



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

**CAMBIOS EN LA CALIDAD HARINERA Y PANADERA DEL
TRIGO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A
CRISTOBAL VALDÉS VALDÉS

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", TOLUCA, MÉX. JULIO 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

CAMBIOS EN LA CALIDAD HARINERA Y PANADERA DEL
TRIGO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

CRISTOBAL VALDÉS VALDÉS

ASESORES:

DIRECTOR DE TESIS: DR. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO

TUTOR ADJUNTO: DR. AURELIO DOMÍNGUEZ LÓPEZ

TUTOR ADJUNTO: DR. CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO" TOLUCA, MÉX. JULIO 2013

DEDICATORIA

El hombre encuentra a Dios en cada puerta que la ciencia logra abrir

(Albert Einstein)

Con gran amor y cariño para mi adorable familia.....

Muchas gracias!!!

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su bondad amorosa y protección en todo momento de mi vida que me dio...

Al Dr. Gaspar Estrada Campuzano por permitirme participar en el proyecto de investigación.

Al Dr. Carlos G. Martínez Rueda, por compartir sus conocimientos y por su gran ayuda durante la parte estadística de la tesis.

Al Dr. Aurelio Domínguez López que nuevamente estuvo presente en esta etapa formativa y que sus observaciones pudieron mejorar parte del trabajo.

Al Dr. Ernesto Solís Moya por proporcionarnos el material que dio inicio a esta investigación y por su valiosa ayuda en los análisis de laboratorio que se realizaron.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

A mis compañeros de posgrado, Daniel Arizmendi, Víctor Vaca, Elia, Angel....por su apoyo y amistad brindada.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia del trigo	3
2.2 Partes del grano de trigo.....	3
2.3 Composición química del grano.....	4
2.3.1 Vitaminas.....	5
2.3.2 Proteínas	6
2.4 Tipos de trigos	6
2.4.1. Clasificación del trigo.....	6
2.5 Principales usos y subproductos.....	7
2.5.1 Harina.....	8
2.5.2 Pan	9
2.6 Importancia del nitrógeno para determinar el rendimiento y calidad panadera..	9
2.6.1 Aspectos generales	9
2.6.2 Criterios para definir la mejor estrategia de fertilización	10
2.6.3 Momentos más oportunos para aplicaciones de nitrógeno.....	11
2.7 Calidad industrial del trigo.....	13
2.7.1 Calidad del grano.....	13
2.7.2 Calidad molinera.....	14

2.7.3 Calidad panadera.....	15
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. HIPÓTESIS.....	21
V. OBJETIVO GENERAL	21
VI. MATERIALES Y METODOS	22
6.1 Sitio experimental y material genético.....	22
6.2 Condiciones generales del experimento	22
6.3 Variables analizadas.....	23
6.3.1 Rendimiento de grano y sus principales componentes.....	23
6.3.2 Análisis físicos para evaluar la calidad en el grano.....	23
6.3.2.1 Peso hectolítrico (PHL)	23
6.3.2.2 Dureza (Dz).....	23
6.3.2.3 Rendimiento harinero (RH).....	24
6.3.3 Análisis químico para evaluar el grano de trigo.....	24
6.3.3.1 Proteína en grano (PG) y harina (PH).....	24
6.3.3.2 Cenizas (Cz).....	24
6.3.3.3 Sedimentación (SDS).....	25
6.3.4 Análisis reológico para determinar la calidad panadera de la harina	25
6.3.4.1 Fuerza y extensibilidad del gluten (alveogramas W y PL).....	25
6.3.5 Prueba de panificación	26
6.4 Análisis estadístico	26
VII. RESULTADOS	27
7.1 Presentación del artículo enviado	27
7.2 Carta de recepción del artículo enviado a Revista Fitotecnia Mexicana	29
7.3 Artículo enviado a Revista Fitotecnia Mexicana.....	30

7.3.1 INTRODUCCIÓN	33
7.3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
7.3.3 RESULTADOS.....	38
7.3.4 DISCUSIÓN	41
7.3.5 CONCLUSIONES	45
7.3.6 AGRADECIMIENTOS	45
7.3.7 BIBLIOGRAFÍA	46
7.4 Artículo por enviar a la revista Journal of the Science of Food and griculture...54	
7.4.1 Introducción	56
7.4.2 Materiales y Métodos.....	58
7.4.3 Resultados.....	62
7.4.4 Discusión	72
7.4.5 Conclusiones	76
7.4.6 Agradecimientos	77
7.4.7 Bibliografía.....	77
VIII. DISCUSIÓN GENERAL.....	81
IX. CONCLUSIÓN GENERAL	84
X. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
2.1. Composición química del grano de trigo	5
2.2. Diferentes vitaminas que contiene el grano de trigo.....	5
2.3. Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.	7
2.4. Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo.....	8
7.1. Valores de F para las causas de variación considerados para los parámetros de calidad de 9 variedades de trigo cultivados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada en Toluca, México	51
7.2. Valores medios para las variables de calidad de 9 variedades de trigo cultivados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México	52
7.3. Valores de F de las causas de variación considerados para los parámetros de calidad y rendimiento de grano de 9 variedades de trigo cultivados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México	64
7.4. Valores medios para las variables de calidad evaluadas en 9 variedades de trigo cultivados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Partes principales del trigo	4
2.2. Etapa en la que el trigo demanda mayor cantidad de N y evolución del peso seco de las espigas con y sin grano para un cultivo con buena disponibilidad de agua y nutrientes.....	12
2.3. Farinograma con sus parámetros de evaluación del proceso de mezclado de la harina de trigo	17
2.4. Alveogramas típicos para evaluar la calidad de las harinas de trigo	18
2.5. Mixograma con sus parámetros para evaluar la calidad de la masa de trigo	19
7.1. Precipitación y temperaturas mensuales de los dos ciclos del cultivo evaluados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada en Toluca, México 2010-2011	51
7.2. Valores medios para las variables peso hectolítrico (kg hL^{-1}) (A), dureza (%) (B), rendimiento harinero (%) (C), proteína en grano (%) (D), proteína en harina (%) (E) y volumen de sedimentación (mL) (F) para 9 variedades de trigo cultivadas en dos ciclos de cultivo	53
7.3. Relación entre la dureza del grano (A), proteína en grano (B) y las dosis de nitrógeno en 9 variedades de trigo	53
7.4 Precipitación y temperaturas mensuales durante los ciclos del cultivo 2010-2011, evaluados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada en Toluca, México	63
7.5. Valores respecto a los ciclos del cultivo para las variables alveograma W ($\times 10^{-4}$ J) (A), alveograma P/L (B), volumen de pan (cm^3) (C) y rendimiento de grano (t ha^{-1}) (D) en la interacción ciclo x nitrógeno	67

7.6. Valores medios para las variables sedimentación (A), alveograma P/L (B) y alveograma $W(x10^{-4}J)$ (C) para 9 variedades de trigo cultivadas durante los ciclos 2010-2011	68
7.7. Efecto del nitrógeno sobre las variables volumen de pan (cm^3) (A) y proteína en grano (%) (B) de 9 variedades de trigo evaluadas en dos ciclos de cultivo en Toluca, México	69
7.8. Valores de W, P/L y volumen de pan obtenido con harina de 9 variedades de trigo evaluadas en dos ciclos de cultivo en Toluca, México	70
7.9. Rendimiento y contenido de proteína del grano de 9 variedades de trigo evaluadas en dos ciclos de cultivo bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada, evaluadas en Toluca, México 2010-2011.....	72

RESUMEN

La cantidad y calidad de proteína en el grano de trigo y las propiedades reológicas de la masa determinan el potencial de panificación de las harinas, mientras que la cantidad de nitrógeno que absorbe el cultivo condiciona contenidos adecuados de gluten y proteína. En este sentido, se estableció el presente trabajo con el fin de determinar el rendimiento de grano y los cambios en la calidad harinera y panadera del trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada y estación de crecimiento. Los experimentos se llevaron a cabo en el ciclo invierno-primavera 2010 (riego) y verano-otoño 2011 (temporal) en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se evaluaron 9 variedades de trigo (Salamanca S75, Saturno S86, Eneida F94, Cortazar S94, Rebecca F2000, Barcenas S2002, Tollocan F2005, Urbina S2007 y Maya S2007) bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹) con una densidad de población de 336 semillas m⁻². Se analizó tanto física como químicamente el grano de trigo, así como también se realizaron los correspondientes análisis reológicos para determinar la calidad panadera de la harina y finalmente se realizó la prueba de panificación para determinar el uso potencial del trigo para la elaboración de galletas, pan o mezclas de harina para la panificación. El genotipo, manejo agronómico, ciclo del cultivo y las condiciones ambientales influyeron sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo. La diferente disponibilidad de nitrógeno modificó significativamente la proteína en grano y en harina, volumen de sedimentación, alveogramas W y P/L; así mismo, se obtuvo un mayor rendimiento de grano. En el ciclo invierno-primavera se obtuvieron los mejores índices de calidad, en donde el genotipo y el ambiente

tuvieron un efecto notable sobre las variables de calidad de la masa, pues a pesar que se obtuvieron valores menores de proteína en comparación con el ciclo verano-otoño, las relaciones W (fuerza de la masa)-P/L (tenacidad/elasticidad) indican que estas proteínas son de más alta calidad. Las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 produjeron buena calidad panadera y mayor rendimiento de grano.

Palabras Clave: Trigo (*Triticum aestivum* L.), clima, proteína, calidad panadera, variedad, fertilización nitrogenada y rendimiento de grano.

ABSTRACT

The quantity and quality of protein in the wheat grain and the rheological properties of dough breadmaking determines the potential of the flour, while the amount of nitrogen absorbed by the crop conditions suitable content of protein and gluten. In this sense, this paper was established in order to determine grain yield changes in the flour and baking quality of wheat in response to nitrogen fertilization and growing season. The experiments were conducted in winter-spring cycle 2010 (irrigation) and summer-autumn 2011 (rainfed) in the Faculty of Agricultural Sciences at the Autonomous University of the State of Mexico. We evaluated 9 varieties of wheat (Salamanca S75, Saturn S86, Eneida F94, Cortazar S94, Rebecca F2000, S2002 Barcenas, Tollocan F2005, Urbina S2007 and Maya S2007) under four levels of nitrogen fertilization (0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹) with a population density of 336 seeds m⁻². It is physically and chemically analyzed wheat grain, well as also were performed rheological analysis to determine baking quality of the flour and finally the baking test conducted to determine the potential use of wheat for the production of biscuits, bread or mixtures of flour for breadmaking. The genotype, crop management, crop cycle and environmental conditions influence on yield and grain quality of wheat. The different nitrogen availability significantly altered the protein in grain and flour, sedimentation volume, alveogramas W and P/L, likewise, there was a higher grain yield. In the winter-spring cycle obtained best quality indices, where the genotype and the environment had a marked effect on the quality variables of dough, because although values were lower in protein compared to summer-autumn cycle, relations W (dough strength)-P/L (toughness /elasticity) indicate that these proteins are of highest quality.

Varieties Eneida F94, Rebeca F2000 and F2005 Tollocan good baking quality produced higher grain yield.

Key words: *Triticum aestivum* L., weather, protein, baking quality, variety, nitrogen fertilization and yield grain.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El trigo (*Triticum aestivum* L.) ocupa el segundo lugar en el mundo después del maíz, alrededor del 75% se consume de manera directa (pan, harina, pastas alimenticias); el 15% de forma indirecta a través de productos animales y el resto se emplea como semilla (FAO, 2007). Actualmente México es importador de trigo debido a la reducción en la producción de este cereal, la superficie de trigo harinero en el país se ha reducido drásticamente debido a la escasez de agua y a la reconversión de cultivos que son más rentables (Villaseñor *et al.*, 2000).

Las siembras de trigo de temporal podrían ser una buena opción para cubrir dicha demanda (Villaseñor y Espitia, 1994); sin embargo, en los Valles Altos de México se ven afectadas por sequía y bajas temperaturas (Villaseñor y Espitia, 2000). El Trigo de temporal en los Valles Altos de México enfrenta problemas de comercialización debido principalmente a su baja calidad panadera (Bergman *et al.*, 1998). En este sentido, es importante conocer el efecto del ambiente sobre la calidad industrial del trigo de temporal (Espitia-Rangel *et al.*, 1999a y 1999b).

Por otro lado, se debe tener en consideración que el clima, suelo, variedad y el manejo del fertilizante nitrogenado en el cultivo son responsables de las variaciones en el rendimiento y calidad del trigo (Peña, 2001). Los trabajos que han considerado la evaluación del nitrógeno han mostrado que no existe mucha respuesta del cultivo de trigo cuando este se siembra bajo condiciones de temporal (Limón-Ortega *et al.*, 2008). Sin embargo, no existen evidencias de experimentos conducidos en los valles altos de México en los cuales se considere tanto siembras de temporal (verano) o

riego (invierno) y con dosis de nitrógeno contrastantes. Con base a lo anterior se planteó el siguiente trabajo de investigación el cual tuvo los siguientes objetivos:

- ❖ Estudiar los cambios en las características físicas que determinan la calidad del grano, tales como dureza y peso hectolítrico cuando la disponibilidad de nitrógeno es diferente.
- ❖ Determinar los cambios en la composición química del grano de trigo ante cambios en la fertilización nitrogenada y época de crecimiento.
- ❖ Evaluar los cambios en la calidad panadera mediante pruebas reológicas de la harina y masa en respuesta a la fertilización nitrogenada.

En este sentido, durante todo el experimento se lograron los objetivos dos y tres, comprobando la hipótesis, en la que, la oportunidad y manejo de la cantidad de fertilización nitrogenada mejora la calidad del grano de trigo; reuniendo las características necesarias para cumplir con los requerimientos que demanda la industria de la panificación.

Es de esperarse que con la generación de nuevos conocimientos sobre el manejo oportuno de la fertilización nitrogenada, la fecha de siembra y la selección de los genotipos se logren incrementar el rendimiento y la calidad del trigo, y con ello hacer que el cultivo sea más rentable para la región de los Valles Altos de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del trigo

El grano de trigo es un alimento que contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas; junto con el maíz y el arroz representa la mitad del alimento que consume la humanidad (Mellado, 2007). Por otro lado, es uno de los cereales más cultivados del mundo y representa una de las principales fuentes de alimento para consumo humano y animal, es consumido por más de 1500 millones de personas siendo su aporte calórico y proteico, mayor a la de cualquier otro alimento (JOBET, 1989).

2.2 Partes del grano de trigo

El grano de trigo se puede subdividir en tres partes (Figura 2.1), las cuales son separadas en el proceso de molienda para la producción de harina. Una de ellas es el endospermo, el que constituye aproximadamente el 83 % del peso del grano y constituye el rendimiento de la harina blanca. Es aquí donde está la mayor parte de las proteínas, carbohidratos y hierro, así como las principales vitaminas del grupo B, como la riboflavina, niacina y tiamina, siendo un aportador significativo de fibras solubles (Vaclavik, 2002). Otra parte del grano corresponde al salvado, el cual representa aproximadamente el 14.5 % del peso del grano. El salvado contiene pequeñas cantidades de proteínas, minerales y fibra dietética (principalmente insoluble) (Vaclavik, 2002). Por último en el grano se encuentra el germen que representa el 2,5% del peso del grano, este es el embrión, o sección germinante de la semilla; representa en su conjunto al germen, el cual a menudo se le separa de la

harina porque su contenido de grasa (10%) le acorta la vida útil a ésta. Además contiene cantidades mínimas de proteínas, pero de alta calidad, también vitaminas del complejo B y trazas de minerales; el germen puede estar presente en la harina integral o puede comprarse por separado (Vaclavik, 2002).

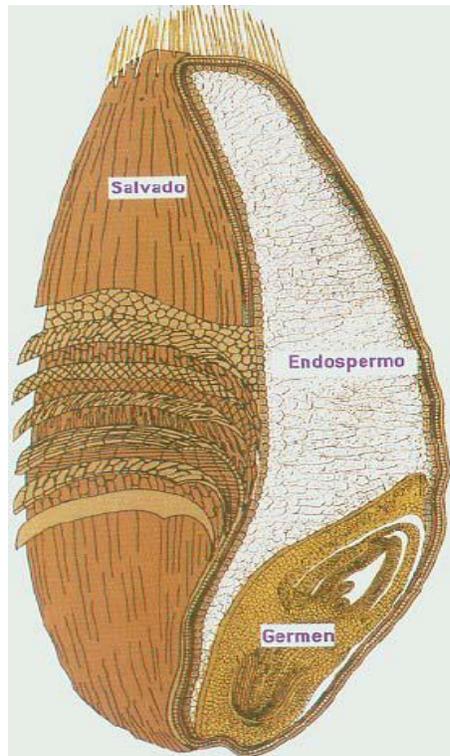


Fig. 2.1. Partes principales del trigo.

2.3 Composición química del grano

El grano varía en su composición nutritiva, conteniendo carbohidratos, lípidos, proteínas, agua, vitaminas y minerales (Vaclavik, 2002) (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Composición química del grano de trigo

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	9-18
Carbohidratos	60-68
Proteína	8-15
Fibra	2-2.5
Lípidos	1.5-2
Azúcares	2-3
Minerales (ceniza)	1.5-2

Fuente: Dendy y Bogdam, 2004

2.3.1 Vitaminas

El trigo contiene principalmente las del complejo B, también contiene niacina, ácido fólico, ácido pantoténico, biotina, colina, inositol; así también contiene tocoferoles y la xantofila pero no contiene vitaminas C y D (Quaglia, 1991) (Cuadro 2).

Cuadro 2.2. Diferentes vitaminas que contiene el grano de trigo.

Compuesto	µg/g	Compuesto	µg/g
Tiamina	4.3	Riboflavina	1.3
Niacina	5.4	Ac. Pantoténico	10
Biotina	0.1	Ac. P-amino benzoico	2.4
Piridoxina	4.5	Ac. Fólico	0.5
Colina	1100	Inositol	2800

Fuente: Wheat marketing center, Inc, 2005

2.3.2 Proteínas

Las más importantes para la elaboración de pan y otros productos son las gliadinas y la gluteninas, al hidratarse forman la estructura llamada gluten, que confiere las propiedades elásticas y de viscosidad de gran importancia para la masa (Peña *et al.*, 1998). Las gliadinas dan elasticidad y plasticidad al gluten, mientras que las gluteninas le confieren la solidez y estructura (Weegels *et al.*, 1996).

2.4 Tipos de trigos

Se conocen unas 15 especies, las más cultivadas son principalmente dos: *Triticum aestivum L.* o “trigo pan” y *Triticum durum* o “trigo pasta”. El trigo pan es el más difundido en el mundo y desde luego el más apto para panificación, una marcada variabilidad de su calidad panadera es que difieren en una serie de factores que la afectan como dureza del grano, contenido de proteínas, características del gluten, etc. (Serna, 2003)

2.4.1. Clasificación del trigo

Uno de los sistemas más conocidos es el de la clasificación de Estados Unidos, en este el grano se comercializa basado en el grado y la clase; el grado es para dar una idea al comprador de la calidad y condición del grano, la clase es debido al uso potencial por las industrias molineras y terminales (Serna, 1996). En México los trigos se clasifican en 5 grupos de acuerdo a su funcionalidad del gluten (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte (muy elástico y extensible)	Panificación mecanizada como harina para pan de caja y para mezclas con trigos suaves.
II	Medio-Fuerte (elástico y extensible)	Panificación manual y semimecanizada, apto para la industria artesanal y para mezclas con trigos suaves.
III	Suave (ligeramente elástico y extensible)	Apto para la industria galletera, elaboración de tortillas, buñuelos y otros productos. Como corrector de trigos con gluten muy fuerte.
IV	Tenaz (no extensible)	No panificable por su alta tenacidad. En repostería se mezcla con trigo de gluten fuerte para hacer pasteles y algunos bocadillos o galletas.
V	Cristalino (no extensible)	No panificable. Apto para la producción de semolinas utilizada en la industria de pastas alimenticias (macarrones, espagueti, sopas secas, etc.)

Fuente: NMX-FF-036-1996.

2.5 Principales usos y subproductos

Si bien el uso más importante y generalizado del trigo es en la elaboración del pan, su rango de utilización es prácticamente tan amplio como el número de regiones en las que se cultiva en el mundo. También se le emplea en la elaboración de especialidades de confitería y repostería como tortas, galletitas, panqueques, budines, conos de helados, pan dulce, etc. Además de ser el principal cereal destinado al consumo humano directo, junto con el arroz, el trigo también tiene importancia como grano forrajero (FAO, 2007).

El gluten del trigo (formado cuando se combinan con agua las proteínas, gliadinas y gluteninas, presentes en la harina), de consistencia elástica y adherente, es utilizado en el estampado de los tejidos, en la preparación de adhesivos, en la industria del papel, etc. También se emplea en la elaboración de glutamato monosódico cuyo consumo sirve para acentuar el sabor de las comidas, se encuentra bastante difundido, especialmente en los países de Oriente (Potter, 1995).

2.5.1 Harina

Es el producto obtenido por la molienda gradual y sistemática de sus granos, previa separación de las impurezas hasta un grado de extracción determinado. La harina de trigo es el principal ingrediente para la elaboración de pan, sus componentes son: almidón (70 – 75 %), agua (14 %) y proteínas (10 - 12 %), además de polisacáridos no del almidón (2 - 3%) particularmente arabinosilanos y lípidos (2%) (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo.

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	70 - 75
Proteínas	10 - 12
Polisacáridos no del almidón	2 - 3
Lípidos	2

Fuente: Goesaert *et al.*, 2005

2.5.2 Pan

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina, sal comestible y agua potable fermentada por especies propias de la fermentación panaria como *Saccharomyces cerevisiae* (Callejo, 2002).

2.6 Importancia del nitrógeno para determinar el rendimiento y calidad panadera

2.6.1 Aspectos generales

Entre los macro nutrientes es el nitrógeno el que más comúnmente limita el rendimiento y el de mayor efecto sobre la calidad del grano de trigo. El nitrógeno es vital para las plantas y de particular importancia para el agricultor porque a pesar de su abundancia en la naturaleza es el nutriente más limitante del crecimiento en cereales (García, 1997).

Deficiencias de este nutriente reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano (Baumer *et al.*, 1997). Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, principal determinante de la calidad comercial del grano cosechado. La influencia del N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo. Por otra parte, ambos factores suelen comportarse como antagónicos. De tal forma que la obtención de rendimientos elevados trae como consecuencia bajos contenidos proteicos. Sin embargo, esto puede corregirse al menos en parte con un

manejo planificado de la fertilización nitrogenada, destinado a ajustar dosis de aplicación que aporten N en cantidad suficiente para cubrir los requerimientos necesarios para obtener un buen rendimiento de grano y contenido de proteína (Ferraris y Mousegne, 2008).

La expresión satisfactoria de las buenas características de panificación se logra con niveles de proteínas en grano superiores al 13 % sobre base seca; el cultivo del trigo necesita acumular de 30-33 kg de N en biomasa aérea por tonelada de grano a producir, si la tasa de acumulación es inferior (25 kg N ton^{-1}) el contenido de proteína resultante en los granos cosechados será normalmente menor al 10% (Peña, 2001). Los bajos contenidos de proteína en grano se presenta principalmente cuando existe una baja fertilidad del suelo o bajo contenido de nitrógeno (N) en etapas posteriores a la aparición del primer nudo del tallo de la planta (Flower, 1998). Por esta razón es necesario aplicar el fertilizante nitrogenado de tal manera que éste permita un desarrollo óptimo de la planta y adecuada acumulación de proteína en el grano. El incremento en el contenido de N en los granos de trigo generalmente mejora su calidad panadera. Las variaciones en el contenido de proteína del grano afectan, tanto a la fuerza como a la extensibilidad del gluten, de tal manera que cuando menor es el contenido de proteína de la masa de la panificación, menores son su fuerza y extensibilidad, y menor su calidad de panificación (Gooding y Davies, 1992).

2.6.2 Criterios para definir la mejor estrategia de fertilización

La fertilización no puede ser fija. El clima, suelo, genética (variedad), residuos de cultivos previos, enfermedades y plagas, entre otros factores, influyen sobre la

respuesta a la fertilización. Tanto la escasez como los excesos de agua en el suelo limitan la absorción de nitrógeno. Los suelos secos reducen los mecanismos de absorción, y el crecimiento, los excesos de agua provocan muerte de raíces, y promueven pérdidas de N (Papakosta y Gagianas, 1991).

El nitrógeno en exceso puede causar mermas en el rendimiento por ejemplo, promoviendo el acame de las plantas, el ataque de enfermedades, o perjudicando la calidad del grano, ya que el rendimiento de grano y calidad no siempre son compatibles. En el trigo, altos niveles de nitrógeno aumentan la proteína del grano, en este sentido, una buena calidad panadera requiere niveles altos de proteína; sin embargo el N en exceso puede favorecer la síntesis de determinadas proteínas e inhibir la de otras que son beneficiosas para la panificación. El criterio básico para manejar de un modo racional a los fertilizantes nitrogenados es suministrar al cultivo la cantidad de nitrógeno requerida para lograr la máxima productividad. De esa forma el impacto ambiental se minimiza y se maximiza el retorno económico. Por otro lado, para que el nitrógeno sea usado de la forma más eficiente posible el producto cosechado debe adecuarse a su uso final (García, 1997).

2.6.3 Momentos más oportunos para aplicaciones de nitrógeno

Es importante enfatizar la relevancia de los residuos de cultivos previos en lo que respecta al poder de suministro de N del suelo y la consecuente respuesta al nutriente. Se trata de un “seguro” contra determinadas situaciones en las que puede ser beneficioso aplicar N, como por ejemplo, una mala preparación de la tierra y/o un ambiente adverso para el desarrollo de las raíces (García, 1997). En trigo la

producción de materia seca incrementa marcadamente durante el amacollamiento y por consiguiente los requerimientos de nitrógeno. Hacia finales del amacollamiento el trigo generalmente ha absorbido aproximadamente un tercio del N que utilizará en todo su ciclo (García, 2004). La cantidad absoluta depende de la materia seca acumulada y el estado nutricional del cultivo, y se relaciona con el rendimiento potencial. La demanda de N es máxima entre el inicio de la elongación de tallo (1er nudo visible) y la floración (Figura 2.2). Durante ese período el cultivo puede asimilar de 3 a 5 kg de N ha⁻¹ día⁻¹. Esta demanda de N es sólo excepcionalmente satisfecha por el suelo, cuyo poder de suministro varía entre 0.5 y 2 kg de N ha⁻¹ día⁻¹ (García, 1997).

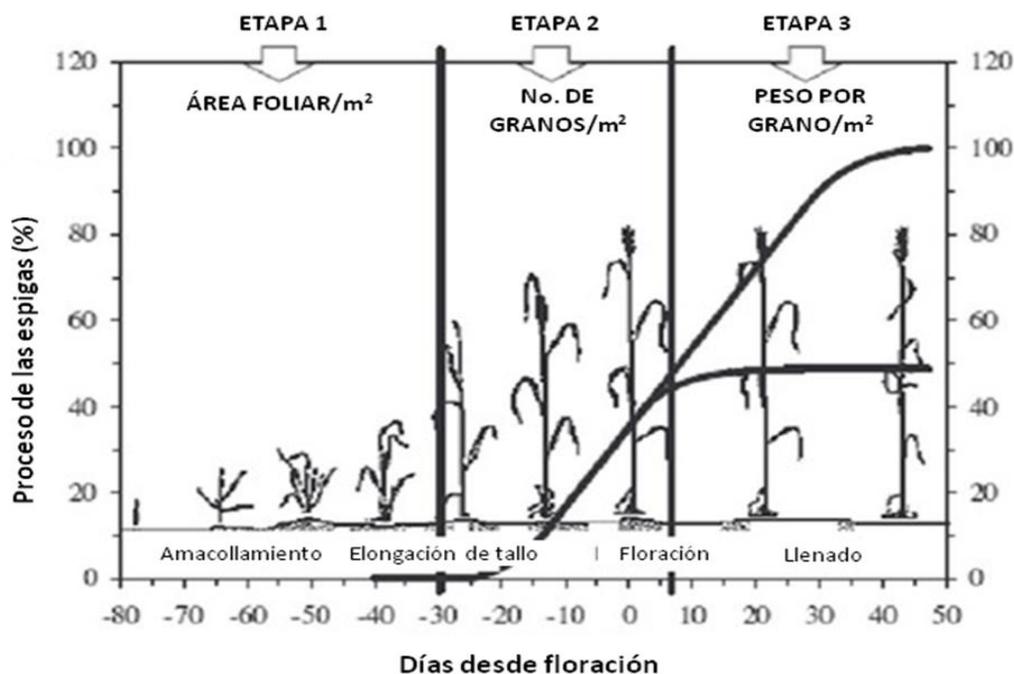


Fig. 2.2. Etapa en la que el trigo demanda mayor cantidad de N y evolución del peso seco de las espigas con y sin grano para un cultivo con buena disponibilidad de agua y nutrientes (Abbate, 2005).

Por otra parte, experimentos sobre el manejo de nitrógeno en trigo a inicio de los años de 1990 mostraron que el uso de aplicaciones divididas de nitrógeno (donde parte del fertilizante se aplica al momento de la siembra, pero la mayoría se aplica al inicio de la elongación del tallo, 45 días después de la siembra) resultaba en mayores rendimientos que cuando se aplicaba todo el nitrógeno a la siembra o todo en la etapa de primer nudo visible, aunque las aplicaciones en el segundo caso resultaron en mayores rendimientos que todo el N aplicado a la siembra. Se observó también que es necesario aplicar algo de N a la siembra, particularmente cuando el suelo es altamente deficiente en nitrógeno (Ortiz-Monasterio *et al.* 1994).

2.7 Calidad industrial del trigo

2.7.1 Calidad del grano

Los cereales se comercializan y valorizan de acuerdo con su contenido de humedad, propiedades físicas y químicas, y de contaminación con otros granos y materia extraña, de tal forma que, estos parámetros determinan su grado y clasificación (Rasper, 1991). La calidad del trigo requerida va a ser diferente de acuerdo al uso final que este tenga, por lo que son requeridas distintas calidades de grano para cada producto (Peña *et al.*, 1998). La textura de grano, es una herramienta complementaria para clasificar comercialmente a los trigos, ya que es una de las características más importantes en términos de calidad final y utilización (Morris *et al.*, 2001).

Para la comercialización del trigo harinero, la dureza de grano se clasifica en duros, semiduros y suaves. Los trigos duros y semiduros se utilizan principalmente en la

panificación, en tanto que los suaves o blandos son usados en repostería para la elaboración de galletas (Peña *et al.*, 1998). Las características del grano constituyen factores importantes de calidad en la valoración de un trigo, el peso hectolítrico es un importante factor de calidad en todas partes del mundo y está influenciado por la uniformidad, forma, densidad y tamaño del grano, además del contenido de materias extrañas y granos quebrados de la muestra. A un peso hectolítrico bajo corresponde una molienda pobre, bajo rendimiento de harina y de inferior calidad. El contenido de humedad es una característica importante de calidad del trigo porque afecta directamente el peso específico, valor y el efecto de la estabilidad microbiológica del grano durante el almacenamiento (Serna, 1996).

2.7.2 Calidad molinera

La molienda es esencialmente un proceso de trituración y de separación, la trituración se realiza con molinos de quiebra y molinos de reducción de partícula. La separación se hace utilizando tamizadores y purificadores (Pomeranz, 1987). La calidad molinera del trigo se mide por rendimiento y pureza de la harina, los cuales dependen de la forma en que el endospermo se ha separado del salvado, de la resistencia a la fragmentación del salvado, de la fragilidad del endospermo y de la facilidad con que se tamiza la harina (Vaclavik, 2002). El comportamiento en la molienda es otro aspecto de importancia dentro del criterio de calidad, trigos de baja extracción de harina o alto contenido de cenizas en las mismas constituyen un problema desde el punto de vista molinero (Serna, 2003).

2.7.2.1 Calidad de la harina

Se define como su capacidad para dar un producto final de excelentes características organolépticas como el sabor y el color, de buen valor nutritivo y de costo competitivo; la calidad de las harinas que se obtienen en el proceso de molienda va a depender fuertemente de la clase de trigo (Calaveras, 1996). Las mejores harinas panaderas contienen un alto contenido proteico que se traduce en un gluten fuerte, alta absorción de agua y mejor volumen, y textura del pan (Serna, 1996). Los parámetros que se deben analizar a fin de determinar la calidad de una harina se agrupan en 4 categorías: 1) pruebas de panificación, 2) pruebas reológicas, 3) valoración organoléptica y 4) análisis químicos. La determinación más factible es la prueba de panificación ya que los resultados obtenidos permiten directamente establecer la calidad de la harina para la elaboración de un producto específico (Quaglia, 1991).

2.7.3 Calidad panadera

La calidad panadera está determinada por la cantidad y propiedades de dos proteínas del grano, las gliadinas y las gluteninas, las cuales están presentes en el endosperma para proveer los aminoácidos para la germinación. Cuando el endosperma es molido y la harina resultante es mezclada con agua, estas proteínas de almacenamiento se unen para formar una red proteica llamada gluten. Se obtiene entonces una masa que es el resultado de una adecuada combinación de dos propiedades físicas: elasticidad y extensibilidad, cruciales para la elaboración del pan. Las proteínas del gluten no son solo responsables de estas propiedades de la

masa, sino también de su habilidad para retener el gas dióxido de carbono (CO₂), producido por las levaduras durante la fermentación. Esto permite que la red de gluten se expanda, resultando en una estructura liviana, porosa y desmenuzable, la cual es fijada por cocción (Álvarez y Vallejos, 2000).

2.7.3.1 Análisis de la calidad panadera del trigo

La calidad panadera del trigo está determinada por la capacidad de absorción de agua de la harina, tiempo de amasado, aspecto de la masa, volumen de pan, porosidad y blancura de la miga. Todas estas características constituyen el valor panadero de un trigo y dependen, fundamentalmente, de la cantidad y calidad de las proteínas del endosperma. Los análisis reológicos de la masa permiten realizar determinaciones indirectas de la calidad panadera utilizando aparatos como el mixógrafo, farinógrafo y alveógrafo (Dendy y Dobrazszy, 2004).

2.7.3.2 Farinógrafo

Con este equipo se pueden visualizar las tres etapas del proceso de mezclado: 1. hidratación de los componentes de la harina, 2. desarrollo del gluten y 3. colapsamiento de la masa, con respecto al tiempo (Figura 2.3). De esta manera podemos saber el tiempo de trabajo mecánico que se le puede aplicar a la masa hasta antes de colapsar su malla de gluten. También nos permite saber el porcentaje de agua que se requiere para alcanzar una consistencia de 500 UB (Unidades Brabender) (Oliver y Allen, 1992).

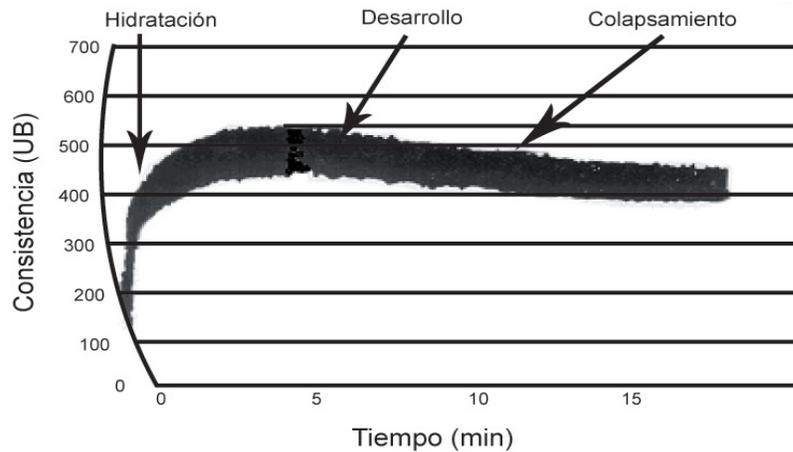


Fig. 2.3. Farinograma con sus parámetros de evaluación del proceso de mezclado de la harina de trigo.

2.7.3.3 Alveógrafo

Con este equipo se evalúa la capacidad que tiene el gluten para resistir un determinado trabajo mecánico. Esto se mide mediante la inyección de aire a una muestra de forma circular. Dicha muestra comienza a expandirse hasta que la presión interna es mayor y revienta la masa, en ese momento la curva del alveograma cae, la información que se obtiene es el trabajo de deformación (W) de la masa hasta la ruptura del alveolo, en el alveograma se representa el área bajo la curva. También se obtienen otros parámetros como: tenacidad (P), la cual mide la resistencia a la deformación de la masa, esta propiedad la confieren principalmente las gluteninas, en el alveograma se mide en el eje de la ordenada. Extensibilidad (L), la cual mide la viscosidad de la masa debida principalmente a las gliadinas, en el alveograma se mide en el eje de las abscisas. Índice de hinchamiento (G) nos da un valor proporcional a la extensibilidad. Este parámetro se utiliza para determinar el

Índice de equilibrio P/G el cual, da la proporción de gliadinas y gluteninas (Serna, 2003).

Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas son más viscosas y extensibles, las harinas con una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería, las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas se utilizan para elaborar galletas. Como se observa en los alveogramas (Figura 2.4), donde se muestra un alveógrafo Chopin y alveogramas típicos (Goesaert *et al.*, 2005).

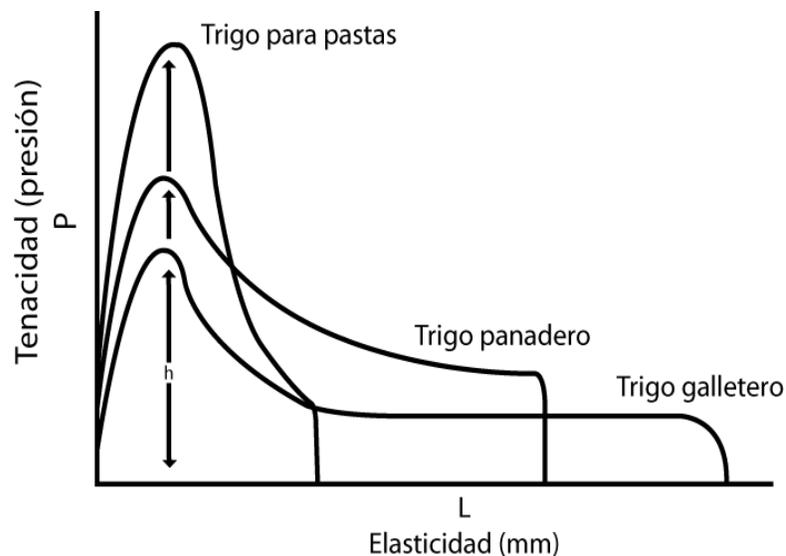


Fig. 2.4. Alveogramas típicos para evaluar la calidad de las harinas de trigo.

2.7.3.4 Mixógrafo

Emula la acción de las mezcladoras comerciales de alta velocidad, desarrollando la masa rápidamente. Consta de un brazo agitador, con tres agujas que giran alrededor de otras tres fijas, que se introduce en un recipiente donde se deposita la muestra de harina, con el volumen óptimo de agua para la elaboración de la masa. La resistencia que opone la masa al movimiento del brazo agitador tiende a aumentar hasta alcanzar un máximo y queda registrado en un gráfico (Figura 2.5).

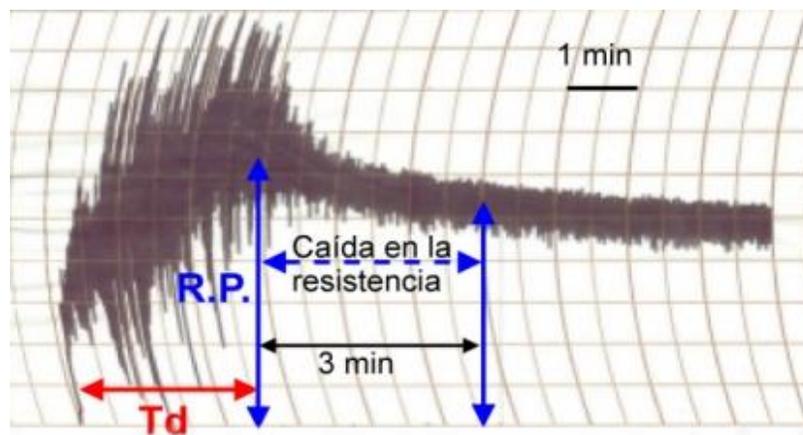


Fig. 2.5. Mixograma con sus parámetros para evaluar la calidad de la masa de trigo.

Las harinas más adecuadas para la elaboración del pan son las que tienen mayores tiempos de desarrollo (T_d), lo que indica una mayor fuerza y elasticidad, y una menor caída en la resistencia, lo que se traduce en una mayor estabilidad de la masa (Tombetta y Cuniberti, 1994).

III. JUSTIFICACIÓN

El trigo es un cultivo alternativo a la siembra de maíz cuando las condiciones climáticas no permiten el establecimiento en forma oportuna de este cultivo. Por otra parte, casi la totalidad del producto cosechado en el Estado de México (23,568 t) se usa directamente para alimentar el ganado (SIAP, 2009); lo anterior es en virtud de que el grano no cumple con los parámetros de calidad que requiere la industria de la panificación.

Es necesario investigar si la cantidad de fertilizante nitrogenado y la época de crecimiento tienen un efecto directo sobre el rendimiento y la calidad del grano. En este sentido el manejo nutricional influye tanto en el rendimiento como en la cantidad de proteína en los granos, mientras que la genética (variedad), influye en la calidad de las proteínas.

Con todo ello la identificación de los atributos ecofisiológicos que determinan el rendimiento y la calidad de las variedades de trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno es importante para mejorar las prácticas de manejo tendientes a incrementar el rendimiento del trigo y de esa forma hacer del cultivo una opción más rentable para la región de los Valles Altos de México.

IV. HIPÓTESIS

La oportunidad y manejo de la cantidad de fertilización nitrogenada mejora la calidad del grano de trigo; reuniendo las características necesarias para cumplir con los requerimientos que demanda la industria de la panificación.

V. OBJETIVO GENERAL

Determinar los cambios en la calidad harinera y panadera de trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada y estación de crecimiento.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Sitio experimental y material genético

Se evaluaron 9 variedades (Salamanca S-75, Saturno S-86, Eneida F-94, Cortázar S-94, Rebeca F-2000, Bárcenas S-2002, Tollocan F-2005, Maya S-2007 y Urbina S-2007) cultivadas en el ciclo invierno-primavera (I-P) del año 2010 (riego) y verano-otoño (V-O) del año 2011 (temporal) en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) localizada a 18 km al norte de la ciudad de Toluca (19°15'33" latitud norte, 99°39'38" longitud oeste, altura de 2640 msnm). El clima predominante en esta localidad es del tipo C (w2) (w) b (i), que de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), corresponde al templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y promedio anual de 900 mm.

6.2 Condiciones generales del experimento

Los tratamientos (arreglo factorial de cultivares y nitrógeno) se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones en serie, en donde cada nivel de nitrógeno correspondió a un ambiente en particular. Los genotipos fueron establecidos con una densidad de población de 336 semillas m⁻², los tratamientos de fertilización nitrogenada consistieron de 3 niveles (100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹) incluyendo a un testigo sin fertilizar (0 kg de N ha⁻¹), aplicando 50 kg N ha⁻¹ al momento de la siembra y el resto en dos o tres momentos (dependiendo del

tratamiento) durante el ciclo del cultivo (siembra, espiguilla terminal y hoja bandera expandida). Se utilizaron como fuentes de N, P y K a los siguientes fertilizantes: urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5) y cloruro de potasio (60% K_2O), respectivamente; a la siembra se aplicó la dosis de 50N-60P-30K, en espiguilla terminal y hoja bandera se fraccionaron las restantes aplicaciones de N en 50-00, 75-75 y 125-125 para las dosis de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente.

6.3 Variables analizadas

6.3.1 Rendimiento de grano y sus principales componentes

En madurez fisiológica se cosechó un metro lineal de cada parcela y se procedió a separar el grano de vástagos principales y macollos, y con esto se determinó el rendimiento de grano por unidad de superficie, el número de granos, el peso individual de grano, el número de granos por espiga y el número de espigas por m².

6.3.2 Análisis físicos para evaluar la calidad en el grano

6.3.2.1 Peso hectolítrico (PHL)

El peso hectolítrico (kg hL⁻¹) se determinó en una muestra de 500 mL con una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co., Chicago IL.) (método 55-10; AACC, 1995).

6.3.2.2 Dureza (Dz)

La textura del grano fue determinada con el analizador por reflectancia en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) INFRATEC 1255 calibrado

(método 39-70A; AACC, 1995) con base en el índice de tamaño de partícula (método 55-30; AACC, 1995).

6.3.2.3 Rendimiento harinero (RH)

La molienda del grano se realizó con un previo acondicionamiento del grano al 14% de humedad con un reposo de 24 horas previo a la molienda, la cual se efectuó con un molino Brabender Quadrumat Senior (Brabender, Germany). El rendimiento de harina refinada se determinó por medio de la fórmula:

$$\% \text{ R.H} = (100 - \text{Humedad Harina Ref.}) \text{ harina cernida total} / \text{grano a moler} / (100 - \text{Humedad de grano a moler}) * 100$$

6.3.3 Análisis químico para evaluar el grano de trigo

6.3.3.1 Proteína en grano (PG) y harina (PH)

El contenido de proteína en grano y harina (%) se midió con el analizador NIR INFRATEC 1255, determinada por análisis de reflectancia y calibrado por el método de determinación de nitrógeno proteínico Kjeldahl (39-10 AACC, 1995) y se expresa al 12.5% de humedad para proteína en grano y para harina al 14% (método 39-10; AACC, 1995).

6.3.3.2 Cenizas (Cz)

El contenido de cenizas en grano (%) se determinó mediante calcinación, en mufla a 550 °C (método 923.03; AOAC, 1999)

6.3.3.3 Sedimentación (SDS)

El volumen de sedimentación (ml) que es un parámetro que se relaciona con la fuerza del gluten y la actividad enzimática alfa-amilasa, se determinó en una muestra de 1 g de harina a la cual se le agregó ácido láctico más dodecil sulfato de sodio (SDS, por sus siglas en inglés) y colorante a una temperatura de 19 °C, las muestras se prepararon en probetas de 25ml, de acuerdo al procedimiento escrito por Peña *et al.* (1990). Se colocaron en un agitador vortex de 5 a 10 segundos, posteriormente a un agitador oscilatorio Brabender donde se agitó por un tiempo de 2 minutos, a partir de que se añadió la solución SDS para finalmente dejar reposar las probetas por un tiempo de 14 minutos y leer el volumen de sedimentación.

6.3.4 Análisis reológico para determinar la calidad panadera de la harina

6.3.4.1 Fuerza y extensibilidad del gluten (alveogramas W y PL)

Estas variables se obtuvieron con el Alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Paris Francia). En una muestra de 60 g de harina refinada homogenizada preparada con una solución de cloruro sódico al 2.5 % debe amasarse para calibrar el equipo de acuerdo a las instrucciones del método 54-30 de la AACC (AACC, 1995), el tiempo de amasado es de 8 minutos, que después pasa al estado de reposo de 35 min permitiendo la relajación de la masa. Al iniciar el amasado es importante que la temperatura de la amasadora este a 25°C, para ello se instala refrigeración con agua para mantener la temperatura constante. La variable alveograma-W es una medida de la fuerza de la masa ($\times 10^{-4}$ J), lo que indica que a mayor valor, mayor es la fuerza del gluten. La variable alveograma- P/L, que es la relación entre la altura y longitud

del alveograma y entre la altura y el índice de expansión, respectivamente, que indican la extensibilidad del gluten (tenacidad-elasticidad). A menores valores de P/L, mayor es la extensibilidad del gluten.

6.3.5 Prueba de panificación

La calidad panadera (representada por el volumen de pan) se evaluó en 100 g de harina a 14% de humedad, mediante el método de masa directa (método 10-09; AACC, 1995); el volumen de pan (cm³) se determinó por el desplazamiento de semilla de colza (*Brassica sp.*).

6.4 Análisis estadístico

Las variables de respuesta del experimento se sometieron a un análisis de varianza combinado para estudiar los efectos principales (Dosis de N y Variedades) y su interacción (Dosis de N X Variedad). La comparación de medias de los efectos principales se realizó a través de la prueba de la Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH) de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006).

VII. RESULTADOS

7.1 Presentación del artículo enviado

**CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y HARINA DE TRIGO
EN RESPUESTA A LA FECHA DE SIEMBRA Y DOSIS DE NITRÓGENO
I. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL GRANO Y DE LA HARINA**

**CHANGES IN GRAIN QUALITY ATTRIBUTES AND WHEAT FLOUR IN
RESPONSE TO SOWING DATE AND DOSE OF NITROGEN
I. PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF GRAIN AND FLOUR**

**Cristobal Valdés Valdés¹, Gaspar Estrada Campuzano^{2*}, Carlos Gustavo
Martínez Rueda², Aurelio Domínguez López² y Ernesto Solís Moya²**

¹Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo” A.P.
35. Toluca, México., km.15 carr. Toluca-Ixtlahuaca, C.P. 50200. Tel. (722) 296-55-18
Ext 142.

*Autor para correspondencia (gestradac@uaemex.mx)

Toluca, México a 24 de junio de 2013

REVISTA FITOTECNIA MEXICANA:

PRESENTE:

Sírvase la presente para enviarle un cordial saludo, al mismo que presentarle para su revisión el artículo científico:

**CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y HARINA DE TRIGO EN
RESPUESTA A LA FECHA DE SIEMBRA Y DOSIS DE NITRÓGENO**

I. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL GRANO Y DE LA HARINA

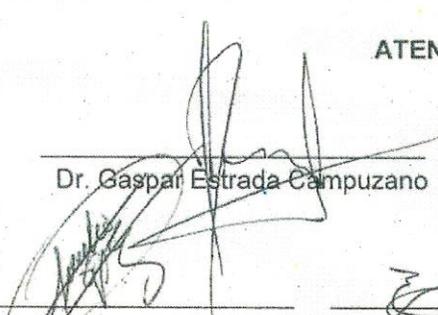
**CHANGES IN GRAIN QUALITY ATTRIBUTES AND WHEAT FLOUR IN RESPONSE TO
SOWING DATE AND DOSE OF NITROGEN**

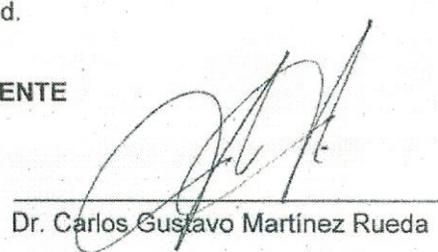
I. PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF GRAIN AND FLOUR

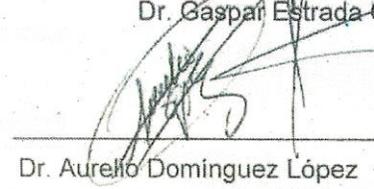
Los autores Cristobal Valdés Valdés, Gaspar Estrada Campuzano, Carlos Gustavo Martínez Rueda, Aurelio Domínguez López y Ernesto Solís Moya, declaran la originalidad del contenido y firman de conformidad con el contenido y los procedimientos para la recepción, evaluación y edición de la Revista Fitotecnia Mexicana.

Sin otro particular por el momento, quedo de usted.

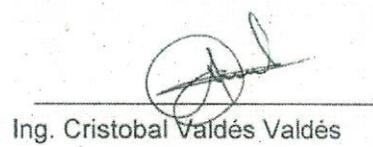
ATENTAMENTE


Dr. Gaspar Estrada Campuzano


Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda


Dr. Aurelio Domínguez López


Dr. Ernesto Solís Moya


Ing. Cristobal Valdés Valdés

7.2 Carta de recepción del artículo enviado a Revista Fitotecnia Mexicana



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

CARTA DE RECEPCIÓN

25 de Junio del 2013

DR. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO"
A.P. 35. TOLUCA, MÉXICO., KM.15 CARR. TOLUCA-IXTLAHUACA,
C.P. 50200. TEL. (722) 296-55-18 EXT. 142

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA" intitulado:

CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y HARINA DE TRIGO EN RESPUESTA A LA FECHA DE SIEMBRA Y DOSIS DE NITRÓGENO. I. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL GRANO Y DE LA HARINA.

Autores: CRISTOBAL VALDÉS VALDÉS, GASPAR ESTRADA CAMPUZANO*, CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA, AURELIO DOMÍNGUEZ LÓPEZ Y ERNESTO SOLÍS MOYA.

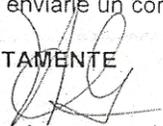
Para su evaluación, el manuscrito con clave: **RFM/13049** será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio, que envíe la correspondencia por correo registrado o por servicio de paquetería especializada, y que nos proporcione su número telefónico, de preferencia con fax, y su correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
Director de la RFM

Anexo
VAGH/*gdr

7.3 Artículo enviado a Revista Fitotecnia Mexicana

CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y HARINA DE TRIGO EN RESPUESTA A LA FECHA DE SIEMBRA Y DOSIS DE NITRÓGENO

I. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL GRANO Y DE LA HARINA

CHANGES IN GRAIN QUALITY AND FLOUR ATTRIBUTES OF WHEAT IN RESPONSE TO SOWING DATE AND DOSES OF NITROGEN.

I. PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF GRAIN AND FLOUR

**Cristobal Valdés Valdés¹, Gaspar Estrada Campuzano^{2*}, Carlos Gustavo
Martínez Rueda², Aurelio Domínguez López² y Ernesto Solís Moya³**

¹Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo” A.P. 35. Toluca, México., km.15 carr. Toluca-Ixtlahuaca, C.P. 50200. Tel. (722) 296-55-18 Ext. 142. ²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo” A.P. 35. Toluca, México., km.15 carr. Toluca-Ixtlahuaca, C.P. 50200. Tel. (722) 296-55-18 Ext. 142. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). km.6.5 Carretera *Celaya-San Miguel de Allende* s/n, Roque, *Celaya, Gto.* Tel. 01 461 61 153 23 ext.140, 161.

*Autor para correspondencia (gestradac@uaemex.mx)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad física y química del grano de trigo en Valles Altos de México en respuesta a la fertilización nitrogenada y estación de crecimiento. Los experimentos se llevaron a cabo en el ciclo invierno-primavera 2010 (riego) y verano-otoño 2011 (temporal) en Toluca, México. Se evaluaron 9 variedades ('Salamanca-S75', 'Saturno-S86', 'Eneida-F94', 'Cortázar-S94', 'Rebeca-F2000', 'Barcenas-S2002', 'Tollocan-F2005', 'Maya-S2007' y 'Urbina-S2007'), bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada (00, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹) con una densidad de población de 336 semillas m⁻². Para cada combinación de dosis de N y fecha de siembra se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Existió variabilidad genética en las características de calidad evaluadas, obteniéndose los mejores índices de calidad en el ciclo invierno-primavera. La diferente disponibilidad de nitrógeno modificó significativamente la proteína en grano y en harina. Por otro lado, para el ciclo otoño-invierno con la dosis de 100 kg N ha⁻¹ se obtuvieron los valores más altos en las variables proteína en grano y harina, peso hectolítrico y dureza del grano, mientras que con la dosis de 300 kg N ha⁻¹ solo en el volumen de sedimentación se observaron efectos positivos. En el ciclo primavera-verano la dosis de 300 kg N ha⁻¹ fue favorable en las variables proteína en grano y harina, volumen de sedimentación y dureza. En cuanto a las variedades, 'Eneida-F94', 'Tollocan-F2005' y 'Urbina-S2007' presentaron los mayores contenidos de proteína en grano y harina con respecto al resto de las variedades; así mismo, en cuanto a peso hectolítrico y rendimiento harinero las variedades Eneida- F94 y 'Tollocan-F2005' presentaron el mayor peso hectolítrico y porcentaje de harina.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., variables climáticas, contenido de proteína, peso hectolítrico, dureza y fertilización nitrogenada.

SUMMARY

The objective of this research was to determine the physical and chemical quality of wheat grain in high valleys of Mexico in response to nitrogen fertilization and the growing season. The experiments were conducted in winter-spring cycle 2010 (irrigation) and summer-autumn 2011 (temporary) in Toluca, Mexico. Nine varieties were evaluated ('Salamanca-S75', 'Saturno-S86', 'Eneida-F94', 'Cortázar-S94', 'Rebeca-F2000', 'Barcenas-S2002', 'Tollocan-F2005', 'Maya-S2007' y 'Urbina-S2007') under four levels of nitrogen fertilization (00, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹) with a population density of 336 seeds m⁻². For each combination of doses of N and sowing date, one experiment was established on a design of a randomized complete block with 3 replications. There was genetic variability in quality characteristics evaluated, obtaining the best indicators of quality in the winter-spring cycle. The different nitrogen availability significantly altered the protein in grain and flour. On the other hand, for autumn-winter with the dose of 100 kg N ha⁻¹ were obtained higher values in grain and flour protein, test weight and grain hardness, while the dose of 300 kg N ha⁻¹ only in the sedimentation volume positive effects were observed. In the spring-summer cycle the dose of 300 kg N ha⁻¹ was favorable for the variables grain and flour protein, sedimentation volume and hardness. Varieties, 'Eneida-F94', 'Tollocan-F2005' and 'Urbina-S2007' had the highest protein content in grain and flour from the rest of the varieties, likewise, in terms of test weight and flour yield varieties 'Eneida-F94' and 'Tollocan-F2005' had the highest percentage of test weight and flour.

Index words: *Triticum aestivum* L., climatic variables, protein content, hectolitic weight, hardness and nitrogen fertilization.

7.3.1 INTRODUCCIÓN

El trigo que se cultiva en los valles altos (> 2,000 msnm) ubicados en las regiones colindantes con el Trópico de Cáncer y de Capricornio, produce granos con una concentración insuficiente de proteína para fines industriales (producción de harinas y productos de la panificación). Estudios llevados a cabo por Kent (1983) y Espitia *et al.* (2003), han demostrado que la calidad y contenido de proteína en el grano de trigo está controlada por diversos factores: disponibilidad de agua durante la maduración, contenido de nitrógeno en el suelo, manejo del cultivo y aplicación de fertilizantes nitrogenados, así como, por las condiciones climáticas y por las propiedades genéticas de la variedad cultivada. Por ejemplo, la harina de los trigos mexicanos cultivados en verano-otoño frecuentemente enfrenta problemas de comercialización debido a su calidad de industrialización, lo cual resulta de cultivarse en condiciones ambientales muy variables, a diferencia del trigo cultivado bajo condiciones de riego (Espitia *et al.*, 2003). La relación del nitrógeno con el agua disponible en el cultivo es esencial para favorecer su transporte hacia la raíz, pues tanto las deficiencias hídricas como los excesos de agua provocan lixiviación disminuyendo la absorción del nutriente, afectando la sustentabilidad ambiental y económica de la producción (Asseng *et al.*, 2001). Así, la cantidad y calidad de la proteína presente en el grano está influenciada por las condiciones ambientales a que estuvo sometido el cultivo por lo que es de suma importancia que el trigo tenga suficiente disponibilidad de nitrógeno en el suelo durante la estación de crecimiento

(Shewry *et al.*, 2003). Las gliadinas y gluteninas son proteínas del grupo de las prolaminas que son componentes importantes del gluten y le confieren fuerza y elasticidad a la masa para obtener buenos volúmenes de pan, aunque en ocasiones el efecto ambiental (alta humedad) afecta su composición y proporción (Branlard *et al.*, 2001). Así mismo, se ha reportado que diversos factores del ambiente y de manejo tales como: altas temperaturas y fertilización, afectan la cantidad y composición de las proteínas del gluten (gliadinas:gluteninas) (Graybosch *et al.*, 1995). El incremento en la fracción rica en gliadinas (mayor extensibilidad de la masa) se explica en gran parte por la aplicación de la dosis adecuada de nitrógeno, que aumenta la cantidad total de la proteína del trigo, lo que cual se traduce en un incremento en la cantidad de gliadinas y gluteninas (Wieser y Seilmer, 1998; Triboï *et al.*, 2000). En tanto, al incrementar las temperaturas durante el llenado de grano se aumenta la cantidad de fracciones ricas en gluteninas (poca extensibilidad de la masa) (Labuschagne *et al.*, 2009).

El contenido de proteínas puede mostrar incrementos por el efecto de altas temperaturas y como consecuencia un llenado deficiente del grano (bajo peso hectolitro) (Peña, 2003), lo cual ocurre porque tanto la cantidad de almidón y de proteína acumulada en los granos se reduce al incrementarse la temperatura, pero la cantidad de almidón acumulado relativamente es menor que la cantidad de proteína (Jenner *et al.*, 1991). El nitrógeno (N) condiciona en gran medida la obtención de contenidos adecuados de gluten y proteína en los granos de trigo así como otros parámetros de calidad, muchas son las contribuciones sobre su efecto positivo en algunos otros parámetros que involucran la calidad harinera (García *et al.*, 2000).

Debido a ello es importante investigar si la fertilización nitrogenada y la época de crecimiento tienen un efecto directo sobre la calidad del grano de trigo. En base a lo anterior, los objetivos del presente trabajo consistieron en i) evaluar la variabilidad genotípica en los atributos físicos y químicos que definen la calidad del grano y harina de trigo y ii) estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre las características físicas y químicas que definen la calidad del grano y harina de trigo en dos estaciones de crecimiento.

7.3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y sitio experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) localizada a 18 km al norte de la ciudad de Toluca (19°15'33" latitud norte, 99°39'38" longitud oeste, altura de 2640 msnm), durante los ciclos invierno-primavera (I-P) del año 2010 (riego) y verano-otoño (V-O) del año 2011 (temporal). El clima predominante en esta localidad es del tipo C (w2) (w) b (i), que de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), corresponde al templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y promedio anual de 900 mm.

Condiciones generales del experimento

Se evaluaron 9 variedades de trigo ('Salamanca-S75', 'Saturno-S86', 'Eneida-F94', 'Cortázar-S94', 'Rebeca-F2000', 'Barcenás-S2002', 'Tollocan-F2005', 'Maya-

S2007' y 'Urbina-S2007') y cuatro dosis de nitrógeno (00, 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹). Los tratamientos (arreglo factorial de cultivares y nitrógeno) se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones en serie, en donde cada nivel de nitrógeno correspondió a un ambiente en particular. Los genotipos fueron establecidos con una densidad de población de 336 semillas m⁻². La aplicación de nitrógeno se realizó de la siguiente forma: se aplicaron 50 kg N ha⁻¹ al momento de la siembra y el resto en dos o tres momentos (dependiendo del tratamiento) durante el ciclo del cultivo (siembra, espiguilla terminal y hoja bandera expandida). Se utilizaron como fuentes de N, P y K a los siguientes fertilizantes: urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y cloruro de potasio (60% K₂O), respectivamente; a la siembra se aplicó la dosis de 50N-60P-30K, en espiguilla terminal y hoja bandera se fraccionaron las restantes aplicaciones de N en 50-00, 75-75 y 125-125 para las dosis de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Análisis de laboratorio

Los análisis para evaluar las variables de calidad tanto física como química se realizaron en el laboratorio de calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Variables evaluadas

Análisis físico

El análisis físico consistió en evaluar el peso hectolítrico (PHL), textura del grano (% dureza) y rendimiento harinero (RH). El peso hectolítrico (kg hL⁻¹) se determinó en una muestra de 500 mL con una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co.,

Chicago IL.), la textura del grano fue determinada con el analizador por reflectancia en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) INFRATEC 1255 calibrado (método 39-70A; AACC, 1995) con base en el índice de tamaño de partícula (método 55-30; AACC, 1995). Y Finalmente la harina refinada se obtuvo de muestras de grano acondicionado a 14 % de humedad, con un reposo de 24 horas previo a la molienda, la cual se efectuó con un molino Brabender Quadrumat Senior (Brabender, Germany).

Análisis químico

Este análisis consistió en la determinación del contenido de proteína en grano y harina (PG, PH), volumen de sedimentación (SDS) y contenido de cenizas del grano (Cz). El contenido de proteína en grano y harina (%) se midió con el analizador NIR INFRATEC 1255 (método 39-10; AACC, 1995). El volumen de sedimentación (mL) se determinó en una muestra de 1 g de harina a la cual se le agregó dodecil sulfato de sodio (SDS, por sus siglas en inglés) de acuerdo al procedimiento escrito por Peña *et al.* (1990). El contenido de cenizas (%) se determinó mediante calcinación, en mufla a 550 °C (método 923.03; AOAC, 1999).

Análisis estadístico

Con la información obtenida de las variables de estudio, bajo el modelo estadístico del diseño experimental de bloques completos al azar, se hicieron los análisis de varianza de acuerdo al modelo que contempla el diseño utilizado (Littell *et al.*, 1996). Para estudiar los efectos principales (ciclo, N y variedades) y sus respectivas interacciones, se realizó el análisis de varianza combinado, y cuando la prueba de F

de los análisis de varianza resultó significativa, se procedió a realizar la prueba de medias utilizando para ello la Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH) de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006).

7.3.3 RESULTADOS

Características del clima en la zona de crecimiento

Durante las estaciones de crecimiento de ambas fechas de siembra, las condiciones climáticas se caracterizaron por una precipitación moderada durante el ciclo invierno-primavera (I-P) el cual comprendió entre diciembre y junio (145 mm). Sin embargo, para el ciclo verano-otoño (V-O) se presentaron altas precipitaciones (383 mm), días nublados y baja temperatura durante la madurez del grano. El llenado de grano, para el ciclo I-P se presentó entre los meses abril y mayo, y para V-O entre agosto y octubre respectivamente (Figura 7.1). Posiblemente las condiciones ambientales que se describen anteriormente afectaron de manera significativa el llenado y los parámetros de calidad del grano, mismos que le confieren la calidad que requiere la industria harinera y panadera del trigo.

Análisis de varianza para las variables físicas y químicas

A excepción de RH, todas las variables de calidad analizadas mostraron respuesta significativa por efecto de ciclo. Por otro lado, la PG y PH, mostraron diferencias significativas por efecto de las dosis de nitrógeno (Cuadro 7.1). No existió interacción significativa ciclo x nitrógeno. Para el caso del factor variedades se observaron efectos significativos para todas las variables consideradas en el

presente estudio (Cuadro 7.1). La interacción ciclo x variedad estuvo presente de manera significativa en todas las variables consideradas con excepción del porcentaje de Cz, mientras que para la interacción nitrógeno x variedad solo las variables dureza (Dz) y PG resultaron significativas, la misma tendencia fue observada para la interacción ciclo x nitrógeno x variedad. Los coeficientes de variación fluctuaron entre 2.8 y 13.2 % correspondiendo a las variables PHL y SDS, respectivamente (Cuadro 7.1).

Valores medios para los factores estudiados

La fecha de siembra fue quizás el factor más importante, debido a que las condiciones climáticas que se presentaron durante el ciclo del cultivo afectaron las propiedades físicas y químicas de trigo; observándose una fuerte influencia del ambiente sobre las variables que determinan la calidad del grano. Con excepción de RH, todas las variables de calidad se vieron afectadas por los cambios en la fecha de siembra, en donde el trigo producido bajo condiciones de temporal disminuyó significativamente ($P < 0.05$) en las variables PHL, Dz y contenido de Cz (20, 25 y 14 %, respectivamente) con respecto al trigo establecido bajo condiciones de riego. Sin embargo, el contenido de PG, PH y SDS aumentaron significativamente en 12, 6 y 94 %, respectivamente (Cuadro 7.2).

Por otro lado, se observó que las diferentes dosis de fertilización (00, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) no afectaron significativamente ($P > 0.05$) a las variables PHL, Dz, RH y Cz (Cuadro 7.2). Mientras que el efecto del N se vio manifestado en incrementos significativos del contenido de PG (6, 7 y 10 %, con las dosis de 100, 200 y 300 kg N

ha⁻¹, respectivamente) respecto del testigo sin fertilizar. La PH se incrementó 14 % respecto del testigo cuando se fertilizó con 300 kg N ha⁻¹, mientras que en el de volumen SDS se observaron incrementos del 5, 9 y 12% respecto del testigo con las dosis de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Por otra parte, se encontraron efectos significativos en el comportamiento de las variedades para todas las variables de calidad evaluadas (Cuadro 7.2). Con relación a las variables físicas, las variedades 'Rebeca-F2000', 'Tollocan-F2005' y 'Eneida-F94' presentaron mayor PHL, sin embargo, solo las dos últimas se destacaron por su alto RH. En cuanto a Dz, las variedades 'Cortazar-S94' y 'Barcenaz-S2002' superaron al promedio del resto de las variedades en 16%. Cabe mencionar, que este parámetro es importante para determinar el uso potencial del trigo en la industria de la panificación. En el análisis químico las variedades 'Urbina-S2007' y 'Tollocan-F2005' superaron al resto en PG (12.8 y 12.4 %, respectivamente), mientras que en PH destacaron las variedades 'Eneida-F94' y 'Urbina-S2007' con 10.7 %, respecto al resto de las variedades. En contenido de Cz, la variedad 'Cortazar-S94' y 'Urbina-S2007' presentaron valores de 2 % diferenciándose significativamente del resto de las variedades, aunque en general el resto de las variedades presentaron un contenido de Cz aceptable (Cuadro 7.2). Con relación al volumen de SDS, sobresalieron las variedades 'Eneida-F94' y 'Tollocan-F2005' con valores alrededor de 28 y 24 mL respectivamente, lo que indica que las proteínas de estas variedades pueden estar más relacionadas con la fuerza del gluten durante el proceso de panificación.

Para el ciclo I-P todas las variedades presentaron los valores más altos de PHL y Dz; 'Eneida-F94', 'Rebeca-F2000' y 'Tollocan-F2005' mostraron mayor RH en ambos ciclos. Los mayores porcentajes de PG se lograron en V-O, destacándose nuevamente las variedades 'Eneida-F94', 'Rebeca-F2000' y 'Tollocan-F2005'. En el contenido de PH, se observaron porcentajes mayores en V-O en 6 de 9 variedades; así mismo, se obtuvieron valores mayores en SDS para todas las variedades evaluadas (Figura 7.2).

En la interacción nitrógeno x variedad, los porcentajes de Dz en 5 de 9 variedades ('Barcenas-S2002', 'Cortázar-S94', 'Maya-S2007', 'Saturno-S86', 'Urbina-S2007') fueron significativamente mayores con los tratamientos de N; así mismo, los valores de PG de las variedades 'Urbina-S2007', 'Tollocan-F2005' y 'Eneida-F94' fueron significativamente mayores con las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ (Figura 7.3).

7.3.4 DISCUSIÓN

Los efectos del ambiente correspondiente a cada ciclo del cultivo influyeron en la mayoría de los parámetros de calidad, en donde se pudo observar que durante el llenado de grano el cual comprende las etapas entre floración y madurez fisiológica (Satorre *et al.*, 2003), las condiciones ambientales como lluvias, heladas tempranas y otros factores externos no controlables durante el llenado en el ciclo V-O, afectaron la calidad física (peso hectolítrico) y la composición de la PG, lo cual causa problemas en su comercialización (Salazar, 2000; Triboï *et al.*, 2000; Zhu & Kan, 2001; Peña *et al.*, 2008). En términos de calidad panadera, la acumulación de proteínas se presenta durante el llenado de grano siendo las gliadinas las primeras

que se depositan alrededor de los 5-10 días y las gluteninas son detectables alrededor de 20 días, de tal forma que si existe alguna alteración que cambie el proceso de desarrollo del grano durante dicha etapa existirá una composición (gliadinas/gluteninas) diferente en ese grano (Stone y Nicolas, 1994). Los resultados obtenidos para la interacción ciclo x variedad muestran que la fecha de siembra tiene un efecto significativo sobre la calidad comercial del trigo, lo cual se relaciona con lo reportado por de la O Olán *et al.* (2012) quienes comprobaron que las propiedades físicas del grano de trigo son características que están altamente influenciadas por el ambiente, ya sea en condiciones de riego o temporal. Por su parte, Swanston *et al.* (2012) encontraron diferencias esenciales en el contenido de proteína y valores de Dz entre la estación del cultivo y en la interacción variedad x año. En tanto, Abbate *et al.* (2010) señalan que el efecto del año fue mayor para definir los valores de PHL y RH. En este mismo sentido, Rharrabti *et al.* (2003a) observaron que el genotipo influyó principalmente en el volumen de SDS.

El contenido de PG se relaciona con la cantidad de nutrientes (principalmente nitrógeno) que contiene el suelo, bajos contenidos de proteína significan bajo contenido de N en etapas posteriores a la aparición del primer nudo en la planta (Fowler, 1998). En condiciones de temporal, la estrategia de la aplicación del fertilizante nitrogenado depende básicamente de las interacciones del nitrógeno edáfico con las precipitaciones y los requerimientos potenciales del cultivo (Bauer *et al.*, 1992). De forma similar en la interacción nitrógeno x variedad las variedades 'Barcenás-S2002', 'Cortázar-S94', 'Maya-S2007', 'Saturno-S86' y 'Urbina-S2007' incrementaron significativamente en el porcentaje de Dz debido a los tratamientos de nitrógeno, mientras que 'Urbina-S2007', 'Tollocan-F2005' y 'Eneida-F94' obtuvieron

los valores mayores de PG con las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹. Lo anterior coincide con lo reportado por Lerner *et al.* (2013), quienes mencionan que los porcentajes de proteína fueron significativamente mayores en los tratamientos con N, existiendo una diferencia considerable entre variedades y años. Por otra parte, Souza *et al.* (2004) señalan que los efectos altamente significativos en los valores de Dz, son influenciados por la variedad, temporada y dosis de N.

Las condiciones ambientales afectaron en forma diferencial los parámetros de calidad del trigo de temporal, presentándose valores inferiores de PHL, Dz y Cz respecto al trigo establecido en condiciones de riego; en cambio los valores de PG y SDS tuvieron un incremento significativo. Lo anterior coincide con Peña *et al.* (2008), quienes indican que generalmente el grano en condiciones de temporal presenta bajo PHL (<70 kg hL⁻¹) que los cultivados bajo riego (>76 kg hL⁻¹), debido al corto periodo disponible para que se logre un buen llenado de grano, de tal forma que es importante identificar variedades precoces para lograr cosechas con buena calidad de grano, ya que un grano chupado no es aceptable para la molienda debido a su bajo rendimiento harinero. En este sentido, los altos valores de proteína pueden atribuirse al bajo peso hectolítrico que presentó el grano, el cual es definido principalmente por el genotipo; el cual puede ser afectado positiva o negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, disponibilidad de agua y alta humedad en la etapa de llenado. El contenido de Cz en el grano es de gran importancia ya que una alta concentración, principalmente en granos con bajo PHL puede contaminar la harina y la sémola, por lo que los niveles deseables deben ser menores de 2 % (Peña *et al.*, 2007). De acuerdo con los resultados del presente trabajo, en general

todas las variedades presentaron un contenido de Cz aceptable (1.8-1.9 %). Lo anterior coincide con Rharrabti *et al.* (2003b), quienes al evaluar la calidad de 10 genotipos de trigo duro bajo condiciones de riego y temporal, indicaron que las condiciones de riego aumentaron el contenido de Cz, con valores de 2.85 y 2.39 %, también observaron que el riego durante el llenado del grano tuvo una influencia negativa en el volumen de SDS y por consiguiente, los ensayos de temporal mostraron altos volúmenes de sedimentación.

Todas las variedades presentaron efectos significativos en las variables de calidad evaluadas, los valores más altos de PHL y RH lo obtuvieron 'Eneida-F94' y 'Tollocan-F2005' lo cual les confiere mayor ventaja para su comercialización (Peña *et al.*, 2007). La dureza del grano mostró variabilidad en las variedades estudiadas, predominando más las variedades de grano de textura semi-duro (<56 %) como 'Salamanca-S75', 'Eneida-F94', 'Saturno-S86', 'Rebeca-F2000', 'Urbina-S2007', 'Maya-S2007' y 'Tollocan-F2005'. En tanto 'Cortázar-S94' y 'Barcenás-S2002' por su textura se catalogan como variedades de grano semi-suave (56-62 %); este parámetro es importante para determinar el uso potencial del trigo ya sea para elaborar de galletas (suave a semi-suave), pan (desde semi-suave hasta duro) o mezclas de harina para la panificación (trigo de suave a semi-suave con trigo semiduro a duro) (Peña *et al.*, 2008). En general todas las variedades presentaron un contenido proteico aceptable similar al reportado por Peña *et al.* (2007) quienes al evaluar la calidad de la cosecha de trigo en México del ciclo otoño-invierno 2005-06, encontraron que algunas variedades de trigos presentaron bajo contenido de Cz a pesar de su bajo PHL (71.1 kg hL⁻¹). La calidad del grano de trigo depende de su

constitución genética, manejo agronómico y del ambiente dentro del cual se desarrolla el cultivo (Espitia *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2008). Así, los resultados del presente trabajo indican que el efecto de la disponibilidad del nitrógeno incrementa la cantidad de la proteína del trigo, obteniéndose buenos estándares de calidad principalmente bajo condiciones de riego.

7.3.5 CONCLUSIONES

Existió variabilidad genética y ambiental en las características de calidad evaluadas, obteniéndose los mejores índices de calidad en el ciclo invierno-primavera. La diferente disponibilidad de nitrógeno modificó significativamente la proteína en grano y en harina. Por otro lado, para el ciclo otoño-invierno con la dosis de 100 kg N ha⁻¹ se obtuvieron los valores más altos en las variables proteína en grano y harina, peso hectolítrico y dureza del grano, mientras que con la dosis de 300 kg N ha⁻¹ solo en el volumen de sedimentación se observaron efectos positivos. En el ciclo primavera-verano la dosis de 300 kg N ha⁻¹ fue favorable en las variables proteína en grano y harina, volumen de sedimentación y dureza. En cuanto a las variedades, 'Eneida-F94', 'Tollocan-F2005' y 'Urbina-S2007' presentaron los mayores contenidos de proteína en grano y harina con respecto al resto de las variedades; así mismo, en cuanto a peso hectolítrico y rendimiento harinero las variedades Eneida-F94 y 'Tollocan-F2005' presentaron el mayor peso hectolítrico y porcentaje de harina.

7.3.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo brindado para la realización de este estudio, el cual forma parte del proyecto

de investigación “Atributos ecofisiológicos determinantes del rendimiento en trigo y cebada en respuesta a la fertilización nitrogenada” con clave “2860/2010U”. C. Valdés Valdés agradece al CONACYT el apoyo brindado para realizar sus estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en la UAEMex.

7.3.7 BIBLIOGRAFÍA

Abbate P E, F Gutheim, O Polidoro, H J Milisich, M Cuniberti (2010)

Fundamentos para la clasificación del trigo argentino por calidad: efectos del cultivar, la localidad, año y sus interacciones. AGRISCIENTIA. 27:1-9.

American Association of Cereal Chemists (1995) Approved Methods of the AACC. 9th ed. St. Paul, Minnesota. USA. 1268 p.

Asseng S, C N Turner, A B Keating (2001) Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. Plant and Soil. 233:127-143.

Association of Official Analytical Chemists (1999) Official Methods of Analysis of the AOAC. 16th 247 ed. Washington, D.C., USA.

Bauer A, A L Black, A B Frank (1992) Nitrogen fertilization in relation to spring wheat development stage. In Kansas State University (Ed.). Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference. Kansas State University, Manhattan, KS (USA). pp:129-136.

Branlard G, M Dardevet, R Saccomano, F Lagoutte, J Gourdon (2001) Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. In: Wheat in Global Environments, eds. Z. Bedo and L. Lang Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp:157-169.

De la O Olán M, E Espitia-Rangel, H L Sánchez, H E Villaseñor, R J Peña, J H Hernández (2012) Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(2):271-283.

Espitia R E, R J Peña, H E Villaseñor, J H Espino, A Limón-Ortega (2003a) Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. Revista Fitotecnia Mexicana. 26(4):249-256.

Fowler D B (1998) The importance of crop management and cultivar genetic potencial in the production of wheat with high protein concentration. In: wheat protein production and marketing. University Extension Press, U of Saskatchewan, Canada. pp:285-290.

García E (1988) Modificaciones del Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.

García R, J G Annone, M Mac-Maney (2000) El valor relativo de la variedad y de otros parámetros de calidad como guía para el acopio diferenciado de trigo para usos específicos. Revista de Tecnología. Agropecuaria- INTA Pergamino. pp: 5- 8

Graybosch R A, C J Peterson, P S Baezinger, D R Shelton (1995) Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. Journal of Cereal Science. 2:45-51.

Jenner C F, D T Ugalde, D Aspinall (1991) The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. Australian Journal of Plant Physiology. 18:211-226.

Kent N L (1983) Technology of cereals. Editorial Pergamon Press, Great Britain.

Labuschagne M T, O Elago, E Koen (2009) Influence of extreme temperatures during grain filling on protein fractions, and its relationship to some quality characteristics in bread, biscuit, and durum wheat. *Cereal Chemistry*. 86:61-66.

Lerner S E, A C Arrigoni, A F Arata (2013) Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum L.*). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 39(1).

Littell R C, G A Milliken, W Stroup, R D Wolfinger (1996) SAS® System for mixed models. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 p.

Palaniswamy U R, K M Palaniswamy (2006) Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. The Harworth Press, Inc., New York. 624 p.

Peña B R J, P P Herrera, E Villaseñor-Mir, M G Valdez, M A Mendoza, R Monterde (2007) Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2005-2006. *Publicación Especial del CONASIST*. 24p.

Peña B R J, P P Herrera, E Villaseñor-Mir, M G Valdez, M A Mendoza (2008) Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo primavera-verano 2006. *Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO*. 28p.

Rharrabti D, C Royo, D Villegas, N Aparicio, L F García del Moral (2003a) Durum wheat quality in Mediterranean environments. *Field Crops Research*. 80:123-131.

Rharrabti D, D Villegas, C Royo, V Martos-Núñez, L F García del Moral (2003b) Durum wheat quality in Mediterranean environments. *Field Crops Research*. 80:133-140.

Salazar Z A (2000) Calidad industrial del trigo para su comercialización. En: El Trigo de Temporal en México. Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (eds). Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Chapingo, Estado de México. 313 p.

Satorre E H, V R L Benedech , G A Slafer, E B De la Fuente, D J Miralles, M E Otegui, R Savin (2003) Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Argentina. pp:106-107.

Shewry P R, N G Halford, A S Tatham, Y Popineau, D Lafiandra, P S Belton (2003). The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Advances in Food and Nutrition Research.* 45:219-302.

Souza E J, J M Martin, M J Guttieri, K M O'Brien, D K Habernicht, S P Lanning, R McLean, G R Carlson, L E Talbert (2004) Influence of Genotype, Environment, and Nitrogen Management on Spring Wheat Quality. *Crop Science* 44:425–432.

Stone P J, M E Nicolas (1994) Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality de short periods of post-anthesis heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology.* 21:887-900.

Swanston J S, P L Smitha, R C Agu, J M Brosnan, T A Bringham, F R Jack (2012) Variation, across environments within the UK, in grain protein and grain hardness, in wheat varieties of differing distilling quality. *Field Crops Research* 127:146–152.

Triboï E, A Abad, A Michelena, J Lloveras, J L Ollier, C Daniel (2000a) Environmental effects on the quality of two wheat genotypes. *European Journal of Agronomy.* 13:47-64.

Wieser H, W Seilmeier (1998) The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 76:49-55.

Zhu J, K Khan (2001) Effects of genotype and environment on glutenin polymers and breadmaking quality. *Cereal Chemistry*. 78:125-130.

CUADROS Y FIGURAS

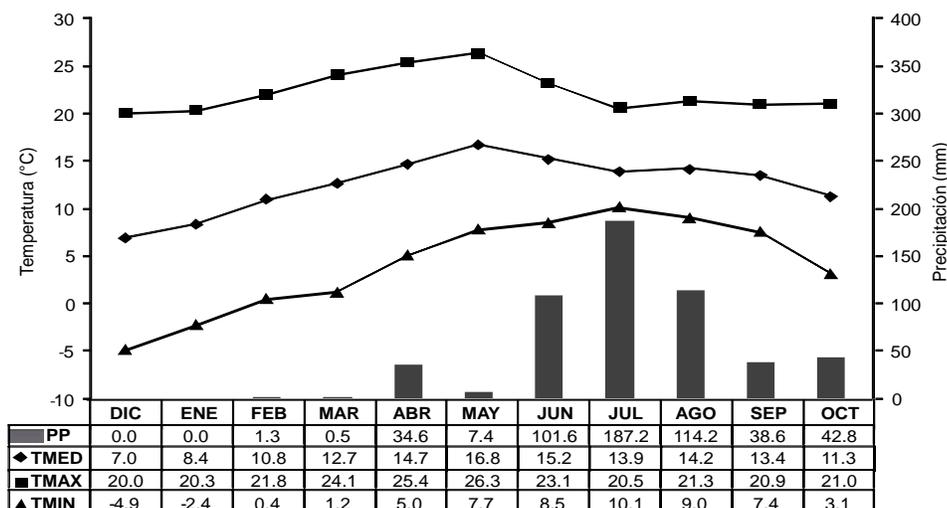


Figura 7.1. Precipitación y temperaturas mensuales de los 2 ciclos del cultivo evaluados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada en Toluca, México 2010-2011.

Cuadro 7.1. Valores de F de las causas de variación considerados para los parámetros de calidad de 9 variedades de trigo cultivados bajo 4 dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México.

F.V	g.l	Variables físicas			Variables químicas			
		PHL (kg hL ⁻¹)	Dz (%)	RH (%)	Cz (%)	PG (%)	PH (%)	SDS (ml)
Ciclo (C)	1	1454.4**	6946.7**	0.9	100.4**	62.7**	10.7**	518.7**
Nitrógeno (N)	3	0.9	1.3	0.4	1.2	8.1**	8.7**	3.1
C x N	3	0.4	1.3	0.6	0.1	2.9	1.2	0.4
Rep (C x N)	16	2.3**	0.2	7.1**	1.8*	6.2**	2.4**	2.4**
Variedad (Var)	8	11.1**	216.4**	5.2**	3.8**	33.8**	11.1**	33.8**
C x Var	8	6.5**	16.44**	7.3**	1.5	12.8**	5.0**	13.3**
N x Var	24	0.8	1.7*	1.0	1.3	3.2**	1.2	1.0
C x N x Var	24	0.7	1.7*	0.7	0.9	1.6*	0.8	0.9
Error (CM)	128	3.8	6.0	14.0	0.02	0.2	0.8	7.5
C.V (%)		2.8	4.8	6.2	8.0	4.3	9.2	13.2

*, ** = Significativo a 0.05 y 0.01, respectivamente.

Cuadro 7.2. Valores medios para las variables de calidad de 9 variedades de trigo cultivados bajo 4 dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México.

	Variables físicas			Variables químicas			
	PHL (kg hL ⁻¹)	Dz (%)	RH (%)	Cz (%)	PG (%)	PH (%)	SDS (ml)
Ciclo							
I-P	76.6a	58.5a	60.2a	2.1a	11.0b	9.5b	14.1b
V-O	61.3b	43.9b	58.8a	1.8b	12.3a	10.1a	27.4a
Nitrógeno							
0	69.2a	51.3a	59.8a	1.9a	11.0b	9.0b	19.5b
100	69.4a	51.4a	59.8a	1.9a	11.7a	9.9a	20.4ab
200	68.9a	51.1a	60.3a	1.9a	11.8a	10.0a	21.3ab
300	68.5a	50.9a	58.1a	1.9a	12.1a	10.3a	21.9a
Variedades							
'Salamanca S75'	61.9cb	54.0c	59.2cde	1.9bc	11.2e	9.4b	19.9cd
Saturno S86	69.2bc	55.2bc	59.3cde	1.9bc	11.3de	9.4b	19.7dc
Eneida F94	69.6b	41.2e	61.4ab	1.9bc	12.0c	10.7a	27.9a
Cortazar S94	66.8e	56.1b	59.4bcd	2.0a	11.5d	9.5b	18.7d
Rebeca F2000	71.3a	40.2e	57.4de	1.8c	10.8f	9.1b	20.6c
Bárceñas S2002	67.7de	60.0a	59.6bc	1.9ab	11.5d	9.6b	20.5c
Tollocan F2005	70.0b	43.6d	62.8a	1.9bc	12.4b	10.4a	23.9b
Maya S2007	69.0bc	54.8bc	57.2e	1.9bc	11.4de	9.5b	18.7de
Urbina S2007	68.1cd	55.8b	59.4bcd	2.0a	12.8a	10.7a	17.1e

[†]Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tuckey, 0.05)

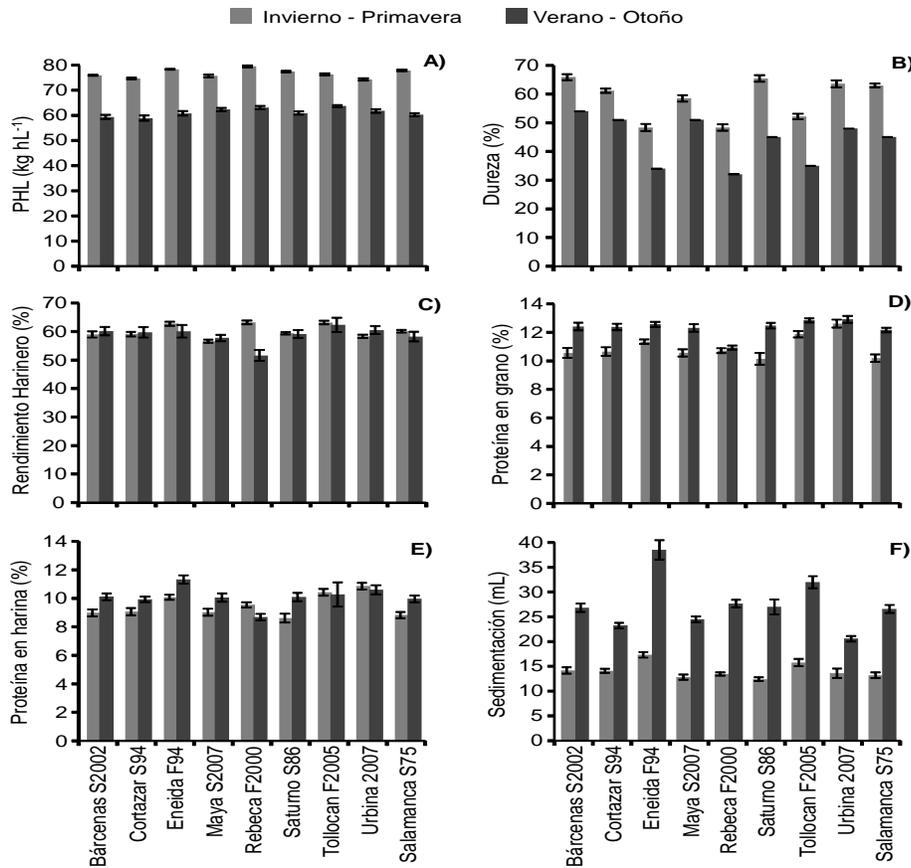


Figura 7.2. Valores medios para las variables peso hectolítrico (kg hL^{-1}) (A), dureza (%) (B), rendimiento harinero (%) (C), proteína en grano (%) (D), proteína en harina (%) (E) y volumen de sedimentación (mL) (F) para 9 variedades de trigo cultivadas en dos ciclos. Las barras de la parte superior de las columnas representan el error estándar de la media.

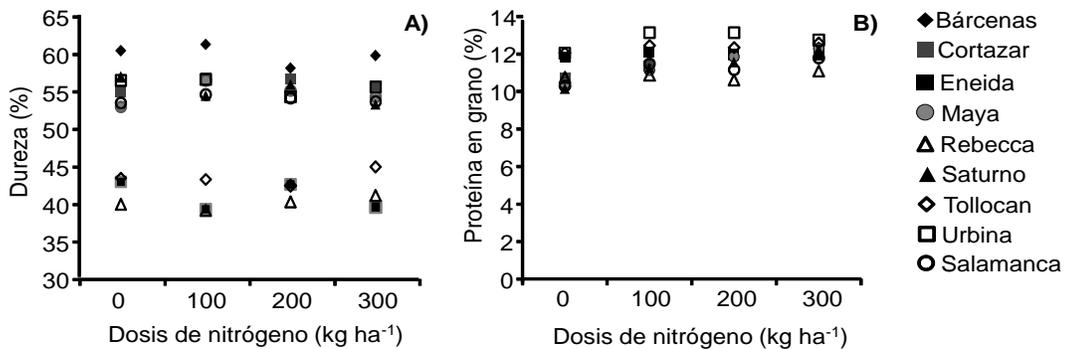


Figura 7.3. Relaciones entre la dureza del grano (A), proteína en grano (B) y las dosis de nitrógeno en grano en 9 variedades de trigo.

7.4 Artículo por enviar a la revista Journal of the Science of Food and Agriculture

**CAMBIOS EN LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y HARINA DE TRIGO
EN RESPUESTA A LA FECHA DE SIEMBRA Y DOSIS DE NITRÓGENO.**

II. CALIDAD REOLÓGICA Y PANADERA

Valdés-Valdés Cristobal¹; Estrada-Campuzano Gaspar; Martínez-Rueda Carlos
Gustavo ^{1*}; Domínguez-López Aurelio².

¹. Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo” A. P.
35. Toluca, Estado de México., km.15 carr. Toluca-Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo
Piedras Blancas, C.P. 50200. México. E-mail address:

Aqua_Alpharadio@yahoo.com.mx

². Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del estado de México.
Campus Universitario “El Cerrillo” A. P. 435. Toluca, Estado de México. C. P. 50200.
México.

Resumen

La calidad panadera del trigo (*Triticum aestivum* L.) se asocia frecuentemente con la cantidad y calidad de las proteínas del grano, así como con las propiedades reológicas de la masa para obtener buena panificación. Muchos estudios muestran que el rendimiento de grano del trigo y la cantidad de proteína aumentan con la fertilización nitrogenada aunque aún no se ha definido concretamente el mejor momento para llevar a cabo dicha práctica; sin embargo, la calidad de la proteína es característica del genotipo. Por otra parte, entre rendimiento y cantidad de proteína no hay una relación positiva. El objetivo de esta investigación fue determinar rendimiento de grano y los cambios en la calidad harinera y panadera del trigo para Valles Altos en respuesta a la fertilización nitrogenada y estación de crecimiento del cultivo. Los experimentos se llevaron a cabo en el ciclo invierno-primavera 2010 (riego) y verano-otoño 2011 (temporal) en Toluca, México. Se evaluaron 9 variedades (Salamanca S75, Saturno S86, Eneida F94, Cortazar S94, Rebecca F2000, Barcenas S2002, Tollocan F2005, Urbina S2007 y Maya S2007), bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹) con una densidad de población de 336 semillas m⁻². Para cada combinación de dosis de N y fecha de siembra se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los resultados obtenidos indican que el potencial genético de las variedades, manejo agronómico, el ciclo del cultivo y las condiciones ambientales influyeron significativamente sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo. Cuando se aumentó la disponibilidad de N, se obtuvo un mayor contenido de

proteína y rendimiento de grano. Las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 produjeron buena calidad panadera y mayor rendimiento de grano.

Palabras clave: Trigo (*Triticum aestivum* L.), variables climáticas, contenido de proteína, calidad panadera, variedad, fertilización nitrogenada y rendimiento de grano.

7.4.1 Introducción

En los Valles Altos de México (> 2,000 msnm), la harina que se obtiene de los trigos cultivados en el ciclo verano-otoño suele ser de muy baja calidad, lo que limita seriamente la expansión de la superficie de este cereal, por lo que casi la totalidad del producto cosechado en el Estado de México (23, 568 ton) se usa directamente para alimentación animal (SIAP-SAGARPA, 2009). En México los principales estados productores son Sonora donde predominan los trigos duros y cristalinos, Baja California que produce trigos fuertes y semifuertes, y Guanajuato donde se siembran trigos suaves; obteniendo su mayor producción en el ciclo otoño-invierno en condiciones de riego y cuyo estándar en su calidad supera en menor medida al producido en primavera-verano en condiciones de temporal (SIAP-SAGARPA, 2010).

La calidad harinera del trigo (*Triticum aestivum* L.) se asocia frecuentemente con los niveles de proteína en grano, la cantidad y calidad de gluten, y con las propiedades reológicas de la masa para obtener un buen potencial de panificación (Islas *et al.*, 2005). La cantidad y calidad de la proteína presente en el grano está influenciada por las condiciones ambientales a que estuvo sometido el cultivo, por lo que es de suma importancia que el trigo tenga suficiente disponibilidad de nitrógeno en el suelo

durante la estación de crecimiento (Shewry *et al.*, 2003). Las gliadinas y gluteninas son proteínas del grupo de las prolaminas que son componentes importantes del gluten y le confieren fuerza y elasticidad a la masa para obtener buenos volúmenes de pan, aunque en ocasiones el efecto ambiental (alta humedad) afecta la composición y relación de dichas proteínas (Branlard *et al.*, 2001). En este sentido, la calidad del trigo es controlada principalmente por las propiedades genéticas de la variedad cultivada, que en ocasiones es afectada por las prácticas de manejo y por las condiciones climáticas que predominan durante el ciclo del cultivo (temperatura ambiental, fotoperiodo y disponibilidad de agua) (Peña *et al.*, 2008). Así mismo, algunos estudios realizados en campo indican que diversos factores del ambiente y de manejo tales como: altas temperaturas y fertilización, afectan la cantidad y composición de las proteínas del gluten (Graybosch *et al.*, 1995).

El contenido de proteínas puede mostrar incrementos por el efecto de altas temperaturas y como consecuencia un llenado deficiente del grano (bajo peso hectolitro) (Peña, 2003), lo cual ocurre porque tanto la cantidad de almidón y de proteína acumulada en los granos se reduce al incrementarse la temperatura, pero la cantidad de almidón acumulado relativamente es menor que la cantidad de proteína (Jenner *et al.*, 1991). El nitrógeno (N) condiciona en gran medida la obtención de contenidos adecuados de gluten y proteína en los granos de trigo así como otros parámetros de calidad, muchas son las contribuciones sobre su efecto positivo en algunos otros parámetros que involucran la calidad harinera (Lerner *et al.*, 1998; García *et al.*, 1998, 2000), siendo la fuerza panadera y la relación tenacidad-elasticidad los más importantes para el sector molinero (Peña *et al.*, 2007). En

México aunque ya se cuenta con variedades mejoradas, poco se conoce sobre el efecto que tienen los factores genéticos y ambientales sobre los caracteres de calidad en relación con los parámetros de calidad bajo condiciones ambientales diversas (Espitia *et al.*, 2004). Debido a ello es importante investigar si la fertilización nitrogenada y la época de crecimiento afectan las propiedades reológicas del grano de trigo permitiendo obtener diferentes estándares de calidad harinera. En este trabajo se evaluó una serie histórica de variedades de trigo en Valles Altos bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada durante dos ciclos de cultivo en Toluca, México, con la finalidad de estudiar el impacto de factores genéticos y ambientales sobre el rendimiento y la calidad harinera y panadera del trigo.

7.4.2 Materiales y Métodos

Sitio experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) localizada a 18 km al norte de la ciudad de Toluca (19°15'33" latitud norte, 99°39'38" longitud oeste, altura de 2640 msnm), durante los ciclos invierno-primavera (I-P) del año 2010 (riego) y verano-otoño (V-O) del año 2011 (temporal). El clima predominante en esta localidad es del tipo C (w2) (w) b (i), que de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), corresponde al templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y promedio anual de 900 mm.

Condiciones generales del experimento y material genético

Se evaluaron 9 variedades de trigo (Salamanca S75, Saturno S86, Eneida F94, Cortázar S94, Rebeca F2000, Bárcenas S2002, Tollocan F2005, Maya S2007 y Urbina S2007) y cuatro dosis de nitrógeno (00, 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹). Los tratamientos (arreglo factorial de cultivares y nitrógeno) se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones en serie, en donde cada nivel de nitrógeno correspondió a un ambiente en particular. Los genotipos fueron establecidos con una densidad de población de 336 semillas m⁻². La aplicación de nitrógeno se realizó de la siguiente forma: se aplicaron 50 kg N ha⁻¹ al momento de la siembra y el resto en dos o tres momentos (dependiendo del tratamiento) durante el ciclo del cultivo (siembra, espiguilla terminal y hoja bandera expandida). Se utilizaron como fuentes de N, P y K a los siguientes fertilizantes: urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y cloruro de potasio (60% K₂O), respectivamente; a la siembra se aplicó la dosis de 50N-60P-30K, en espiguilla terminal y hoja bandera se fraccionaron las restantes aplicaciones de N en 50-00, 75-75 y 125-125 para las dosis de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Variables evaluadas

Rendimiento de grano y sus principales componentes

En madurez fisiológica se cosechó un metro lineal de cada parcela y se procedió a separar el grano de vástagos principales y macollos, y con esto se determinó el rendimiento de grano por unidad de superficie, el número de granos, el peso individual de grano, el número de granos por espiga y el número de espigas por m².

Análisis de laboratorio

Los análisis para evaluar las variables de la calidad panadera se realizaron en el laboratorio de calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Análisis químico

Consistió en la determinación del contenido de proteína en grano y volumen de sedimentación. El contenido de proteína en grano (%) se midió con el analizador NIR INFRATEC 1255 (método 39-10; AACC, 1995). El volumen de sedimentación (ml) se determinó en una muestra de 1 g de harina a la cual se le agregó dodecil sulfato de sodio (SDS, por sus siglas en inglés) de acuerdo al procedimiento escrito por Peña *et al.* (1990).

Análisis reológico

Se determinaron las variables de fuerza y extensibilidad del gluten (alveogramas W y P/L). Estas variables se obtuvieron con el Alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Paris Francia). En una muestra de 60 g de harina refinada homogenizada preparada con una solución de cloruro sódico al 2.5 % debe amasarse para calibrar el equipo de acuerdo a las instrucciones del método 54-30 de la AACC (AACC, 1995), el tiempo de amasado es de 8 minutos, que después pasa al estado de reposo de 35 min permitiendo la relajación de la masa. Al iniciar el amasado es importante que la temperatura de la amasadora este a 25°C, para ello se instala refrigeración con agua para mantener la temperatura constante. La variable alveograma-W es una medida de la fuerza de la masa ($\times 10^{-4}$ J), lo que indica que a

mayor valor, mayor es la fuerza del gluten. La variable alveograma- P/L, que es la relación entre la altura y longitud del alveograma y entre la altura y el índice de expansión, respectivamente, que indican la extensibilidad del gluten (tenacidad-elasticidad). A menores valores de P/L, mayor es la extensibilidad del gluten.

Volumen de pan

La prueba de panificación se evaluó en 100 g de harina a 14% de humedad, mediante el método de masa directa (método 10-09; AACCC, 1995); el volumen de pan (cm³) se determinó por el desplazamiento de semilla de colza (*Brassica* sp.).

Análisis estadístico

Con la información obtenida de las variables de estudio, bajo el modelo estadístico del diseño experimental de bloques completos al azar, se hicieron los análisis de varianza de acuerdo al modelo que contempla el diseño utilizado (Littell *et al.*, 1996). Para estudiar los efectos principales (Ciclo, dosis de N y Variedades) y su interacción (Ciclo x Dosis de N x Variedad), se realizó el análisis de varianza combinado, cuando la prueba de F de los análisis de varianza resultó significativa, se procedió a realizar la prueba de medias utilizando para ello la Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH) de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006).

7.4.3 Resultados

Características del clima en la zona de crecimiento

Durante Las estaciones de crecimiento de ambas fechas de siembra, las condiciones climáticas se caracterizaron por una precipitación moderada durante el ciclo invierno-primavera (I-P) el cual comprendió entre diciembre y junio (145 mm). Sin embargo, para el ciclo verano-otoño (V-O) se presentaron altas precipitaciones (383 mm), días nublados y baja temperatura durante la madurez del grano. El llenado de grano, para el ciclo I-P se presentó entre los meses abril y mayo, y para V-O entre agosto y octubre respectivamente (Figura 7.4).

Es posible que las condiciones ambientales descritas anteriormente afectaran significativamente la cantidad y calidad de la proteína del trigo durante el llenado de grano, las cuales le confieren la calidad que demanda la industria de la panificación.

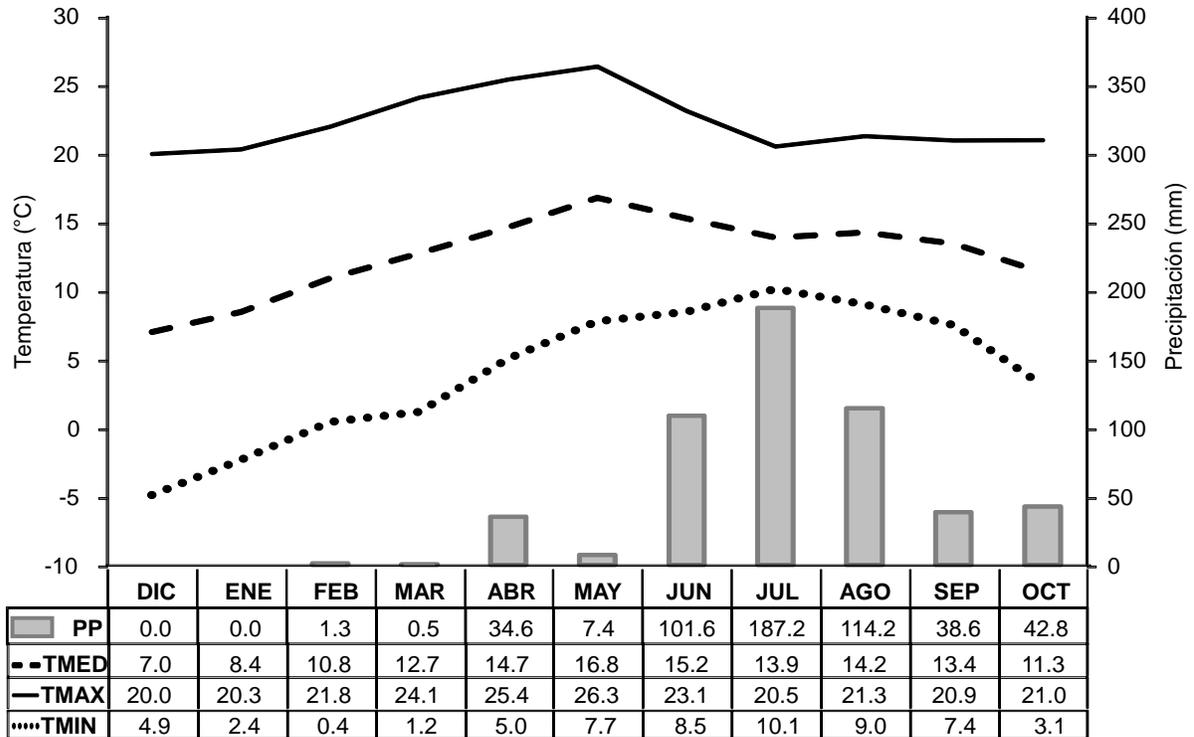


Fig. 7.4. Precipitación y temperaturas mensuales durante los ciclos del cultivo 2010-2011, evaluados bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada en Toluca, México.

Análisis de varianza para las variables evaluadas

Todas las variables de calidad analizadas mostraron respuesta significativa por efecto de ciclo. Por otro parte, la proteína en grano (PG), fuerza panadera (W) y rendimiento de grano, mostraron diferencias significativas por efecto de las dosis de nitrógeno (Cuadro 7.3). Para el factor variedades se observaron efectos significativos para todas las variables consideradas en el presente estudio. De igual forma, la interacción ciclo x variedad estuvo presente de manera significativa en todas las variables, mientras que para la interacción nitrógeno x variedad solo las variables PG, W, VOLP y rendimiento de grano resultaron significativas, la misma tendencia fue observada para la interacción ciclo x nitrógeno x variedad. Los coeficientes de

variación fluctuaron entre 4.3 y 4.5% correspondiendo a las variables PG y rendimiento de grano, respectivamente (Cuadro 7.3).

Cuadro 7.3. Valores de F de las causas de variación considerados para los parámetros de calidad y rendimiento de grano de 9 variedades de trigo cultivados bajo 4 dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México.

F.V	g.l	Variables químicas		Variables reológicas		Panificación	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
		PG (%)	SDS (ml)	ALVW (x 10 ⁻⁴ J)	ALVPL	VOLP (cc)	
Ciclo (C)	1	62.7**	518.7**	193.4**	369.8**	1117.0**	1827.7**
Nitrógeno (N)	3	8.1**	3.1ns	13.7**	1.9ns	1.1ns	575.2**
C x N	3	2.9ns	0.4ns	12.9**	5.1*	3.4*	183.4**
Rep (C x N)	16	6.2**	2.4**	1.0ns	0.9ns	1.1ns	2.1**
Variedad (Var)	8	33.8**	33.8**	142.3**	22.5**	13.4**	79.4**
C x Var	8	12.8**	13.3**	4.1**	6.7**	20.1**	91.9**
N x Var	24	3.2**	1.0ns	2.1**	1.1ns	3.3**	11.9**
C x N x Var	24	1.6*	0.9ns	1.8*	1.2ns	3.7**	19.3**
Error (CM)	128	0.2	7.5	1007.5	0.1	1841.9	420.0
C.V (%)		4.3	13.2	17.0	31.2	6.9	4.5

* Significativo (p<0.05), ** altamente significativo (p<0.01) y ns (p>0.05) no significativo

Medias Generales de los principales efectos estudiados

Todas las variables de calidad evaluadas se vieron afectadas por los cambios en la fecha de siembra, en donde el trigo producido en temporal disminuyó significativamente (P<0.05) en los valores de alveograma-W y volumen de pan (29 y 28%) con respecto al trigo establecido bajo condiciones de riego. Sin embargo, el contenido de proteína del grano, sedimentación y alveograma-P/L aumentaron significativamente en 12, 94 y 150 %, respectivamente (Cuadro 7.4).

Con respecto al efecto del nitrógeno, las diferentes dosis de fertilización (0, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) no afectaron significativamente ($P>0.05$) al volumen de pan (Cuadro 2). Los niveles de fertilización de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹ incrementaron significativamente los valores de proteína en grano (6, 7 y 10%), volumen de sedimentación (5, 9 y 12%) y alveograma-W (21, 22 y 15%) por sobre el testigo (0 kg de N ha⁻¹). En tanto, el grado de extensibilidad del gluten (P/L) fue afectado significativamente ($P>0.05$) por las dosis de fertilización de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ (Cuadro 7.4).

Entre variedades, existieron efectos significativos para todas las variables de calidad evaluadas (Cuadro 7.4). Las variedades Urbina S2007 y Tollocan F2005 superaron al resto en el contenido de proteína del grano (12.8 y 12.4%) y con relación al volumen de sedimentación, destacan Eneida F94 y Tollocan F2005 con valores alrededor de 28 y 24 ml respectivamente, lo que puede indicar que la proteína de estas variedades se relaciona con la fuerza de la masa (fuerza del gluten) durante el proceso de panificación. En las variables reológicas las variedades Eneida F94 y Rebeca F2000 superaron al resto en alveograma-W, cuya fuerza del gluten fue de 292.9 y 296.7 x 10⁻⁴ J. En alveograma-P/L las variedades Saturno S86, Urbina S2007 y Bárcenas S2002 presentaron los mejores valores (0.7 y 1 respectivamente). En la prueba de panificación, 4 de las 9 variedades (Salamanca S75, Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005) presentaron los mayores volúmenes de pan (Cuadro 7.4).

Cuadro 7.4. Valores medios para las variables de calidad evaluadas en 9 variedades de trigo cultivados bajo 4 dosis de fertilización nitrogenada, en Toluca, México.

	Variables químicas		Variables reológicas		Panificación
	PG (%)	SDS (ml)	ALVW ($\times 10^{-4}$ J)	ALVPL	VOLP (cc)
Ciclo					
I-P	11.0b	14.1b	217.0a	0.8b	725.0a
V-O	12.3a	27.4a	154.9b	2.0a	518.8b
Nitrógeno					
0	11.0b	19.5b	162.5b	1.5a	619.5a
100	11.7a	20.4ab	196.9a	1.3b	617.3a
200	11.8a	21.3ab	198.3a	1.4ab	619.0a
300	12.1a	21.9a	186.2a	1.4ab	631.6a
Variedades					
Salamanca S75	11.2e	19.9cd	182.7c	1.4b	636.1bc
Saturno S86	11.3de	19.7dc	138.7d	0.7d	624.0c
Eneida F94	12.0c	27.9a	296.7a	1.9a	626.1c
Cortazar S94	11.5d	18.7d	120.3e	1.5b	570.8d
Rebeca F2000	10.8f	20.6c	292.9a	1.9a	629.2c
Bárceñas S2002	11.5d	20.5c	143.5d	1.0c	661.7a
Tollocan F2005	12.4b	23.9b	262.8b	1.9a	659.5ab
Maya S2007	11.4de	18.7de	135.7de	1.4b	615.8c
Urbina S2007	12.8a	17.1e	100.3f	1.0cd	573.7d

Medias con la misma letra no difieren significativamente con la DMSH al 5%

Para las variables W, P/L (relación tenacidad/extensibilidad), VOLP (volumen de pan) y rendimiento de grano, existió efecto significativo en ciclo x nitrógeno; de tal forma que los valores de W y VOLP fueron mayores en el ciclo invierno-primavera (I-P), observándose en este ciclo que la dosis de 100 kg N ha⁻¹ fue suficiente para incrementar los valores de dichas variables (Figuras 7.5a y c). En el ciclo verano-

otoño (V-O) el valor máximo alcanzable para W se debió a la dosis de 200 kg de N ha⁻¹. La variable P/L, no se afectó de manera significativa (P>0.05) por las variaciones de las dosis de N aplicadas durante el primer ciclo, presentándose valores menores de 0.8 a 0.9; así mismo, durante el segundo ciclo la aplicación de los distintos niveles de N (incluyendo el testigo), incrementaron los valores de P/L (1.7-2.2) (Figura 7.5b). El mayor rendimiento de grano fue observado en V-O, cuyos valores se lograron con la dosis de 100 kg N ha⁻¹ (Figura 7.5d).

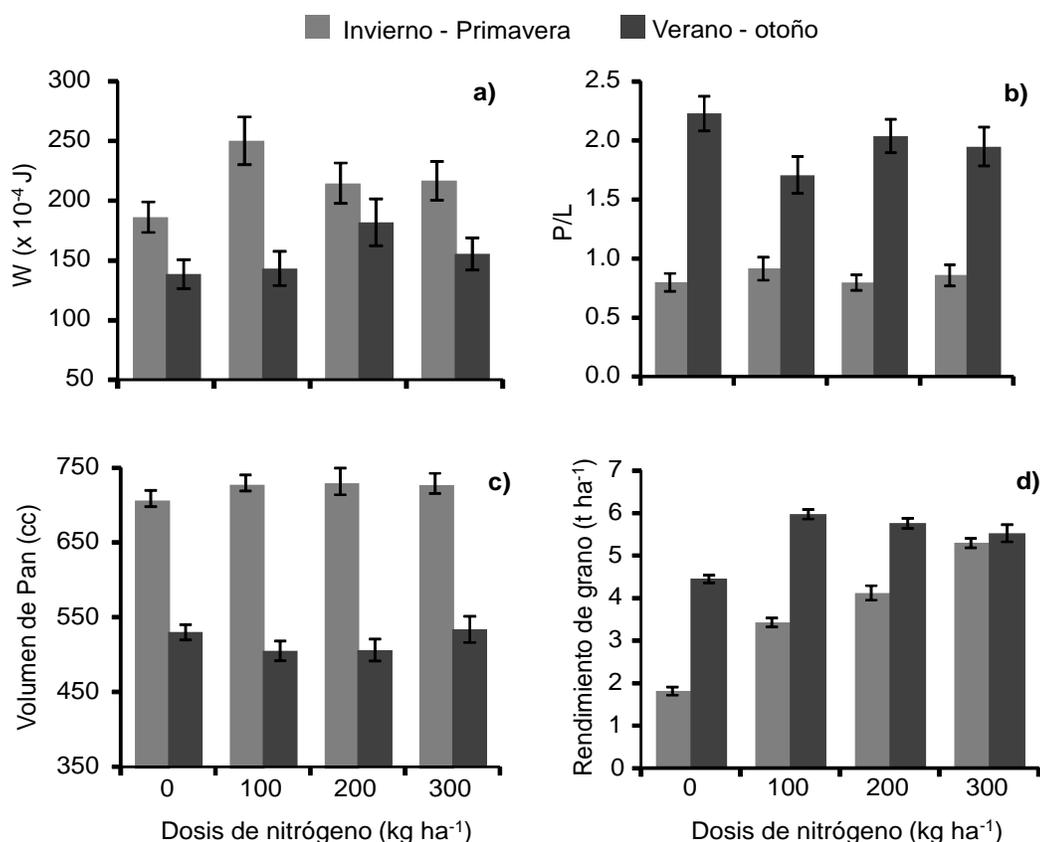


Fig. 7.5. Valores respecto a los ciclos del cultivo para las variables alveograma W (x 10⁻⁴ J) (a), alveograma P/L (b), volumen de pan (cm³) (c) y rendimiento de grano (t ha⁻¹) (d) en la interacción ciclo x nitrógeno. Las barras de la parte superior de las columnas representan el error estándar de la media.

En el ciclo verano-otoño, todas las variedades presentaron los valores más altos de SDS y P/L. Sin embargo, la variable W mostró los valores más altos en el ciclo invierno-primavera, sobresaliendo las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 del resto de las demás (Figura 7.6).

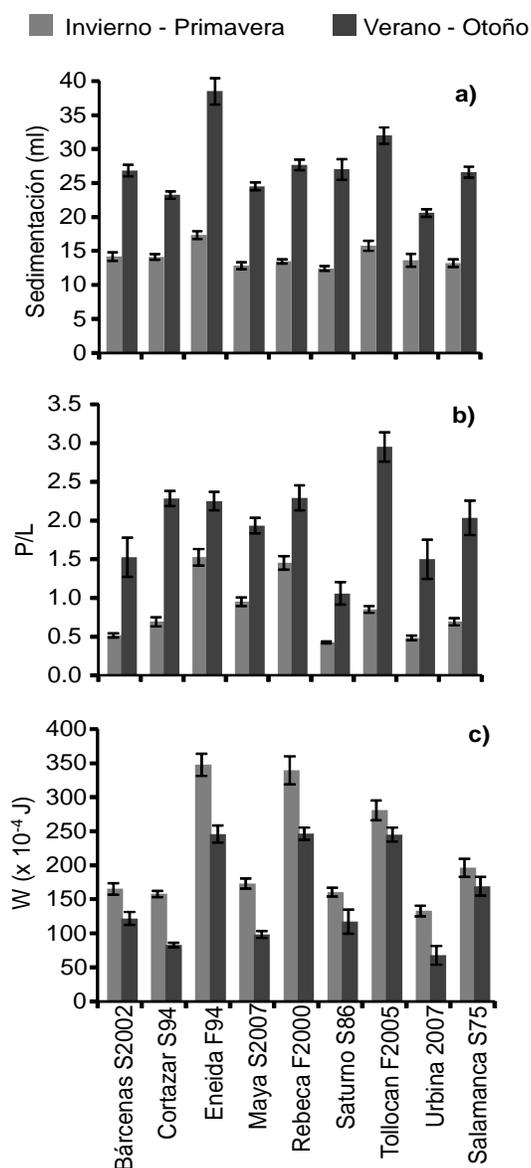


Fig. 7.6. Valores medios para las variables sedimentación (a), alveograma P/L (b) y alveograma W (x 10⁻⁴ J) (c) para 9 variedades de trigo cultivadas durante los ciclos

2010-2011. Las barras de la parte superior de las columnas representan el error estándar de la media.

En la interacción nitrógeno x variedad en los valores de VOLP no se observó tendencia notable con las distintas dosis de fertilización sobre las variedades empleadas en el presente trabajo (Figura 7.7). En tanto, los valores de PG de las variedades Urbina S2007, Tollocan F2005 y Eneida F94 se incrementaron con las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹.

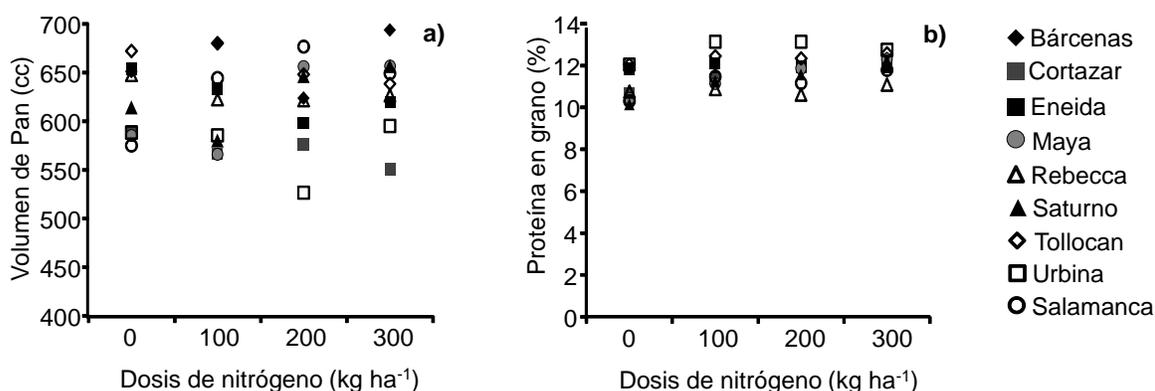


Fig. 7.7. Efecto del nitrógeno sobre las variables volumen de pan (cm³) (a) y proteína en grano (%) (b) en 9 variedades de trigo, para la interacción nitrógeno x variedad.

Volumen de pan

La relación de las variables reológicas (W-P/L) demostró que las harinas de las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 presentaron los mayores volúmenes de pan. La harina del grano cultivado en invierno-primavera obtuvo volúmenes de 733, 791 y 835 cm³; en tanto, volúmenes de 519, 467 y 485 cm³ correspondieron a la harina del grano cultivado en verano-otoño. Las pruebas

reológicas y el volumen de pan, son variables que se relacionan para determinar la calidad panadera del trigo (Figura 7.8).

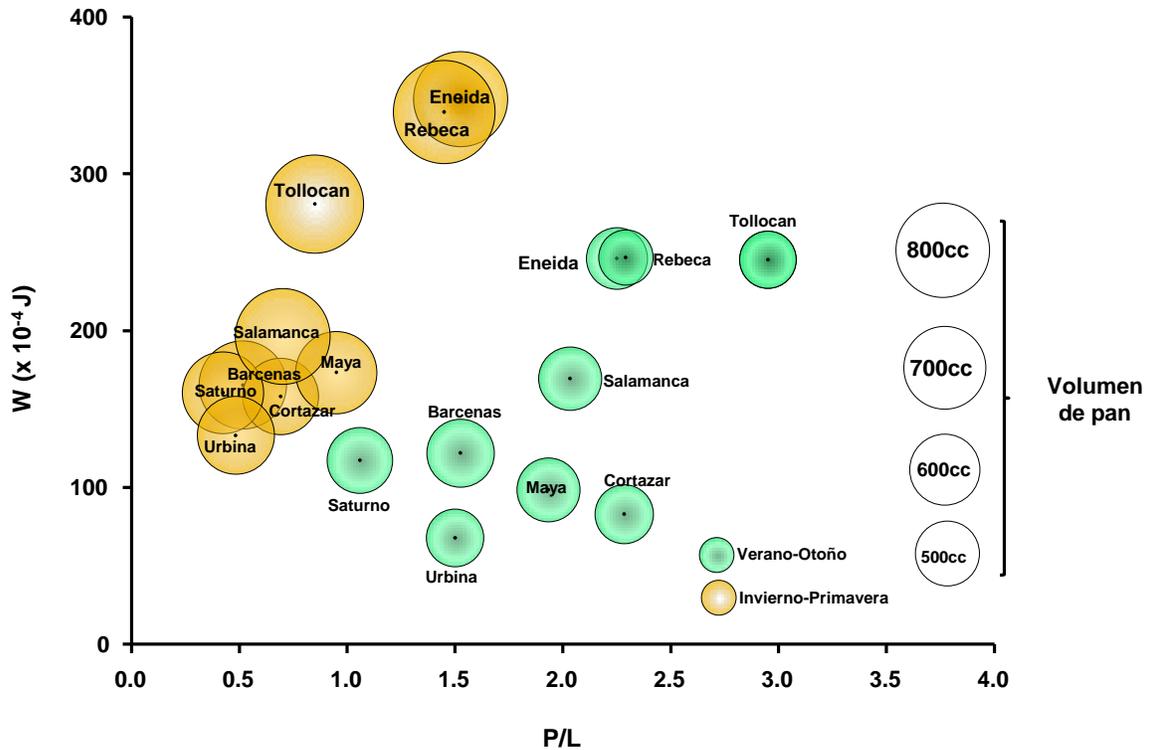


Fig. 7.8. Valores de W, P/L y volumen de pan obtenido con harina de 9 variedades de trigo evaluadas en 2 ciclos de cultivo en Toluca, México.

Rendimiento de grano

Con base en la combinación de variedades, fecha de siembra y dosis de fertilización, se detectaron diferencias tanto en rendimiento como en proteína. Los rendimientos de grano determinados, estuvieron alrededor de 132 y 195 t ha⁻¹ con interacciones significativas ($P < 0.01$) entre ciclo, dosis de nitrógeno y variedad (Figura 7.9). El rendimiento máximo se obtuvo en verano-otoño y la dosis de nitrógeno para alcanzarlo fue de 100 kg ha⁻¹ en las variedades Eneida F94, Saturno S86, Cortazar

S94, Rebeca F2000, Maya S2007 y Bárcenas S2002 quienes obtuvieron entre 5.5-6.9 t ha⁻¹. En tanto, las variedades Salamanca S75 y Tollocan F2005 alcanzaron su mayor rendimiento con las dosis de 200 kg de nitrógeno (5.7 y 7.1 t ha⁻¹) y, finalmente la variedad Urbina S2007 que con 300 kg de nitrógeno adquirió un rendimiento de 5.7 t ha⁻¹. Por otra parte, la dosis de nitrógeno de 300 kg ha⁻¹ resultó ser la adecuada para incrementar el rendimiento de grano en invierno-primavera en la mayoría de las variedades (4.2-6.2 t ha⁻¹), a excepción de la variedad Maya S2007 cuyo rendimiento de 5.7 t ha⁻¹ lo obtuvo con 200 kg de nitrógeno.

En general todas las variedades mostraron niveles aceptables de proteína a pesar de tener un mayor rendimiento de grano en verano-otoño (Figura 7.9). La dosis de 300 kg N ha⁻¹ resultó favorable para que se obtuvieran los valores máximos de proteína (12.8-13.8%), destacándose las variedades Salamanca S75, Eneida F94, Saturno S86, Maya S2007, Tollocan F2005 y Bárcenas F2002. En invierno-primavera, las variedades Salamanca S75, Eneida F94, Cortazar S94, Rebeca F2000, Urbina S2007, Tollocan F2005 y Bárcenas S2002 destacaron por su mayor contenido de proteína (10.7-13.4%), la cual se incrementó con la dosis de 100 kg N ha⁻¹.

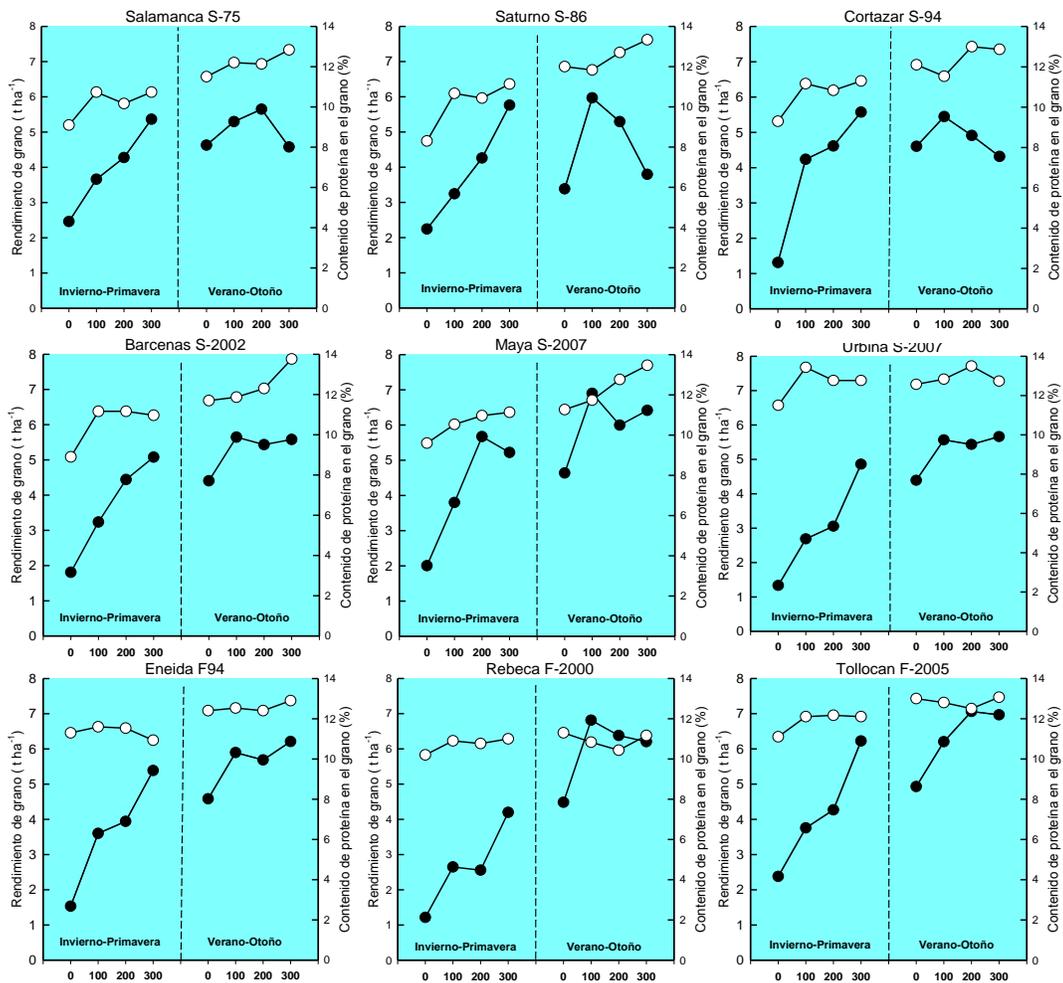


Fig. 7.9. Rendimiento y contenido de proteína del grano de 9 variedades de trigo harinero evaluadas en dos ciclos de cultivo bajo cuatro dosis de fertilización nitrogenada, evaluadas en Toluca, México 2010-2011. (Los puntos negros corresponden al rendimiento de grano y los blancos al contenido de proteína).

7.4.4 Discusión

Los efectos ambientales que se presentaron en cada ciclo del cultivo influyeron en los parámetros de calidad, pudiéndose observar que durante el llenado del grano el cual comprende las etapas entre floración y madurez fisiológica (Satorre *et al.*,

2003), las condiciones del clima como lluvias, heladas tempranas en el ciclo verano-otoño y otros factores externos no controlables afectaron la composición proteica del trigo durante llenado de grano, lo cual causa problemas para ser comercializado (Triboï *et al.*, 2000; Zhu & Kan, 2001). El efecto ambiental en ocasiones afecta la composición de gliadinas (elasticidad)-gluteninas (extensibilidad) presentes en el grano (Peña, 2003); por otra parte, tanto el genotipo como el ambiente influyen sobre las variables de calidad de la masa, así como la relación entre las fracciones de gluteninas y gliadinas (de la O Olan *et al.*, 2010). Los resultados correspondientes a las interacciones ciclo x variedad y ciclo x nitrógeno, mostraron que la fecha de siembra tuvo un efecto significativo sobre calidad proteica y panadera del trigo, así como en rendimiento de grano. Lo anterior coincide con lo reportado por Abbate *et al.* (2010), quienes mencionan que las variables reológicas (W, P/L) y volumen de pan (VOLP) presentaron una mayor influencia debido al cultivar; así mismo, el ciclo mostró el mayor efecto para definir los valores de proteína. Por su parte, Lerner *et al.* (2013) encontraron diferencias significativas entre años en rendimiento de grano el cual también influyó con la respuesta a la fertilización nitrogenada; así mismo, reportaron que los valores de proteína fueron significativamente mayores en los tratamientos con N, existiendo una diferencia notable entre variedades y años.

Se ha demostrado que los efectos del nitrógeno (N) influyen sobre los parámetros reológicos de la masa (Dupont *et al.*, 2006; Fuertes-Mendizabal *et al.*, 2010, 2012). Las dosis de nitrógeno del presente trabajo influyeron sobre la variable P/L, durante el ciclo I-P presentó valores menores (0.8-0.9), lo cual le confiere buena calidad panadera (CANIMOL, 2012); así mismo, la aplicación de los distintos niveles de N

(incluyendo el testigo), incrementaron los valores de P/L (1.7-2.2) durante el segundo ciclo, valores que representan fracciones ricas de gluteninas en el grano, probablemente relacionadas con un llenado de grano menor que en condiciones de riego (de la O Olán *et al.*, 2010), los cuales representan poca extensibilidad de la masa, clasificándolas como tenaces (Peña *et al.*, 2007). La variación para el alveograma-P/L coincide con lo reportado por Espitia *et al.* (2004), quienes encontraron valores P/L entre 0.3-2.2, indicando que los trigos mexicanos para temporal presentan buena extensibilidad para panificación. Al parecer el alto contenido de proteína del grano pudo afectar las variables de calidad reológicas (alveogramas W y P/L) bajo condiciones de temporal, disminuyendo la fuerza y elasticidad de la masa (Rharrabti *et al.*, 2003b), por lo que la calidad de las proteínas en condiciones de riego fue mayor (mayor fuerza y extensibilidad del gluten y masa).

En general todas las variedades presentaron un contenido proteico aceptable similar al reportado por Peña *et al.* (2007) a pesar de tener un mayor rendimiento de grano en verano-otoño. El rendimiento y la calidad panadera son características deseables dentro de la comercialización del trigo, las cuales pueden incrementarse con la influencia del nitrógeno a través de estrategias de fertilización, por lo que se deben considerar dosis, fuentes y momentos de aplicación (Luo *et al.*, 2000); sin embargo, se ha reportado que tanto calidad como rendimiento de grano se correlacionan negativamente (Peña, 2002; Astigueta y Pearson, 2000). A pesar de que se obtuvo el mayor rendimiento en grano y contenido de proteína en verano-otoño, las proteínas resultaron ser de baja calidad comparadas con las proteínas del grano obtenido en invierno-primavera en función de los valores de W, P/L y volumen de panificación. Lo

que coincide con Méndez *et al.* (2012) quienes al evaluar el rendimiento y proteína en las variedades BioINTA 1006, y Klein Zorro cultivadas en Paraná bajo 3 dosis de fertilización nitrogenada (0, 70 y 140 kg ha⁻¹) aplicadas en macollaje, observaron un incremento promedio en rendimiento de grano de 2.70 a 3.75 t ha⁻¹ y en el contenido de proteína de 9.4 a 11.1%; y en cuanto al comportamiento de las variedades, BioINTA 1006 quien presentó un contenido de proteína mayor a Klein Tauro obtuvo baja calidad panadera. Así mismo, mencionan que la selección de genotipos y la adecuada fertilización son necesarias para obtener altos rendimientos que involucren calidad del grano. Un alto contenido de proteína y un buen balance del gluten, son factores determinantes de una buena calidad de panificación (Vásquez *et al.*, 2009). En las pruebas reológicas las variedades Eneida F94 y Rebeca F2000 superaron al resto en alveograma-W, cuya fuerza del gluten fue de 292.9 y 296.7 x 10⁻⁴ J. En alveograma-P/L las variedades Saturno S86, Urbina S2007 y Bárcenas S2002 presentaron los mejores valores (menores a 1.1), ideal para harinas panificables. Los valores de W y P/L se utilizan para clasificar las harinas, por lo que es necesario relacionarlos y no limitarse a uno sólo, puede resultar que 2 harinas coincidan en W pero con diferente P/L, obteniéndose resultados muy distintos en la panificación. La harina extrafina debe tener valores de W entre 270-330 con P/L entre 0.9-1.3, harina fina valores W entre 180-270 con P/L entre 0.5-0.7, harina semifina W entre 110-180 con P/L 0.4-0.6; y finalmente las harinas suaves o galleteras cuyos valores W están entre 80-110 y P/L entre 0.2-0.3 (CANIMOLT, 2012). Los resultados del presente trabajo indican que la disponibilidad del nitrógeno incrementó la cantidad de la proteína del trigo, las propiedades reológicas de la masa y el rendimiento de grano, obteniéndose buenos estándares de calidad principalmente bajo condiciones de

riego. Los valores de fuerza de la masa (W) y extensibilidad (P/L), indican que las variedades con características para la panificación mecanizada serían Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005. Para el resto de las variedades en función a sus valores W y P/L son aptas para el proceso manual o semimecanizado

7.4.5 Conclusiones

Existió variabilidad genética y ambiental en las características de calidad evaluadas, obteniéndose mejores índices de calidad en I-P, en donde el genotipo y el ambiente tuvieron un efecto notable sobre las variables de calidad de la masa. La relación negativa entre rendimiento y contenido de proteína en el ciclo invierno-primavera, determinó la calidad del grano, pues a pesar que se obtuvieron valores menores de proteína en comparación con el ciclo verano-otoño, las relación W (fuerza de la masa)-P/L (tenacidad/elasticidad) indican que estas proteínas son de más alta calidad. La diferente disponibilidad de nitrógeno modificó significativamente la proteína en grano y en harina, volumen de sedimentación, alveogramas W y P/L, así como el rendimiento de grano. De acuerdo a los valores obtenidos de fuerza de la masa, las variedades con características para la panificación mecanizada serían Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 (variedades de gluten fuerte); mientras que Salamanca S75, Saturno S86, Cortazar S94, Bárcenas S2002, Maya S2007, Urbina S2007 se emplearían en la panificación manual y semi-mecanizada, así también, como harinas correctoras de trigos débiles o trigos con gluten muy fuerte.

7.4.6 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo brindado para la realización de este estudio, el cual forma parte del proyecto de investigación “Atributos ecofisiológicos determinantes del rendimiento en trigo y cebada en respuesta a la fertilización nitrogenada” con clave “2860/2010U”. C. Valdés Valdés agradece al CONACYT el apoyo brindado para realizar sus estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en la UAEMex.

7.4.7 Bibliografía

Abbate, P. E., Gutheim, F., Polidoro, O., Milisich, H. J., Cuniberti, M. 2010. Fundamentos para la clasificación del trigo argentino por calidad: efectos del cultivar, la localidad, año y sus interacciones. AGRISCIENTIA. Vol. 27. pp. 1-9.

American Association of Cereal Chemists (AACC). 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St. Paul, Minnesota. USA. 1268 p.

Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F., Gourdon, J. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. In: Wheat In Global Environments, eds. Z. Bedo and L. Lang Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. pp. 157-169.

CANIMOL. 2012. Cámara Nacional de la industria Molinera de Trigo en México.

De la O Olán, M., Espitia, R. E., Villaseñor, M. H. E, Molina, G. J. D, López, S. H., Santacruz, V. A., Peña, R. J. 2010. Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. Vol. 45 (9), pp. 989-996.

Dupont, F. M., Hurkman, W. J., Vensel, W. H., Tanaka, C., Kothari, K. M., Chung, O. K., Altenbach, S. B. 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. *Europ. J. Agronomy*, 25: 96-107.

Espitia, R. E., Villaseñor, M. H. E., Peña, B. R. J., Huerta, E. J., Limón, O. A. 2004. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27 (1). Sociedad Mexicana de Fitotecnia, A.C. Chapingo, México. pp. 41-47.

Fuertes-Mendizabal, T., Aizpurua, A., González-Moro, M. B., Estavillo, J. M. 2010. Improving wheat bread-making quality by splitting the N fertilizer rate. *Europ. J. Agronomy*, 33: 52-61.

Fuertes-Mendizabal, T., González-Murua, C., González-Moro, M. B., Estavillo, J. M. 2012. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. *J. Plant Nutrition. Soil Sci*, 175: 115-124.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.

García, R., J. Annone, J. G., Mustafá, G., Panziraghy, N., Páez, A. 1998. Efecto de la época de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del trigo. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar de Plata 11-13/11. pp. 3-36.

García, R., Annone, J. G., Mac Maney, M. 2000. El valor relativo de la variedad y de otros parámetros de calidad como guía para el acopio diferenciado de trigo para usos específicos. *Revista de Tecnología*.

Graybosch, R. A., Peterson, C. J., Baezinger, P. S., Shelton, D. R. 1995. Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. *Journal of Cereal Science*. Vol. 2. pp. 45-51.

Islas, R. A., MacRitchie, F., Gandikota, S., Hou, G. 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (3). pp. 243-251.

Jenner, C. F., Ugalde, D. T., Aspinall, D. 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. Australian Journal of Plant Physiology. Vol. 18. pp. 211-226.

Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D. 1996. SAS® System for mixed models. Cary, NC: SAS Institute Inc., pp 633.

Lerner, S. E., Adriel, M. R., Ponzio, N. R., Rogers, W. J. 1998. Rol de la relación N/S sobre rendimiento y algunos parámetros de calidad de trigo pan. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar de Plata 11, 12 y 13 de noviembre. pp. 3-32.

Lerner, S. E., Arrigoni, A. C., Arata, A. F. 2013. Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Revista de Investigaciones Agropecuarias. Vol. 39. No. 1.

Luo, C., Branlard, G., Griffin, W. B., Mc Neil, D. L. 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. Journal of Cereal Science. Vol. 31. pp. 185-194.

Méndez, A., Melchiori, R. J. M., Villarroel, D., Juan, N., Vélez, J. P., Albarenque, S. M. 2012. Rendimiento y proteína de diferentes variedades de Trigo en función de la dosis de fertilización nitrogenada. En: 1° Congreso de Valor Agregado en Origen: Integración Asociativa del campo a la Góndola. Compilado por Mario Bragachini. 1a ed. Buenos Aires: Ediciones INTA. pp. 2012. 86-91

Palaniswamy, U. R., Palaniswamy, K. M. 2006. Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. The Harworth Press, Inc., New York. pp 624.

Peña, B. R. J., Amaya, A., Rajaram, S., Mujeeb-Kasi, A. 1990. Variation in quality characteristics associated with home some spring 1B/1R translocation wheats. Journal of Cereal Science. Vol. 12. pp. 105-112.

Peña, B. R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., Van Ginkel, M. 2002. Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic and environmental factors. In:

Quality improvement in Field Crops, A. S. Basra, L. S. Rhandawa (eds). Journal of Crop Production. Vol. 5. pp. 1-37.

Peña, B. R. J. 2003. Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo. En: Claudio Jobet (ed). Avances y Perspectivas en la Calidad Industrial del Trigo. Serie Acta No. 21. INIA. Chile. pp. 23-40.

Peña, B. R. J., Pérez, H. P., Villaseñor, M. H. E., Gómez, V. M. M., Mendoza, L. M. A., Monterde, G. R. 2007. Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Publicación Especial del CONASIST, Av. Cuauhtémoc No. 1617, Mezzanine, Col. Sta. Cruz Atoyac, México, D. F. 24p.

Peña, B. R. J., Perez, H. P., Villasenor, M. H. E., Gómez, V. M. M., Mendoza, L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en Mexico. Ciclo primavera-verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín No. 567, Col. Vertiz Narvarte, Delegación Benito Juárez C.P. 03600 México, D.F. 28p.

Rharrabti, D., Villegas, D., Royo, C., Martos-Núñez, V., García del Moral, L. F. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments. II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. Field Crops Research. 80, pp. 133-140.

Satorre, E. H., Benedech, V. R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., Savin, R. 2003. Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Argentina. pp. 106-107.

Shewry, P. R., Halford, N. G., Tatham, A. S., Popineau, Y., Lafiandra, D., Belton, P. S. 2003. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. Advances in Food and Nutrition Research. Vol. 45. pp. 219-302.

SIAP-SAGARPA. Estadísticas sobre producción de trigo en México. <http://www.trigo.gob.mx>.

Triboï, E., Abad, A., Michelena, A., Lloveras, J., Ollier, J. L., Daniel, C. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes. I. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy*. Vol. 13. pp. 47-64.

Vásquez, L. F., Camacho, C. M. A., Granados, N. M. C., Silva, E. B. A., Islas, R. A. 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *BIOtecnia*. Vol. 11 (2). pp. 29-35.

Zhu, J. y Khan, K. 2001. Effects of genotype and environment on glutenin polymers and breadmaking quality. *Cereal Chemistry*. Vol. 78. pp. 125-130.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

El nitrógeno (N) es un elemento principal que condiciona la obtención de los contenidos adecuados de la proteína del grano de trigo y del gluten (Rao *et al.*, 1993), en el presente trabajo se pudo comprobar que el contenido de proteína incrementó significativamente conforme aumentaba la dosis de N, mientras que con el tratamiento de 0 N los niveles de proteína fueron menores. La calidad de las harinas está determinada por el uso final al cual se destinaran, misma que está dada por las características físicas, químicas y reológicas, así como con la productividad y la calidad industrial del trigo; estas propiedades del grano muchas veces están controladas por las características del genotipo que se cultiva (Borghini *et al.*, 1997; López-Bellido *et al.*, 1998). No obstante lo anterior, estas características pueden estar influenciadas por las condiciones climáticas, el fertilizante nitrogenado y la disponibilidad de N presente en el suelo (Rao *et al.*, 1993; Peña *et al.*, 2008). En este sentido, Garrido *et al.* (2004) señalan que tanto las condiciones climáticas como la disponibilidad de N existente en el suelo son factores que influyen en la fuerza del

gluten (W). Aunque Serna (1996) mencionan que un bajo PHL corresponde a un rendimiento harinero (RH) pobre, a pesar de que se obtuvo un bajo PHL en el ciclo verano-otoño ($<70 \text{ kg hL}^{-1}$) en comparación con el ciclo invierno-primavera ($>76 \text{ kg hL}^{-1}$), no existió diferencia significativa en RH. Por otra parte, se sabe que los granos con menor PHL contienen mayor cantidad de Cz lo cual puede ocasionar contaminación en la harina y en la sémola por lo que los niveles deseables deben ser menores al 2% (Peña *et al.*, 2007), sólo las variedades Cortazar S94 y Urbina S2007 presentaron valores de 2.0%, pero ello no influyó en las pruebas reológicas.

La Dz es un parámetro importante que tiene gran influencia en la capacidad de absorción de agua de las harinas, la industria de la panificación prefiere harina de trigo semiduro a duro por favorecer la fermentación durante la panificación y la humedad durante el periodo de frescura del producto terminado (Peña *et al.*, 2007), así en el presente trabajo, predominaron las variedades de grano de textura semidura como Salamanca S75, Eneida F94, Saturno S86, Rebeca F2000, Urbina S2007, Maya S2007 y Tollocan F2005. Por otro lado, los valores de W permiten clasificar el uso industrial del trigo, de tal forma que los trigos para panificación mecanizada deben tener valores $W > 340-350$: aquellos para panificación semimecanizada, valores W de entre 200 y 300 y finalmente los que se utilizaran en la producción galletera con valores $W < 200$ (Peña *et al.*, 2008). De acuerdo con lo anterior, los valores de W obtenidos en el presente trabajo indican que las variedades para la panificación mecanizada serían Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005, el resto son aptas para el proceso manual o semimecanizado. En el caso de las harinas panificables, estas deben tener buena extensibilidad, con valores

de P/L menores a 1.1 y, de preferencia, entre 0.6 y 0.8; las harinas para galleta son mejores cuando tienen valores de P/L menores a 0.6. Las harinas de trigo con valores de P/L mayores a 1.3 se clasifican como tenaces (poco extensibles) (Peña *et al.*, 2008). En el presente trabajo, en el ciclo invierno–primavera de acuerdo a la relación W-P/L se obtuvieron 3 tipos harinas: 1). Semifina, la cual se emplea en la elaboración de hojaldres y bizcochos, 2). Fina, útil para panes especiales y proceso frío, de bollería y panadería y 3). Extrafina, con la que elaboran panes muy ricos y bollerías especial (CANIMOLT, 2012); lo anterior indica que las condiciones climáticas y la disponibilidad de nitrógeno favorecieron al trigo bajo condiciones de riego, en calidad proteica y harinera del grano, obteniéndose así mismo buenos volúmenes de pan principalmente en las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 (733, 791 y 835 cm³). En tanto, volúmenes de 519, 467 y 485 cm³ pertenecientes a las mismas variedades, correspondieron a la harina del grano cultivado en verano-otoño, sin embargo, los volúmenes de pan obtenidos del grano bajo condiciones de temporal fueron superiores a los reportados en otras investigaciones (Vásquez *et al.*, 2009; Islas *et al.*, 2005), en donde los valores máximos fueron de 300 y 200 cm³, respectivamente. Bergh *et al.* (2004), mencionan que la magnitud en el mejoramiento de los parámetros de calidad (rendimiento, proteína, gluten y alveograma-W) están relacionados directamente con la cantidad de nitrógeno aplicado; sin embargo, tanto calidad como rendimiento de grano se correlacionan negativamente (Peña, 2002; Astigueta y Pearson, 2000). La cantidad y calidad de proteína relacionada con el rendimiento de grano son determinantes que expresan la calidad del trigo. Por lo que es importante conocer cómo se asocia el rendimiento, la proteína y otras variables de calidad para decidir que variedades

sembrar y así cumplir con los requerimientos que demanda la industria molinera y de la panificación. La interacción genotipo ambiente puede ser el factor de variación más importante para rendimiento, PHL, proteína, gluten, P/L y volumen de pan; no así para W, siendo este último parámetro el más importante en la clasificación industrial de un trigo (Mortarini *et al.*, 2004). Con base en los parámetros fisicoquímicos, reológicos y de panificación, las variedades Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan F2005 fueron superiores en calidad con respecto a las 6 variedades restantes.

IX. CONCLUSIÓN GENERAL

Se observó una amplia variabilidad genotípica y ambiental en todas las variables evaluadas, obteniéndose la mejor calidad para todas las variedades en el ciclo invierno-primavera, en el cual el genotipo y el ambiente tuvieron un efecto significativo sobre las variables de calidad de la masa. En el ciclo verano-otoño se obtuvo el mayor rendimiento en grano y los valores más altos de proteína tanto en grano como en harina, sin embargo, al relacionar los valores de los alveogramas W-P/L se observó que las proteínas con mayor calidad se obtuvieron en ciclo invierno-primavera. La diferente disponibilidad de nitrógeno no modificó significativamente el PHL, Dz, RH, Cz y volumen de pan (VOLP). Las variedades de endospermo duro a semiduro principalmente Eneida F94 y Tollocan F2005, presentaron los valores más altos de PHL, RH, SDS y W; en tanto, la variedad Rebeca sólo mostró mayor RH, SDS y W. Estas tres variedades presentaron los valores más bajos de Dz. Por su parte, la variedad Urbina S2007 presentó el valor más alto en PG con un promedio de 12.8 %.

Para el ciclo O-I con la dosis de N de 100 kg ha^{-1} se obtuvieron los mejores resultados en las variables PG, PH, PHL, W y Dz mientras que con la dosis de 300 kg N ha^{-1} solo en SDS y VOLP se observaron efectos positivos. En el ciclo P-V con la dosis de 200 kg N ha^{-1} se obtuvo una mejor respuesta en la variable W, la dosis de 300 kg N ha^{-1} fue favorable en las variables PG, PH, SDS, Dz y VOLP. En ambos ciclos la dosis de 200 kg N ha^{-1} fue óptima solo en el RH y Cz. En cuanto a rendimiento de grano, con la dosis de 300 kg N ha^{-1} durante el ciclo invierno-primavera se obtuvieron los mejores resultados en rendimiento, mientras que en verano-otoño se obtuvo una mejor respuesta de rendimiento con la dosis de 100 kg N ha^{-1} . Los valores de fuerza de la masa indican que las variedades con características para la panificación mecanizada serían Eneida F94, Rebeca F2000 y Tollocan S2005 mientras que Salamanca S75, Saturno S86, Cortazar S94, Bárcenas S2002, Maya S2007, Urbina S2007 se emplearían en la panificación manual y semi-mecanizada, así como harinas correctoras de trigos débiles o trigos con gluten muy fuerte.

X. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

Abbate, P.E. 2005. Bases fisiológicas para el manejo del cultivo de trigo expuesto en la "1ra Jornada de Trigo de la Región Centro", 30 y 31 de marzo, 2005. Córdoba.

Álvarez, M. L., Vallejos, H. R. 2000. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. (11) 62: 24-26.

Alvarez, R., Steinbach, H. S., Grigera, S., García, R. 2001. Disponibilidad de nitrógeno y rendimiento de trigo en la Pampa Ondulada. Fertilizar, 6: 22.

American Association of Cereal Chemists (AACC). 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St. Paul, Minnesota. USA. 1268 p.

Astigueta, M., Pearson, F. 2000. Calidad industrial de trigo pan. Cuadernillo Agromercado Trigo 2000.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1999. Official Methods of Analysis of the AOAC. 16th 247 ed. Washington, D.C., USA.

Baumer, C., Devito, C., González, N. 1997. Momentos de aplicación de nitrógeno en siembra directa en trigo. Rev. Tec. Agrop. 2(4): 5-7.

Bergman, C. J., Gualberto, D. G., Campbell, K. G., Sorrels, M. E., Finney, P. L. 1998. Genotype and environment effects on wheat quality traits in a population derived from a soft by hard cross. Cer. Chem. 75(5):729-737.

Bergh R., Loewy, T., Echeverría H. 2004. Nitrógeno en trigo: Rendimiento y calidad panadera. III. Aplicaciones de las lecturas del índice de verdor. Actas VI Congreso nacional de Trigo. UNS-INTA. Bahía Blanca, Buenos Aires. pp. 121-122.

Borghì, B., Corbellini, M., Minoia, C., Palumbo, M., Di Fonzo, N., Perezin, M., 1997. Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum L.*). Eur. J. Agron. 4, 145–154.

Calaveras, J. 1996. Tratado de panificación y bollería. 1ª ed. Mundi-Prensa. Iragra. S.A. Madrid.

Callejo, M. J. 2002. Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid.

Canadian Wheat Board. 2001. Canada western red spring wheat average quality data for 1996-2000. November Bulletin. Winnip Canada. 5 p.

CANIMOL. 2012. Cámara Nacional de la industria Molinera de Trigo en México.

Dendy, V. A. D. y Dobrazsyczy, J. B. 2004. Cereales y Productos Derivados, Química y Tecnología. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 537 pp.

Espitia-Rangel, E., Baenziger, P. S., Graybosch, R. A., Shelton, D. R., Moreno-Sevilla, B., Peterson, C. J. (1999a). Agronomic performance and stability of 1A vs 1AL. 1RS genotypes derived from the winter wheat “Nekota”. Crop Sci. 39(3): 643-648.

Espitia-Rangel, E., Baenziger, P. S., Graybosch, R. A., Shelton, D. R., Moreno-Sevilla, B., Peterson, C. J. (1999b). End-use quality performance and stability of 1A

vs 1AL. 1RS genotypes derived from the winter wheat “Nekota”. *Crop Sci.* 39(3): 649-654.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2007. FAOSTAT (FAO Statistical Databases) Agriculture, fisheries, forestry, nutrition. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/default.aspx/>.

Fang, C., Campbell, M. G. 2002. Stress-strain analysis and visual observation of wheat kernel breakage during roller milling using fluted rolls. *Cereal Chem.* 79(4):511-517.

Ferraris, G., Mausegne F. 2008. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de perfiles de genotipo de trigo pan en el norte, centro y oeste de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07 y 2007/08. Trigo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola. pp 61-72.

Flower, D. B. 1998. The importance of crop management and cultivar genetic potential in the production of wheat with high protein concentration. In: wheat protein production and marketing. University Extension Press, U of Saskatchewan, Canada. pp.285-290.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.

García, L. A. 1997. In: Explorando altos rendimientos de trigo, Ed. M. CIMMYT/INIA, INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Oct. 20-23, 1997. Ed. Kohli, Martino.

García, L. A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Serie Técnica 144. INIA La Estanzuela. pp 58.

Garrido-Lestachea, E., López-Bellido, R. J., López-Bellido, L. 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 85: 213–236

Goesaert, H., Bris, K., Veraberbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 12-30

Gooding, M. J., Davies, W. P. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Research* Vol.32: pp. 209-222.

Islas, R. A., MacRitchie, F., Gandikota, S., Hou, G. 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (3). pp. 243-251.

Jobet, C. 1989. El trigo: pan nuestro de cada día. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca (Chile)*. 8(39): 18-22.

Limón-Ortega, A., Villaseñor, M. E., Espitia-Rangel, E. 2008. Nitrogen management and wheat genotype performance in a planting system on narrow raised beds. *Cereal Res. Comm.* 36: 343-352.

López-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J. E., López-Garrido, F. J., 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.* 57, 265–276.

Mellado, M. 2007. “El trigo en Chile: cultura, ciencia y tecnología”. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillan, Chile

Morris, C., Lillemo, M., Simeone, M., Giroux, J., Babb, S., Kidwell, K. 2001. Prevalence of puroindoline grain hardness genotypes among historically significant North American spring and winter wheats. *Crop Sci.* 41: 218-228.

Mortarini, M. A., Perelman, S., Miralles, D. J. 2004. Calidad industrial del trigo: Interacción genotipo x ambiente. Proceeding VI Congreso Nacional De trigo, Bahía Blanca, 20-22 Octubre. pp. 304-305.

NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum aestivum L.* y *triticum durum desf.*). Especificaciones y métodos de prueba. Non industrialized food products. Cereal. Wheat. (*triticum aestivum L.* y *triticum durum desf.*). Specifications and test methods. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

Oliver, J. R., Allen, H. M. 1992. The prediction of bread baking performance using the farinograph and extensograph. *Journal of Cereal Science*, 15: 79-89.

Ortiz-Monasterio, I., Sayre, K.D., Peña, R.J., Fischer, R.A. 1994. Improving the nitrogen use efficiency of irrigated spring wheat in the Yaqui Valley of Mexico. 15th World Cong. Soil Science, vol. 5b: 348-349.

Palaniswamy, U. R., Palaniswamy, K. M. 2006. Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. The Harworth Press, Inc., New York. pp 624.

Papakosta, D. K., Gagianas, A. A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses of Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, Madison, v. 83, p. 864-870.

Peña, R. J., Amaya, A., Rajaram, S., Mujeeb-Kazi, A. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocations wheats. *J. Cer. Sci.* 12:105-112.

Peña, R., Ortiz-Monasterio, J., Sayre, k. 1998. Estrategias para mejorar (o mantener), la calidad panadera en trigo de alto potencial de rendimiento. KOOHLI, M; MARTINO, M. (eds.). "Explorando altos rendimiento de trigo". La estanzuela, Uruguay; CIMMYT-INIA. pp. 287-304.

Peña, R. J. 2001. Contribución de las gluteninas (alta y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad del trigo. En: *Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo*. CIMMYT e INIA, Colonia Uruguay. pp. 151-162.

Peña, B. R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., Van Ginkel, M. 2002. Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic and environmental factors. In: *Quality improvement in Field Crops*, A. S. Basra, L. S. Rhandawa (eds). *Journal of Crop Production*. Vol. 5. pp. 1-37.

Peña, B. R. J., Pérez, H. P., Villaseñor, M. H. E., Gómez, V. M. M., Mendoza, L. M. A., Monterde, G. R. 2007. Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2005-2006. *Publicación Especial del CONASIST*, Av. Cuauhtémoc No. 1617, Mezzanine, Col. Sta. Cruz Atoyac, México, D. F. 24p.

Peña, B. R. J., Perez, H. P., Villasenor, M. H. E., Gómez, V. M. M., Mendoza, L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en Mexico. Ciclo primavera-verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín No. 567, Col. Vertiz Narvarte, Delegación Benito Juárez C.P. 03600 México, D.F. 28p.

Peterson, C., Graybosch, A., Baenziger, P., Grombacher, A. 1992. Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32:98-103.

Pomeranz, Y. 1987. Modern Cereal Science and Tecnology. VCH-Publishers. New York. 486 p.

Potter, N. 1995. Ciencia de los Alimentos, Editorial Acribia, Zaragoza. España. 436 pp.

Quaglia, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Editorial Acribia, Zaragoza. España.

Rasper, V. F. 1991. Quality Evaluation of Cereals and Cereal Products. Cap. 15. En: Handbook of Cereal Science and Technology. K. J. Lorenz and K. Kulp (eds.). Marcel Dekker, Inc. Nueva York, USA.

Rao, A. C. S., Smith, J. L., Jandhyala, V. K., Papendick, R. I., Parr, J. F., 1993. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. *Agron. J.* 85, 1023–1028.

SIAP-SAGARPA. 2009. Estadísticas sobre producción de trigo en México. <http://www.trigo.gob.mx>.

Serna, S. S. R. O. 1996. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S.A. México. 521 pp.

Serna, S. S. R. O. 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. AGT Editor, S.A. México. 340 pp.

Souza, E. J., Tyler, M., Kephart, D., Kruk, M. 1993. Genetic improve in milling and baking quality of hard red spring wheat cultivar. Cer. Chem. 70(3\): 280-285.

Tombetta, E., Cuniberti, M. 1994. "Utilización del mixógrafo de Swanson para la evaluación de la calidad en los programas de mejoramiento de trigo pan", Informe Técnico N° 105, págs. 1-17. INTA centro Regional Córdoba.

Vaclavik, A. V. 2002. Fundamento de la ciencia de los alimentos. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 76-81.

Vásquez, L. F., Camacho, C. M. A., Granados, N. M. C., Silva, E. B. A., Islas, R. A. 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. BIOtecnia. Vol. 11 (2). pp. 29-35.

Villaseñor, M.H.E., Espitia, R.E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: Problemática y condiciones de producción. En: El trigo de temporal en México. Villaseñor, M.H.E., Espitia, R.E (eds). INIFAP-Produce. México. pp. 85-98.

Villaseñor, M. E., Sangerman, D. M. J., Espitia, R. E. 2000. La problemática del cultivo del trigo (*Triticum aestivum L.*) en México y su inserción en el tratado de libre comercio. In: J. E. Barrales, S. D. Sánchez (eds) Problemática de los cultivos básicos

y su Perspectiva Frente al Tratado de libre comercio. Memoria Simposio Nacional, 10 de Nov. 2000. Chapingo, Méx. pp. 7-17.

Weegels, P. L., Hamer, R. J., Schofield, J. D. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.*, 23: 1-18.