3.8X10 <sup>7</sup> a	5.6X10 <sup>6</sup>
CC Alb	2.8-6.0X10 <sup>6</sup>	4.7X10 <sup>6</sup> ab	7.7X10 <sup>5</sup>	3.4-6.7X10 <sup>6</sup>	5.1X10 <sup>6</sup> a	9.8X10 <sup>5</sup>	2.9-5.7X10 <sup>6</sup>	4.0X10 <sup>6</sup> b	8.6X10 <sup>5</sup>
CC Glo	2.0-7.8X10 <sup>6</sup>	5.9X10 <sup>6</sup> a	1.5X10 <sup>6</sup>	3.8-8.2X10 <sup>6</sup>	6.7X10 <sup>6</sup> a	1.5X10 <sup>6</sup>	2.1-5.5X10 <sup>6</sup>	4.3X10 <sup>6</sup> b	1.1X10 <sup>6</sup>
CC LMW	2.8-5.5X10 <sup>7</sup>	4.0X10 <sup>7</sup> a	6.5X10 <sup>6</sup>	2.0-3.9X10 <sup>7</sup>	3.1X10 <sup>7</sup> b	5.9X10 <sup>6</sup>	3.1-4.8X10 <sup>7</sup>	3.9X10 <sup>7</sup> a	5.2X10 <sup>6</sup>

<sup>1</sup>DE, desviación estándar.

<sup>2</sup>Prot, contenido de proteína; PPI, proteína polimérica insoluble; PPS, proteína polimérica soluble (fracción 1 y 3); Gli, gliadinas (fracción 1 y 2); Alb, albúminas; Glo, globulinas; HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja.

<sup>3</sup>Dentro de diferente columna, valores con distinta letra son significativamente diferentes (p<0.05).

<sup>4</sup>CA, contenido absoluto.

<sup>5</sup>CC, contenido corregido por el contenido de proteína.

La disminución en el contenido de proteína se puede deber a que los granos con PB provienen de una matriz proteica discontinua y se caracterizan por presentar una porción almidonosa en algunas áreas o totalidad del endospermo (Martínez, 1985; Dexter y col., 1989; Gianibelli y col., 1990; Sharma y col., 1983; Dowell, 2000), lo que indica que hay una proporción mayor de almidón que de proteína; además, la estructura del endospermo de estos granos presenta gránulos de almidón de mayor tamaño parcialmente disueltos ocupando la mayor parte de la célula y hay espacios entre ellos, los cuales deberían estar ocupados por proteína como en los trigos normales (Sharma y col., 1983; Dexter y col., 1989). Por lo tanto en los granos con PB hay una asociación más débil entre los gránulos de almidón y la matriz proteica que en los granos normales.

El contenido bajo de proteína que presentaron los trigos con PB en este estudio afecta a los productores en cuanto al precio, la comercialización y a la industria panadera. La calidad panadera de estos trigos se ve afectada ya que el contenido bajo de proteína afecta tanto a la fuerza como a la extensibilidad de las masas, de tal manera, que cuando existe un contenido menor de proteína, la fuerza y la extensibilidad de las masas disminuyen. Esto concuerda con los resultados obtenidos en estudios anteriores en trigos con PB, tales como, los realizados por Matus (2007) y Lizárraga (2004), ellos encontraron que las propiedades reológicas de las harinas elaboradas con trigos con PB se ven afectadas por el contenido de proteína, ya que a medida que el contenido de proteína disminuye en las masas a causa de la presencia de PB, la absorción de agua, el tiempo de mezclado, la fuerza y extensibilidad también disminuyen, lo que implica una reducción de la calidad.

La información de bajo qué condiciones se cultivaron los trigos usados en este estudio se desconoce, sin embargo, el contenido bajo de proteína en los trigos normales se presenta principalmente cuando existe una baja fertilización del suelo o contenido bajo de N en las etapas posteriores a la aparición del primer nudo del tallo de la planta. Además, existen otros factores que afectan el contenido de proteína antes de la antesis (florescencia) tales como genéticos, condiciones ambientales



(temperatura, sequía) y otros aspectos como el manejo del cultivo, la densidad, el crecimiento de las raíces, el número de macollos y el número de flores por espiga (Bahrman y col., 2004; DuPont y col. 2006b).

### **Proteína polimérica insoluble**

El contenido de PPI presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos (Tabla 7). El grupo de trigo normal presentó el valor más alto (8.8%) de PPI, luego el grupo de contenido intermedio de PB (7.4%) y por último el grupo de contenido alto de PB el valor menor (6.5%); sin embargo, cuando se corrigió la PPI por el contenido de proteína la cantidad de la PPI fue mayor en los trigos con PB que en los trigos normales (0.6 y 0.5%, respectivamente).

La proteína polimérica está formada por subunidades de gluteninas de HMW y de LMW, los polímeros de gluteninas insolubles contienen una proporción mayor de subunidades de gluteninas de HMW que los polímeros de gluteninas solubles, indicando que más subunidades de gluteninas de HMW se requieren en la formación de grandes polímeros de gluteninas (Zhu y Khan, 2002).

La proporción de PPI se utiliza como una medida de la cantidad y la distribución del tamaño de los polímeros (Gupta y col., 1993; Southan y MacRitchie, 1999). En este estudio los valores bajos de la proporción de PPI se relacionan con una proporción menor de gluteninas insolubles en propanol al 50% y es por ello que se pensaría que hay una cantidad menor de polímeros de masa molecular alta en los trigos con PB. Así mismo, se esperaría que los trigos con una proporción menor de PPI tengan una resistencia menor de la masa (elasticidad) y un tiempo menor de mezclado que aquellos con una proporción mayor de PPI (Gupta y col., 1993). Sin embargo, cuando la PPI se corrigió por el contenido de proteína la concentración se incrementó, lo que indicó que hay un entrecruzamiento mayor través de enlaces disulfuro (formación de largos polímeros formados por una gran cantidad de subunidades de gluteninas de HWM) y que en los granos con PB se siguen

polimerizando las proteínas formando grandes polímeros (Gupta y col., 1996; Zhu y Khan, 2002).

Las factores genéticos y las condiciones ambientales influyen en la cantidad de la PPI, afectando la distribución del tamaño de los polímeros de gluteninas y por lo tanto su calidad panadera (MacRitchie, 1999; Johansson y col., 2001, 2002; Zhu y Khan, 2002; Altenbach y col., 2003). Bean y col. (1998) encontraron que tanto el contenido de proteína como la cantidad de la PPI tienen una buena correlación con la absorción de agua y la tolerancia al mezclado, pero la cantidad de PPI presenta una mayor correlación con la tolerancia al mezclado que el contenido de proteína.

### **Fracciones de proteína soluble**

Como se puede observar en la Tabla 7, el desorden fisiológico PB influye en la proporción de la proteína soluble de los diferentes grupos. En lo que respecta a la fracción de PPS1 el grupo de trigo normal presentó el valor más alto (12.9%) y muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con el grupo de contenido alto de PB (11.3%), mientras que el grupo con contenido intermedio de PB no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con los grupos antes mencionados. La fracción de PPS3 no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos. La presencia de PB afectó la proporción de las diferentes fracciones de gliadinas al igual que la proporción de albúminas y globulinas al presentarse diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos. La proporción de la primera fracción de gliadinas, la de masa molecular mayor, disminuye significativamente ( $p < 0.05$ ) a medida que aumenta el contenido de PB, mientras que la segunda fracción de gliadinas, la de masa molecular menor y la proporción de globulinas aumentan considerablemente; en general la proporción de albúminas también aumenta significativamente ( $p < 0.05$ ) en comparación con el trigo normal.

En relación a las fracciones de proteínas corregidas por el contenido de proteína se tiene que la fracción del CCPPS1 se mantiene constante en los tres

grupos ya que no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ellos. El contenido corregido por proteína de la primera fracción de gliadinas del grupo con alto contenido de PB presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto a los otros dos grupos, al disminuir su cantidad. La fracción de albúminas y la fracción de globulinas del grupo de trigo normal presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) y están en proporciones menores que los otros dos grupos de trigo; aún cuando no se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los grupos con contenido intermedio y alto de PB, a medida que este aumenta, las albúminas y globulinas también.

La diferencia que se observó entre los trigos normales y aquellos con diferente contenido de PB en algunas de las proporciones de la proteína soluble en este estudio fueron similares a los descritos en otras investigaciones realizadas por Gianibelli y col. (1990) en trigo panadero, encontraron que la fracción donde se encuentran las gliadinas  $\omega$  no cambia, la de gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  disminuye y que la proporción de albúminas y globulinas se incrementa en los trigos con PB; al igual que Samson y col. (2005) en trigo cristalino, además, ellos encontraron una ligera disminución en la fracción de las gliadinas  $\omega$ ; sin embargo, en este estudio a diferencia de los anteriores si se encontró una reducción significativa en la proporción de gliadinas  $\omega$  y un incremento significativo en las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Se puede pensar que estas diferencias radican en que en este estudio solo se utilizó propanol al 50% para la extracción en cambio en las otras investigaciones además, se utilizó un agente reductor como el 2-mercaptoetanol o ditiotreitól, los cuales reducen los enlaces disulfuro de las proteínas separando a las subunidades de gluteninas de HMW y de LMW; debido a que en la fracción donde se encuentran las gliadinas  $\omega$  además se encuentran las subunidades de gluteninas de HMW y en la fracción de gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  las subunidades de gluteninas de LMW.

En otras investigaciones realizadas por Dexter y col. (1989) en trigo cristalino y Raath y col. (1995) en trigo panadero con PB, se menciona que la proporción de

gliadinas se reduce significativamente, mientras que la proporción de albúminas-globulinas aumenta en éstos granos, respecto a los granos normales.

### **Subclases de gliadinas**

La proporción y el contenido absoluto de gliadinas  $\gamma$  no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos (Tabla 7). El contenido absoluto de las gliadinas  $\omega$  del grupo de trigo normal presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con los demás grupos; sin embargo, a un contenido mayor de PB disminuye el CAgli- $\omega$ , aún cuando los grupos de contenido intermedio y de contenido alto de PB no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) diferentes. El contenido absoluto de las gliadinas  $\alpha + \beta$  presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos; a medida que aumenta el contenido de PB en los grupos disminuye considerablemente el CAgli- $\alpha + \beta$ .

La composición de las gliadinas en la harina se explica por la cantidad total de proteínas o acumulación de gliadinas en el grano (Daniel y Triboi, 2000). En este estudio, el contenido de las gliadinas  $\alpha + \beta$  disminuye en los trigos con PB, estas proteínas son ricas en S y tienen aminoácidos tipo cisteína que intervienen en la formación de los enlaces disulfuro S-S intramolecular; además, también disminuye el contenido de las gliadinas  $\omega$  pobres en S, las cuales no participan en el enlace disulfuro ya que no tienen residuos de cisteína (Shewry y col. 1980). Este tipo de gliadinas se caracterizan por presentar un elevado contenido en glutamina, prolina y fenilalanina, lo que explica que las gliadinas  $\omega$  se estabilicen por fuertes interacciones hidrofóbicas, mientras que la mayoría de las fuerzas estabilizadoras en las gliadinas  $\alpha + \beta$  y  $\gamma$  son puentes disulfuro (Tatham y Shewry, 1985b).

Las gliadinas  $\alpha + \beta$  y  $\gamma$  son los principales componentes, mientras que las gliadinas  $\omega$  están en una proporción menor; la disminución en el contenido de las subclases de gliadinas depende principalmente del genotipo y las condiciones de crecimiento (suelo, clima, fertilización) (Wieser y Kieffer, 2001).

## Subunidades de gluteninas

La proporción de subunidades de gluteninas de HMW, no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos (Tabla 7). El contenido absoluto de las subunidades de gluteninas de LMW presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre grupos y además, disminuye significativamente ( $p < 0.05$ ) a medida que aumenta el contenido de PB, mientras que el contenido de las subunidades de gluteninas de LMW corregido por el contenido de proteína en el grupo de trigo con alto contenido de PB fue menor que los grupos de trigo intermedio de PB y el de trigo normal.

El genotipo es la única fuente significativa en la variación cuantitativa de las subunidades de gluteninas de HMW y de LMW (Luo y col., 2000). En este estudio se encontraron cambios en las subunidades de gluteninas de los trigos con PB, las de HMW permanecieron constantes, resultados similares encontraron Wieser y Zimmermann (2000) y DuPont y col. (2007) en trigos normales donde la proporción de las subunidades de gluteninas de HMW permanece constante, por lo tanto, se podría pensar que la PB no afecta a las subunidades de HMW; sin embargo, afecta a las subunidades de LMW al presentar una proporción menor de estas subunidades, además estas subunidades son ricas en S al igual que las gliadinas  $\alpha + \beta$  que también disminuyen por lo que puede pensarse en una deficiencia de S, pero no se puede asegurar. Estos resultados son similares a los descritos en otras investigaciones donde los trigos se cultivaron bajo deficiencia de S (MacRitchie y Gupta, 1993; Shewry y Tatham 1997; Wieser y col., 2004).

## Análisis de Componentes Principales por Grupos

El ACP por grupos, se realizó para ver el efecto que presentó el contenido de PB de los diferentes grupos en las determinaciones realizadas en este estudio, además las correlaciones entre variables dependientes.

En la Tabla 8 se presentan los primeros siete CP que explican la variabilidad entre las 20 principales variables dependientes seleccionadas del ACP por variedad preliminar. En la Figura 10 se muestra la rotación varimax donde los dos primeros CP se consideraron en la rotación, se observa que el CP1 incluyó 7.77 variables individuales y el CP2 3.32 variables individuales (Tabla 8). A partir del ACP por grupos, se observó que en los dos primeros componentes se explicó el 55.46% de la variabilidad total entre los datos observados y que los indicadores como el contenido de proteína, la proporción de PPI, la proporción de gli1 y gli2, la proporción de alb, de glo, el CAgli- $\alpha+\beta$ , el CCgli1, el CCalb, el CCglo en el CP1 y la proporción de las gli- $\gamma$ , el CAgli- $\gamma$ , el CCPPS1, el CCgli1 del CP2, fueron las variables dependientes de mayor correlación con los ejes principales (Figura 10A), lo cual señala la utilidad que pueden tener estas variables dependientes para la estimación de la respuesta de cuáles son las fracciones proteicas que se ven afectadas por el contenido de PB en el trigo. Las variables dependientes que presentaron una correlación positiva entre sí fueron el contenido de proteína con la PPI, y el CCalb y el CCglo, mientras que entre las variables dependientes que presentaron una correlación negativa están la proporción de PPI y la proporción de glo, la proporción de gli1 y la proporción de gli2, la proporción de alb con CAgli- $\alpha+\beta$ . En esta misma Figura en el cuadrante superior izquierdo se observa que las variables dependientes proporción de glo, el CCalb y el CCglo, presentaron características similares con el grupo 1 (contenido intermedio de PB) y algunas muestras del grupo 2 (contenido alto de PB) del mismo cuadrante de la figura de la derecha. Estas variables dependientes tienen una relación negativa con las variables dependientes del cuadrante opuesto, inferior derecho, tales como la proporción de la PPI, de la PPS1 y el CAgli- $\gamma$ , las cuales tienen similitud mayor con el grupo 1 (trigo normal). En relación al cuadrante superior derecho se encuentran las variables dependientes contenido de proteína, proporción de PPI, de gli1, el CAgli- $\alpha+\beta$ , el CALMW, el CCPPS1, el CCgli1, están relacionadas principalmente con las muestras del grupo 3 (trigo normal) y además, algunas del grupo 1 (contenido intermedio de PB). Así mismo, estas variables dependientes tienen un comportamiento opuesto, al cuadrante inferior izquierdo, donde se ubican las

Tabla 8. Propiedades de los siete componentes principales obtenidos a partir del análisis de componentes principales por grupos.

Componente Principal	Valor Propio	Porcentaje de Variación	Porcentaje Acumulativo
1	7.770	38.85	38.85
2	3.324	16.61	55.46
3	1.969	9.84	65.31
4	1.623	8.11	73.42
5	1.337	6.68	80.11
6	1.168	5.84	85.95
7	0.930	4.65	90.60

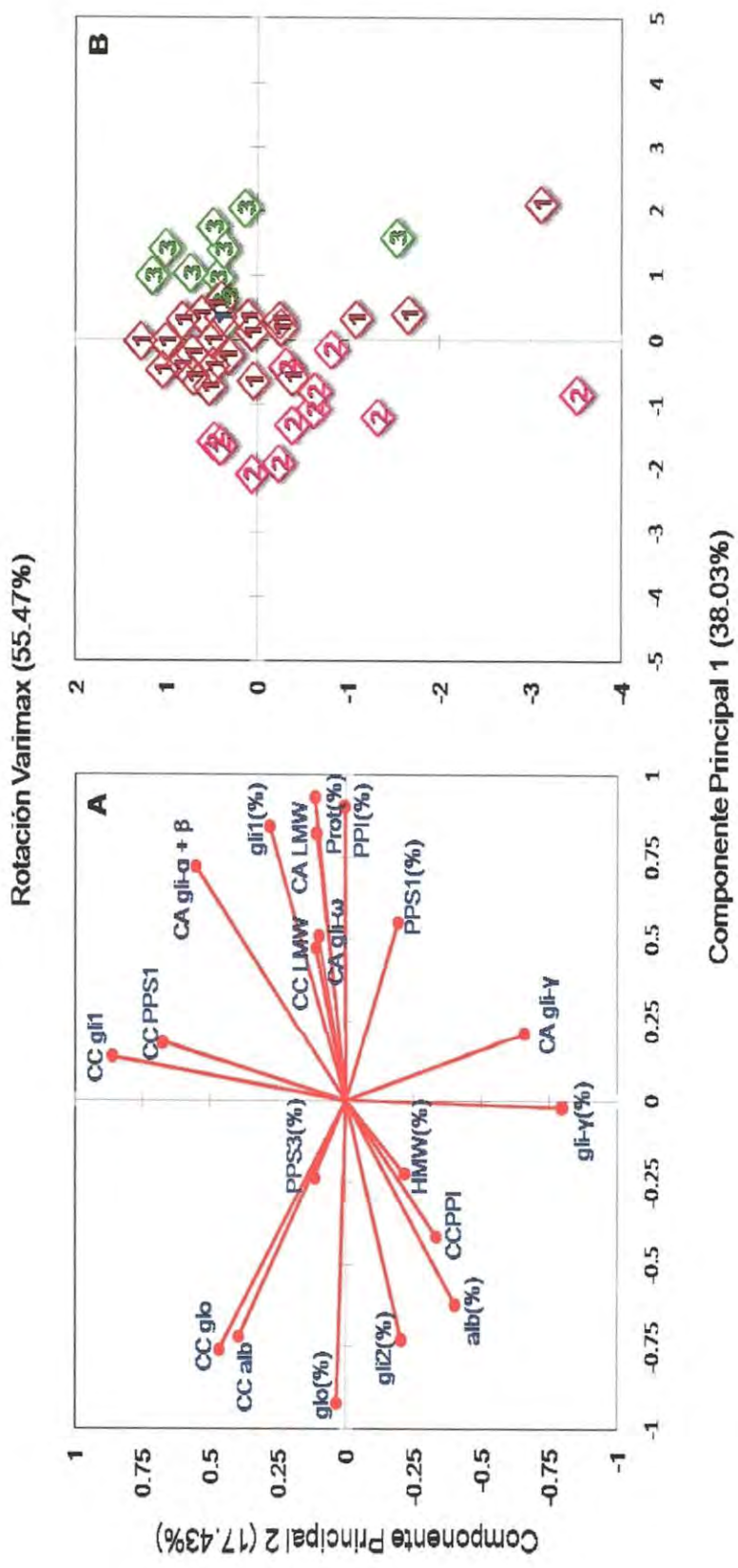


Figura 10. Análisis de componentes principales por grupos. (A) Variables estudiadas, (B) grupos con diferente contenido de PB. Prot, contenido de proteína; PPI, proteína polimérica insoluble; PPS, proteína polimérica soluble (fracciones 1 y 3); alb, albúminas; glo, globulinas; gli, gliadinas; HMW, subunidades de gluteninas de masa molecular alta; LMW, subunidades de gluteninas de masa molecular baja; CA, contenido absoluto; CC, contenido corregido por el contenido de proteína; 1, contenido intermedio de PB; 2, contenido alto de PB; 3, trigo normal o sin PB.



variables dependientes proporción de gli2, de alb y de gli- $\gamma$  estas presentaron una relación con el grupo 2 (contenido intermedio de PB) y una muestra del grupo 1 (trigo normal).

La presencia de alto contenido de PB en los trigos se relaciona con una cantidad menor de las subunidades de gluteninas de LMW cuando este valor fue corregido por el contenido de proteína, se refleja en una proporción mayor de las subunidades de gluteninas de HMW, lo que explica el aumento en el contenido de la PPI corregida. Además, una proporción mayor de la segunda fracción de gliadinas, de globulinas, de gli- $\gamma$  y de subunidades de gluteninas de HMW, mientras que un menor contenido de proteína, proporción de PPI, proporción y concentración corregida de la primera fracción de gliadinas, la concentración absoluta de las gli- $\alpha+\beta$  y la concentración corregida de la primera fracción de la PPS respecto a los trigos normales.

## CONCLUSIONES

1. Los trigos de las variedades Tacupeto y Rayón presentaron una incidencia mayor del desorden fisiológico PB y en un grado menor este desorden se presentó en los trigos de la variedad Kronstad, lo que hace suponer, que esta última es más resistente a la presencia de PB.
2. Los trigos de la variedad Tacupeto, que fueron los más afectados por el desorden PB, presentaron cambios mayores en los indicadores (contenido menor de proteína y de PPI) de calidad panadera determinados.
3. La variedad Kronstad de trigo normal fue la que presentó un mejor comportamiento desde el punto de vista de los indicadores (contenido mayor de proteína y de PPI) de calidad panadera determinados.
4. El contenido de proteína y la proporción de PPI disminuyeron a medida que aumenta el contenido de PB en el trigo en relación al trigo normal.
5. Las fracciones proteicas de la proteína soluble se vieron influenciadas por el contenido de PB en el trigo, al presentarse una menor proporción de la primera fracción de la PPS, de la primera fracción de gliadinas y un incremento en la segunda fracción de las gliadinas y de albúminas y globulinas en relación al trigo normal.
6. La cantidad de la primera fracción de las gliadinas disminuye y la de las albúminas y globulinas se incrementa en los trigos con PB, independientemente del contenido de proteína en relación al trigo normal.
7. La cantidad de gliadinas  $\omega$ , de gliadinas  $\alpha+\beta$  y de las subunidades de gluteninas de LMW disminuye en los trigos con PB en relación al trigo normal.

8. El alto contenido de PB en los trigos trajo como consecuencia una cantidad menor de las subunidades de gluteninas de LMW corregida por el contenido de proteína, reflejándose en una proporción mayor de las subunidades de gluteninas de HMW, explicando así el aumento en el contenido de la PPI corregida en relación al trigo normal.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar con la identificación de las subclases de gliadinas ( $\omega$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) que se encuentran presentes en las dos fracciones de gliadinas encontradas en este estudio por SE-HPLC, mediante la técnica de electroforesis en gel de poliacrilamida a pH ácido (A-PAGE) en las diferentes variedades de trigo normal y con PB.
2. Se sugiere evaluar el efecto que tienen las fracciones proteicas (PPI, PPS, gliadinas  $\alpha+\beta$  y subunidades de gluteninas de HMW) sobre las propiedades reológicas de las masas elaboradas a partir de trigos con PB.
3. Se sugiere utilizar trigos cultivados bajo dos tratamientos de fertilizante, uno con diferente concentración N y otro con diferente concentración de S, así mismo, monitorear la acumulación de las proteínas durante el desarrollo del grano de trigo de variedades susceptibles a PB.

## REFERENCIAS

- AACC. 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemistry. The 10<sup>th</sup> Ed. St. Paul Minnesota, U.S.A.
- Aamodt, A., Magnus, E.M. and Faergestad, E.M. 2003. Effect of flour quality, ascorbic acid, and datem on dough rheological parameters and hearth loaves characteristics. *J. of Food Sci.* 68(7):2201-2210.
- Altenbach, S. B., DuPont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L. and Lieu, D. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a USA spring wheat. *J. of Cereal Sci.* 37(1):9-20.
- Ammiraju, J.S.S., Dholakia, B.B., Jawdekar, G., Santra, D.K., Gupta, V.S., Roder, M.S., Singh, H., Lagu, M.D., Dhaliwal, H.S., Rao, V.S. and Ranjekar, P.K. 2002. Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Euphytica*. 123(2):229-233.
- Anjum, F. M., Lookhart, G. L. Walker, C.E. 2000. High-molecular-weight glutenin subunit composition in Pakistani hard white spring wheats grown at three locations for 2 years and its relationship with end-use quality characteristics. *J. of food Sci.* 80(2):219-225.
- Anjum, F.M., Khan, M.R., Din, A., Saeed, M., Pasha, I. and Arshad, M.U. 2007. Wheat gluten: High molecular weight glutenin subunits structure, genetics, and relation to dough elasticity. *J. of Food Sci.* 72(3): 56-63.
- Atwell, W.A. 2001. An Overview of wheat development, cultivation, and production. *Cereal Food World*. 46(2):59-62.
- Bahrman, N., Le Gouis, J., Negroni, L., Amilhat, L., Leroy, P., Lainé, A.-L. and Jaminon, O. 2004. Differential protein expression assessed by two-dimensional gel electrophoresis for two wheat varieties grown at four nitrogen levels. *Proteomics*. 4(4):709-719.
- Batey, I.I., Gupta, R.B. and MacRitchie, 1991. Use of size exclusion high performance liquid chromatography in the study of wheat flour proteins: an improved

- chromatographic procedure. American Association of Cereal Chemists, Inc. 68(2):207-209.
- Bean, S.R., Lyne, R.K., Tilley, K.A., Chung, O.K. and Lookhart, G.L. 1998. A rapid method for quantitation of insoluble polymeric proteins in flour. 75(3):374-379.
- Bhullar, S.S., Jenner, C.F., 1985. Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. Aust. J. Plant Physiol. 12(4):363-375.
- Bietz, J.A. 1986. High-performance liquid chromatography of cereal proteins. Adv. Cereal Sci. Technol. 8:105-170.
- Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F. and Gourdon, J. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. Euphytica. 119(1):59-67.
- Bourne, G.H. 1989. World Review of Nutrition and Dietetics. Nutritional Value of Cereal Products, Bean and Starches. Ed. Kaeger, New York.
- Brown, B.D., and Petrie, S. 2006. Irrigated hard winter wheat response to fall, spring, and late season applied nitrogen. Field Crop. Res. 96(2):260-268.
- Burnouf, T. and Bietz, J.A. 1989. Rapid purification of wheat glutenin for reversed-phase high-performance liquid chromatography: comparison of dimethyl sulfoxide with traditional solvents. Cereal Chem. 66(2):121-127.
- CANIMOLT. Cámara Nacional de la Industria Molinera del Trigo. 2008. El Grano Maduro, Entero, Sano y Seco del Género *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf. México, D.F.
- Cassman, K.G., Bryant, D.C., Fulton, A.E., Jackson, L.F., 1992. Nitrogen supply effects on partitioning of dry matter and nitrogen to grain of irrigated wheat. Crop Sci. 32(5):1251-1258.
- Cortés, J.J.M. 2008. Uso de nitrógeno para incrementar la calidad y reducir el problema de panza blanca en trigo. Memoria Día del Agricultor. Campo Experimental Valle del Yaqui-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. p. 15.

- Daniel, C. and Triboi, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. *J. Cereal Sci.* 32(1):45-56.
- Daniel C, Triboi, E.E. 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European J. of Agron.* 16(1):1-12.
- Devos, K.M. and Gale, M.D. 1993. The genetic map of wheat and their potential in plant breeding. *Outlook on Agric.* 22:93-99.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Macgregor, A.W. and Tkachuk, R. 1989. The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. of Cereal Sci.* 10(1):19-32.
- Dhaliwal, H.S., Sharma, S.K., Multani, D.S. and Randhwan, A.S. 1986. Genetics of yellow berry in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 72(4):548-550.
- Doekes, G.J., Wennekes, L.M.J., 1982. Effect of nitrogen fertilization on quantity and composition of wheat flour protein. *Cereal Chem.* 59:276-278.
- D'Ovidio, R. and Masci, S. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *J. Cereal Sci.* 39(3):321-339.
- Dowell, F. E. 2000. Differentiating vitreous and nonvitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chem.* 77(2):155-158.
- DuPont, F.M. and Altenbach, S.B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. of Cereal Sci.* 38(2):133-146.
- DuPont, F.M., Hurkman, W.J., Vensel, W.H., Chan, R., Lopez, R., Tanaka, C.K. and Altenbach, S.B. 2006a. Differential accumulation of sulfur-rich and sulfur-poor wheat flour proteins is affected by temperature and mineral nutrition during grain development. *J. of Cereal Sci.* 44(1):101-112.
- DuPont, F.M., Hurkman, W.J., Vensel, W.H., Tanaka, C.K. Kothari, K.M., Chung, O.K. and Altenbach, S.B. 2006b. Protein accumulation and composition in wheat

- grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. *Europ. J. Agron.* 25(2):96-107.
- DuPont, F.M., Chan, R. and Lopez, R. 2007. Molar fractions of high-molecular-weight glutenin subunits are stable when wheat is grown under various mineral nutrition and temperature regimens. *J. of Cereal Sci.* 45(2):134-139.
- FAO. 2005. OECD-FAO agricultural outlook: 2005–2014 global information and early warning system on food and agriculture (GIEWS). Food outlook No.4, December, 2005.
- Fowler, D.B. 2003. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. *Agron. J.* 95(2):260-265.
- Gianibelli, M.C., Arango, C. and Sarandon, S.J. 1990. Protein composition of vitreous and Yellow Berry Bread wheat: Influence of Nitrogen Fertilization. In: Bushuk W and R. Tkachuk R, editors. *Gluten Proteins*, AACC, St. Paul, Minnesota, USA. p. 765-772.
- Gianibelli, M. C., Larroque, O.R., MacRitchie, F. and Wrigley, C.W. 2001. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. Online Review. American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Graybosch, R.A., Peterson, C.J., Shelton, D.R. and Baenziger, P.S. 1996. Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Sci.* 36(2):296-300.
- Gupta, R.B., Batey, I.L., MacRitchie, F., 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* 69(2):125-131.
- Gupta, R.B., Khan, K. and MacRitchie, F. 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.* 18(1):23-41.
- Gupta, R.B. and MacRitchie, F. 1994. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, Glu-1, Glu-3 and Gli-1 of common wheats. II: Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *J. of Cereal Sci.* 19(1):19-29.



- Gupta, R.B., Masci, S., Lafiandra, D., Bariane, H.S. and MacRitchie, F. 1996. Accumulation of proteins subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. *J. Exp. Botany*. 47(302):1377-1385.
- Guttieri MJ, Ahmad R, Stark JC, Souza E. 2000. End-use quality of six hard red spring wheat cultivars at different irrigation levels. *Crop Sci*. 40(3): 631-635.
- Guttieri, M.J., R. McLean, J.C. Stark, and E. Souza. 2005. Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheats for optimum bread and noodle quality. *Crop Sci*. 45(5):2049-2059.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. y Black, W.C. 1999. Análisis multivariante. 5ta ed. Ed. Prentice Hall. Madrid, España. p. 4, 11, 92-98, 207 y 492.
- Hernández, S.A. 1992. Avance en el mejoramiento genético del trigo en México. Memoria de la Conferencia Nacional sobre la Producción de Trigo en México. pp. 567.
- Hoseney, R.C 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia, S.A., Zaragoza, España. p. 73.
- Hoseney, R.C 2002. Principles of Cereale Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN. USA. p. 2.
- Hsam, S.L.K., Kieffer, R. And Zeller, F. J. 2001. Significance of Aegilops tauschii glutenin genes on breadmaking properties of wheat. *Cereal Chem*. 78(5):521-525.
- Hubbard, J.D., Pomeranz, Y., and Lai, F.S. 1977. Note on protein contents and amino acid composition of dark hard yellow hard kernels separated from red winter wheat. *Cereal Chem*. 54: 778-783.
- Huebner, F.R., Nelsen, T.C., Chung, O.K. and Bietz, J.A. 1997. Protein distributions among hard red winter wheat varieties as related to environment and baking quality. *Cereal Chem*. 74(2):123-128.
- Islas, I.R., MacRitchie, F., Gandikota, S. y Hou, G. 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de la harina de trigo. *Rev. Fitotec. Mex*. Vol. 28(3):243-251.

- Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M. and Schnurbusch, T. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *J. of Experimental Botany*. 59(12):3327-3346.
- Jamieson, P.D., Stone, P.J. and Semenov, M.A. 2001. Towards modeling quality in wheat from grain nitrogen concentration to protein composition. *Aspects of Applied Biology*. 64:111-126.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M.L. and Jonsson, J.O. 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem*. 78(1):19-25.
- Johansson, E., Nilsson, M. L., Mazhar, H., Skerit, J., MacRitchie, F. and Svensson. 2002. Seasonal effects on storage proteins and gluten strength in four Swedish wheat cultivars. *J. of the Sci. of Food and Agric*. 82(11):1305-1311.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M.L. and Svensson, G. 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. *J. of Plant Nutrition and Soil Sci*. 167(3):345-350.
- Kasarda, D.D., Autran, J.C., Lew, E.J.L., Nimmo, C.C. and Shewry, P.R. 1983. N-terminal amino acid sequences of omega-gliadins and omega-secalins: Implications for the evolution of prolamin genes. *Biochim. Biofys. Acta* 747:138-150.
- Kirigwi, F.M. 2004. Evaluation of Selection Strategies for Wheat Adaptation Across Water Regymes. *Euphytica*. 135(3):361-371.
- Labuschagne, M.T., Koen, E. and Dessalegn. T. 2004. Use of size-exclusion high-performance liquid chromatography for wheat quality prediction in Ethiopia. *Cereal Chem*. 81(4):533-537.
- Lafiandra, D., Masci, S., Blumenthal, C.S. and Wrigley, C. W. 1999. The formation of glutenin polymer in practice. *Cereal Foods World*. 44(8):572-578.
- Larroque, O.R., Gianibelli, M.C., Gomez Sanchez, M. and Macritchie, F. 2000. Procedure for obtaining stable protein extracts of cereal flour and whole meal for size-exclusion HPLC analysis. *Cereal Chem*. 77(4):448- 450.
- Lizárraga, O.J.Y. 2004. Efecto de los Diferentes Niveles de Trigo Panadero con Panza Blanca en la Calidad de su Harina. Tesis de Licenciatura.

Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.  
Hermosillo Sonora.

- Lookhart, G. L., and Albers, L. D. 1988. Correlations between reversed-phase high-performance liquid chromatography and acid and sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoretic data on prolamins from wheat sister lines differing widely in baking quality. *Cereal Chem.* 65(3):222-227.
- Lookhart, G.L., Bean, S.R. and Bietz, J.A. 2003a. HPLC of Gluten Monomeric Proteins. Ch. 4 in: *Wheat Gluten Proteins Analysis*. Shewry, P.R. and Lookhart, G.L. eds. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minn. p. 61-74.
- Lookhart, G.L., Bean, S.R. and Bietz, J.A. 2003b. Reversed-phase high-performance liquid chromatography in grain applications. *Cereal Foods World.* 48(1):9-16.
- Luo, C., Branlard, G., Griffin, B. and McNeil, D.L. 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. of Cereal Sci.* 31(2):185-194.
- Luo, C., Griffin, W. B., Branlard, G., and McNeil, D. L. 2001. Comparison of low- and high- molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theor. Appl Genet.* 102(6):1088-1098.
- Ma, Y. 2005. Allelopathic studies of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Weed Biology and Management.* 5(3):93-104.
- MacRitchie, F., Gupta, R.B., 1993. Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulfur availability. *Australian Journal of Agricultural Research.* 44(8):1767-1774.
- MacRitchie, F. and Lafiandra, D. 1997. Structure-function relationships of wheat proteins. In: *Food Proteins and Their Applications*. Srinivasan, Ed. Damodaran & Iain P. Marcel Dekker, Inc.
- MacRitchie, F. 1999. Wheat proteins: characterization and role in flour functionality. *Cereal Foods World.* 44(4):188-193.
- MacRitchie, F. and Lafiandra, D. 2001. Use of near-isogenic wheat lines to determine protein composition-functionality relationships. *Cereal Chem.* 78(5): 501-506.
- Martínez, S.J.J. 1985. Álamos Tcl 83 y Altar C84: nuevas variedades de triticale y trigo duro. SARH-CIANO. Folleto técnico N° 5.

- Martre, P., Porter, J.R., Jamieson, P.D., Triboui, E., 2003. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology* 133(4):1959-1967.
- Masci, S., Egorov, T.A., Ronchi, C., Kuzmicky, D.D., Kasarda, D.D., Lafiandra, D. 1999. Evidence for the presence of only one cysteine residue in the d-type low molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 29(1):17-25.
- Matus, B.E.A. 2007. Elaboración de Tortillas como una Alternativa de Uso de Trigo Panadero con Panza Blanca. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora. Hermosillo Sonora.
- Maucher, T., Figueroa, J.C.D., Reule, W and Peña, R.J. 2009. Influence of low molecular weight glutenins on viscoelastic properties of intact wheat kernels and their relation to functional properties of wheat dough. *Cereal Chem.* 86(4):372-375.
- Mikhaylenko, G.G., Czuchajowska, Z., Baik, B. K. and Kidwell, K.K. 2000. Environmental influences on flour composition, dough rheology, and beaking quality of spring wheat. *Cereal Chem.* 77(4):507-511.
- Nollet, L.M.L. 2004. Handbook of Food Analysis: Physical characterization and nutrient analysis. Vol. 1. 2da edition. pp. 912.
- Norma Mexicana NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados-cereales-trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.).
- Ortiz-Monasterio, J.I., Sayre, K.D., Peña, R.J. and Fischer, R.A. 1994. Improving the nitrogen use efficiency of irrigated spring wheat in the Yaqui Valley of Mexico. Fifteen World Congress of Soil Sci. Vol. 5b:348-349.
- Ozturk, A., Aydin, F., 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. of Agron. and Crop Sci.* 190(2):93-99.
- Panozzo, J.F., Eagles, H.A. and Wootton, M. 2001. Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian J. of Agric. Research.* 52(4):485-493.

- Paredes, L.O., Covarrubias, A.M.M. and Barquin, C.J. 1985. Influence of nitrogen fertilization on the physicochemical and functional properties of bread wheats. *Cereal Chem.* 62(6):427-430.
- Patacchini, C., Madci, S. And Lafiandra, D. 2001. A new method to purify Y-type high molecular weight glutenin subunits from wheat. *J. of Cereal Sci.* 34(2):135-139.
- Patindol, J., Gu, X. and Wang, Y.-J. 2009. Chemometric analysis of the gelatinization and pasting properties of long-grain rice starches in relation to fine structure. *Starch/Starke.* 61(1):3-11.
- Payne, P.I., Corfield, K.G., Holt, L.M. and Blackman, J.A. 1981. Correlations between the inheritance of certain high molecular weight subunits of glutenin and breadmaking quality in progenies of six crosses of bread wheat. *J. of the Sci. of Food and Agric.* 32(1):51-60.
- 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. *Phil. Trans. of the R. Soc. of Lond.* 304(1120):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. *J. Sci. Food Agric.* 40(1):51-65.
- Pedersen, L. and Jorgensen, J.R. 2007. Variation in rheological properties of gluten from three biscuit wheat cultivars in relation to nitrogen fertilization. *J. of Cereal Sci.* 46(2):132-138.
- Raath, N.C., Agenbag, G.A. and De Villiers, O.T. 1995. Effect of yellow berry on yield and protein composition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *South African J. Plant Soil.* 12(4):175-176.
- Rhazi, L., Cazalis, R. and Aussenac, T. 2003. Sulfhydryll-disulfide changes in storage proteins of developing wheat grain: Influence on the SDS-unextractable glutenin polymer formation. *J. Cereal Sci.* 38(1):3-13.
- Robinson, F.E., Cudney, D. and Lehman, W.F. 1977. Yellow berry of wheat linked to protein content. *California Agric.* 31(3):16-18.
- Robinson, F.E., Cudney, D.W. and Lehman, W.F. 1979. Nitrate fertilizer timing, irrigation, protein and yellow berry in durum wheat. *Agron. J.* 71:304-308.

- Ryan, J., Nsarellah, N. and Mergoum, M. 1997. Nitrogen fertilization of durum wheat cultivars in the rainfed area of Morocco: Biomass, yield and quality considerations. *Cereal Res. Comm.* 24:347-352.
- Sadek, P.C. 2000. *Troubleshooting HPLC systems: a bench manual*. Wiley-Interscience publication. U.S.A. pp. 306.
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., Ohm, J.B., Verhoeven, M.C., Larson, M. and Hoefer, B. 2008a. Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. *J. of Cereal Sci.* 47(3):407-416.
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., Ohm, J.B., Verhoeven, M.C., Larson, M. and Hoefer, B. 2008b. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Agron. J.* 100(2):414-420.
- Samson, M.F., Mabille, F., Chéret, R., Abécassis, J. and Morel, M.H. 2005. Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chem.* 82(1):81-87.
- Saseendran, S. A., Nielsen, D. C., Ma, L., Ahugam, L. R. and Halvorson, A. D. 2004. Modeling nitrogen management effects on winter wheat production using RZWGM and CERES-wheat. *Agron. J.* 96:61-630.
- Schofield, J.D. and Booth, M.R. 1983. Wheat proteins and their technological significance. In *Developments in food proteins*. Hudson, B.J.F., ed. (London, Applied Science Publishers). pp. 1-65.
- Shahsavani, S. and Gholami, A. 2008. Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. *Pak. J. Biol. Sci.* 11(17):2134-2138.
- Sharma, G.C., Paul, A.D. and Bietz, J.A. 1983. Nitrogen fertilization effects and anatomical, protein and aminoacid characterization of yellow berry in triticale. *Crop Sci.* 23:699-703.
- Shewry, P. R., Autran, J. C., Lew E. J. L. and Kasarda D. D. 1980. N-terminal amino acid sequence homology of storage protein components from barley and diploid wheat. *Nature.* 286(5772):520-522.

- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Forde, J., Kreis, H., Mifflin, B.J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *J. Cereal. Sci.* 4(2):97-106.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S. 1997. Mini Review: Disulphide bonds in wheat gluten proteins. *J. Cereal Sci.* 25(3):207-227.
- Shewry, P.R. and Lookhart, G.L. 2003. Wheat gluten protein analysis. American Association of Cereal chemists. pp. 62.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., Tatham, A.S., Popineau, Y., Lafiandra, D. and Belton, P.S. 2003. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 45:219-302.
- Shewry, P.R. and Halford, N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *J. of Experimental Botany.* 53(370):947-958.
- Singh, H. and MacRitchie, f. 2001. Application of polymer science to properties of gluten. *J. Cereal Sci.* 33(3):231-243.
- Sólis, M.E. y Díaz de León, T.J.G. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo Duro. *Terra.* 19(4):375-383.
- Southan, M. and MacRitchie, F. 1999. Molecular weight distribution of wheat proteins. *Cereal Chem.* 76(6):827-836.
- Stone, P.J., and Nicolas, M.E. 1996. Varietal differences in mature protein composition of wheat resulted from different rates of polymer accumulation during grain-filling. *Australian J. of Plant Physiology.* 23(6):727-737.
- Tatham, A.S. and Shewry, P.R., 1985a. The conformation of wheat gluten proteins. The secondary structures and thermal stabilities of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\omega$ -gliadins. *J. Cereal Sci.* 3(2):104-113.
- Tatham, A.S. and Shewry, P.R. 1985b. The secondary structures and thermal stabilities of  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  y  $\omega$ -gliadins. *J. Cereal Sci.* 3(2):103-113.
- Tea, I., Genter, T., Naulet, N., Boyer, V., Lummerzheim, M. and Kleiber, D. 2004. Effect of foliar sulfur and nitrogen fertilization on wheat storage protein composition and dough mixing properties. *Cereal Chem.* 81(6):759-766.

- Triboi, E., Abad, A., Michelena, A., Lloveras, J., Ollier, J.L. and Daniel, C. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur. J. of Agron.* 13(1):47-64.
- Triboi, E., Martre, P., Triboi-Blondel, A.M., 2003. Environmentally-induced changes of protein composition for developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *J. Exp. Bot.* 54(388):1731-1742.
- Uthayakumaran, S., Tömösközi, S., Savage, A.W.J., Tatham, A., Gianibelli, M.C., Stoddard, F.L. and Békés, F. 2001. Effects of gliadin fractions on the functional properties of wheat dough depend on molecular size and hydrophobicity. *Cereal Chem.* 78(2):138-141.
- Wang, X., He, M., Li, F., Liu, Y., Zhang, H. and Liu, C. 2008. Coupling effects of irrigation and nitrogen fertilization on grain protein and starch quality of strong-gluten winter wheat. *Front. Agric. China.* 2(3):274-280.
- Weegels P.L., Hamer, R.J. and Schofield, J.D. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. of Cereal Sci.* 23(1):1-18.
- Wieser, H. and Seilmeier, W. 1998. The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J. of the Sci of Food and Agric.* 76(1):49-55.
- Wieser, H. and Zimmermann, G. 2000. Importance of amounts and proportions of high molecular weight subunits of glutenin for wheat quality. *European Food Research and Technology.* 210(5) 324-330.
- Wieser, H. and Kieffer, R., 2001. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 34(1):19-27.
- Wieser, H., Gutser, R. and Von Tucher S. 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. of Cereal Sci.* 408(3):239-244.
- Wieser, H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microb.* 24(2):115-119.
- Wieser, H., Manderscheid, R., Erbs, M. and Weigel, H.J. 2008. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the quantitative protein composition of wheat grain. *J. of Agric. Food Chem.* 56(15):6531-6535.



## DEL AUTOR

Este trabajo se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, Especialidad Almacenamiento y Procesamiento de Granos, de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, para ponerla a disposición de los interesados. Se puede tener autorización para reproducir y/o referirse a este escrito, en su totalidad o en parte, a través del Coordinador del Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos, cuando considere que dicha propuesta apoye al avance académico.

En cualquier otra situación se debe obtener autorización directamente del autor.

ATENTAMENTE

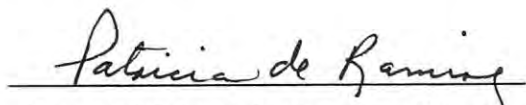


---

Q.B. Edith Alejandra Matus Barba

Aprobación del Asesor

Este trabajo se aprobó en la fecha señalada:



---

Dra. Patricia Isabel Torres Chávez

30 de Abril de 2010

Fecha