



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

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PANADERA DE HARINAS DE
GRANO ENTERO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) MEDIANTE
MARCADORES BIOQUÍMICOS, PRUEBAS FISICOQUÍMICAS Y
REOLÓGICAS

TESIS

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

PRESENTA

JUAN JOSÉ CALIXTO MUÑOZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Febrero, 2018.



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

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PANADERA DE HARINAS DE
GRANO ENTERO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) MEDIANTE
MARCADORES BIOQUÍMICOS, PRUEBAS FISICOQUÍMICAS Y
REOLÓGICAS

TESIS

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

PRESENTA

JUAN JOSÉ CALIXTO MUÑOZ

COMITÉ DE TUTORES

Dra. DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ. Tutor Académico

Dra. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN. Tutor Adjunto

Dra. ANA TARIN GUTIÉRREZ IBÁÑEZ. Tutor Adjunto

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Febrero, 2018.

DEDICATORIA

El Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

AGRADECIMIENTOS

A las Dras. Dora Luz Pinzón Martínez, María Dolores Mariezcurrena Berasain y Ana Tarin Gutiérrez Ibáñez por aceptar la dirección de este trabajo.

Al Dr. Sanjaya Rajaram Devi y al Ing. Mario Albarrán Mucientes (Resource Seeds International) por facilitar los materiales evaluados en este trabajo.

Al Dr. Roberto Javier Peña Bautista, Dr. Carlos Guzmán García y a José Fausto Cervantes Espinosa (CIMMYT) por permitirme realizar los geles SDS-PAGE y supervisar la interpretación de las variantes alélicas.

A la Dra. Alma Rosa Islas Rubio, Q. B. María del Carmen Granados Nevárez, Dra. Nina Gisella Heredia Sandoval y al Dr. Francisco Vázquez Lara (Laboratorio de Cereales - CIAD, Hermosillo) por su colaboración y disposición para realizar los análisis reológicos del presente trabajo.

Al M. C. Jesús Castellón Jardon por su colaboración en el desarrollo de la prueba de fermentación generada en este trabajo, así como por facilitar sus instalaciones para el desarrollo de esta.

A la Dra. Martha Lydia Salgado Siclan por su tiempo y facilitar el transiluminador fotodocumentador a su resguardo.

A CONACYT, por su apoyo financiero para la realización de esta tesis de investigación, así como el apoyo para la estancia que se realizó en el CIAD, Hermosillo, Sonora.

RESUMEN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es una fuente importante de proteína y energía para la humanidad, debido a la diversidad de productos alimenticios que se generan a partir su harina. La variación de sus proteínas [gluteninas (elasticidad) y gliadinas (extensibilidad)] define la viscoelasticidad de la masa y por lo tanto, la calidad panadera. En México se comercializan dos tipos de harina: harina refinada y harina integral, la primera sufre un proceso de refinación y la segunda corresponde por definición a la molienda de todo el grano. Recientemente, la harina de grano entero (HGE) se define también por conservar intactamente la composición original del grano y se relaciona con la prevención de enfermedades cardiovasculares, al poseer mayor cantidad de vitaminas, fibra y fitoquímicos que las refinadas. Así, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas de harinas de grano entero de trigo (*Triticum aestivum* L.) de las variedades Cal Blanco F2011 (HCB), Matchett F2011 (HM) y RSM-N Norman F2008 (HN), obtenidas durante los ciclos 2014-2016, en condiciones de riego, en las localidades de Mexicali, Baja California; Buenaventura, Chihuahua; Tarimoro, Guanajuato y Queréndaro, Michoacán. Lo anterior, se realizó mediante análisis fisicoquímicos al grano y harina, así como, una identificación alélica por SDS-PAGE junto con la variabilidad genética, por la fórmula de Nei (1973). Mediante PCR se analizó la presencia del alelo Bx7 y finalmente, se estudió su comportamiento reológico (Mixograma y Kieffer Rig), una prueba de fermentación en cilindro y la prueba de panificación. Se realizó un análisis de varianza, una comparación de medias y una correlación (Prueba de fermentación en cilindro y calidad panadera) ($P \leq 0.05$). Se usaron dos testigos: harina refinada (HR) e integral (HI) y los análisis se realizaron por triplicado. Todas variedades de trigo mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en peso hectolítrico, peso de 1,000 granos, color de grano y de harina, % proteína, % humedad e índice de Zeleny por genotipo, localidad e interacción. El índice de Zeleny en las tres variedades tuvo valores cercanos a 70 mL, sobresaliendo HN en todas las localidades analizadas para sugerir a la calidad de las harinas, como buena y semejante a las harinas refinadas con buena calidad panadera. HCB sobresalió con 14,33% de proteína, superior a las demás harinas evaluadas. Los alelos de gluteninas y gliadinas identificados junto con el análisis de distribución alélica permitieron clasificar a las variedades HN y HCB con

calidad moderada-alta, y a HM con alta. La PCR confirmó el gen que codifica para la proteína Bx7, relacionada con buena calidad panadera en HN. La fuerza (FMA) de las HGE a 45 min de fermentación fue muy superior (94.90-105.10 g) a HR (58.16 g) y a los 90 min HN, tuvo un incremento (95.92 g) de fuerza, mientras que el resto de las harinas, incluidas las testigo, su fuerza disminuyó. La extensibilidad (EXT) de HM y HCB a los 45 min de fermentación fue estadísticamente igual a HR y a los 90 min (53.8 y 60.29 mm, respectivamente) estuvieron superiores a HR. En todas las HGE se encontraron tiempos de amasado intermedios (4.5 min) con potencial para la industria panadera. El pH_f (4.55 a 5.29) de las HGE, en la prueba de fermentación en cilindro para estimar la capacidad de retención de CO₂, resultó dentro de lo adecuado para la reproducción de *Saccharomyces cerevisiae* y en consecuencia, generar buen volumen, color y aroma del pan, ya que tales valores de pH, mejoran la calidad de la masa. El volumen de pan fue similar (137-139 cm³) a HR en HN y HM, lo cual, se sugiere que pueden comportarse como las harinas comerciales, principalmente HCB (169.33 cm³). Las HGE evaluadas tuvieron un volumen específico de pan entre 2.77-3.35 cm³g⁻¹, como la HR con excepción de HCB, que fue superior. El alveolado de los panes de HGE fue semejante al encontrado en el pan de caja de HR. En conclusión, se evaluó la calidad panadera de las HGE de las variedades Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008, cultivadas en diferentes ambientes en México como, adecuada para panificación, con una calidad de moderada-alta a alta, mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas, reológicas y con la adaptación de una prueba de volumen de fermentación en cilindro (no convencional) menos costosa y más factible, que las metodologías reológicas más complejas.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., harina de grano entero, calidad panadera, marcadores bioquímicos, fermentación.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is an important protein and energy human source, because of its food product production made from its flour. Its flour protein variability [Glutenin (elasticity) and gliadin (extensibility)] define its viscoelasticity properties and bakery quality. There are two different flours types produced in Mexico, refined and whole meal flours. The first, the refined flour is produced after the refining process, and the second, is the whole grain grinding. Actually, whole grain flour (WGF) it has been also defined for its whole grain composition included; therefore, it has been related to cardiovascular disease prevention due to its fiber, vitamins and fitochemicals higher composition. Then the main objective of this proyect was to evaluate the bakery quality by biochemical markers, physicochemical and rheology tests from Cal Blanco F2011 (HCB), Matchett F2011 (HM) y RSM-N Norman F2008 (HN) WGF cultivated in Mexicali, Baja California; Buenaventura, Chihuahua; Tarimoro, Guanajuato y Queréndaro, Michoacán. Grain and flour physicochemical test, an allelic protein SDS-PAGE analyse together with genetic variability by Nei formule (1973) were made. Bx7 allele confirmation by PCR was also made. Finally, fermentation volume cylidre probes together with the bakery test were made. An Analysis of variance, a mean squares comparison and a correlation test were completed (fermentation volume cylidre probe and the bakery test) ($P \leq 0.05$). Refined (RF) and Whole meal flour (WMF) were used as controls and the analyses were made by triplicade. There were significant differences ($P \leq 0.05$) in grain hectolitic weight, weight of 1,000 grains, flour and grain colour, Protein %, moisture and Zeleny sedimentation tests by genotype, locality and its interaction. The three genotypes Zeleny sedimentation values were close to 70 mL, especially HN flour, in all the localyties studied. This could suggest a similar good refined quality for WGF. HCB highlighted with its higher protein% value (14.33%) than the others flours. Strength and extensibility 17+18 y 5+10 alleles were detected in HCB and HM; in addition, 7+9 and 2* alleles were found in HN. Bakery quality 1; 17+18; 5+10 and 2* 7+9 strength and extensibility related combinations from *Glu-1* locus were identified in HCB and HM. *b, g y c; d, h y b* and *c, g y b* allele combinations were found in HCB; HM and HN, respectively. ω -gliadin *f, d y f* alleles (locus *Gli-B1*) were identified in HCB, HM and HN, respectively. 2*, 7+9 y 5+10, *c y g* combination were found in HN and HM. Strength gluten (*Glu-B3*) *b* and *h* alleles were observed in HN and HM, respectively. All

these allele's combinatins suggested, than those genotypes flours could be used as weak dough improver. Gliadin and glutenin alleles with its allelic distribution analysis allowed classifying HN and HCB as hight to moderate and MH as high bakery quality. Good bakery Bx7 molecular marker was confirmed by PCR in HN. WGF Doug strength (FMA) values at 45 min fermentation time were higher (94.90-105.10 g) than refined flour values (58.16 g). At 90 min fermentation time FMA HN value had an increase (95.92 g), while the rest of the flours, including controls, their strength decreased. Extensibility (EXT) HM and HCB values at 45 min fermentation time were similar to HR values and at 90 min (53.8 y 60.29 mm, respectively) those values resulted higer than HR values. The whole WGF analyzed had kneading times as intermediate values (4.5 min), which has been suggested as a potential for bakery industry. Fermentation volume cylindre probe was addapted in order to estimate the CO₂ dough retention capacity. WGF pH_f values (4.55-5.29) from this test resulted as adecuate conditions for *Saccharomyces cerevisiae* fermentative metabolism; consequently, a good bread volume and colour were developed. Bread volume (137-139 cm³) HR was analogous to HN and HM; thus, WGF could behave as refied commercial flours, mainly HCB (169.33 cm³). WGF specific bread volume was within 2.77-3.35 cm³ g⁻¹, where HCB resulted with the highest value. WGF bread alveolate was similar to HR. In conclusion Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-N Norman F2008 WGF obtained from different localities in Mexico bakery quality were evaluated by biochemical markers, physicochemical and rheology tests including an adaptation fermentation cylinder volume probe (non conventional test) as a less expensive and more reliable probe than the rheological complex methodologies.

Key words: *Triticum aestivum* L., whole grain flour, bakery quality, biochemical markers, fermentation volume.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Panorama mundial de la producción de trigo	4
2.2. Producción de trigo en México	5
2.3. El trigo	6
2.3.1. Taxonomía del trigo.....	6
2.3.2. Morfología de la Planta	8
2.3.2.1. Raíz	8
2.3.2.2. Tallo.....	8
2.3.2.3. Hojas.....	8
2.3.2.4. Inflorescencia.....	9
2.3.2.5. Fruto	9
2.3.3. Estructura del Grano	9
2.3.3.1. Salvado.....	10
2.3.3.2. Endospermo	10
2.3.3.3. Germen	11
2.3.3.4. Composición bromatológica.....	11
2.4. Clasificación del trigo	12
2.5. Efecto del genotipo-ambiente en las características de calidad.....	13
2.6. Calidad del grano de trigo	15
2.6.1. Análisis fisicoquímicos del trigo.....	15
2.6.1.1. Peso hectolítrico.....	16
2.6.1.2. Peso de 1, 000 granos.....	16
2.6.1.3. Dimensiones del grano (Largo, ancho y espesor)	17
2.6.1.4. Color de grano (L, a * y b *).....	17
2.6.1.5. Humedad.....	17
2.6.1.6. Cenizas.....	18
2.6.1.7. Proteína.....	18
2.7. Harina de trigo	19
2.7.1. Harina refinada	19
2.7.2. Harina integral o harina de grano entero.....	20
2.8. Calidad de la harina de trigo	20
2.8.1. Análisis fisicoquímicos de la harina de trigo.....	20

2.8.1.1.	Color de la harina (L, a * y b *)	20
2.8.1.2.	Humedad.....	21
2.8.1.3.	Cenizas.....	21
2.8.1.4.	Almidón total.....	22
2.8.1.5.	Índice de Zeleny.....	22
2.8.1.6.	Proteína.....	23
2.9.	Calidad panadera de la harina de trigo.....	23
2.9.1.	Gluten.....	24
2.9.1.1.	Proteínas del gluten	24
2.9.2.	Marcadores bioquímicos de las gliadinas y gluteninas.....	27
2.9.3.	Marcadores moleculares para gliadinas y gluteninas	30
2.9.4.	Pruebas reológicas	31
2.9.4.1.	Mixograma	31
2.8.5.2.1.2.	Altura máxima del pico.....	31
2.8.5.2.1.3.	Altura de la curva a los tres minutos de haberse alcanzado el pico.....	31
2.1.5.2.1.1.	Tiempo óptimo de amasado (TOA).	32
2.9.4.2.	Prueba de Kieffer Rig	32
2.9.4.3.	Prueba de volumen de fermentación en cilindro.....	33
2.9.5.	Prueba de panificación	34
2.9.5.1.	Productos de Panadería Industrial	34
2.9.5.2.	Productos de Panadería Tradicional	34
2.9.5.3.	Productos de Bollería.....	35
2.9.5.4.	Pan Blanco	35
2.9.5.5.	Pan de Harina Integral.....	35
2.9.5.6.	Pan Dulce.....	35
2.9.5.7.	Pastel o Panqué.....	35
III.	JUSTIFICACIÓN.....	37
IV.	HIPÓTESIS	38
V.	OBJETIVOS	39
5.1.	Objetivo general	39
5.2.	Objetivos específicos	39
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
6.1.	Material	40
6.2.	Lugar de estudio	41
6.3.	Métodología	43
6.3.1.	Análisis Fisicoquímicos del grano.....	43
6.3.1.1.	Peso hectolítrico	43
6.3.1.2.	Peso de 1, 000 granos.....	44
6.3.1.3.	Dimensiones del grano (Largo, Ancho y Espesor).....	44
6.3.1.4.	Color de grano (L, a * y b *).....	44
6.3.2.	Molienda del grano (obtención de las HGE)	44
6.3.3.	Análisis fisicoquímicos de la harina	45

6.3.3.1.	Color de la harina (L, a * y b *)	45
6.3.3.2.	Humedad Método 925.09 de la AOAC	45
6.3.3.3.	Cenizas.....	45
6.3.3.4.	Contenido de almidón total.....	45
6.3.3.5.	Índice de Zeleny.....	46
6.3.3.5.1.	Proteína Método 954.01 de la AOAC	46
6.3.4.	Marcadores bioquímicos.....	46
6.3.4.1.	Extracción secuencial de las gliadinas y gluteninas del endospermo	46
6.3.4.2.	Electroforesis en geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato sodio (1D-SDS-PAGE) para análisis de gliadinas y gluteninas.....	46
6.3.4.3.	Interpretación del gel.....	47
6.3.4.3.1.1.	Digitalización y conservación del gel.....	47
6.3.4.3.1.2.	Nomenclatura de gliadinas y gluteninas	47
6.3.4.4.	Análisis de la distribución alélica de las gliadinas y gluteninas en la población estudiada 47	
6.3.5.	Marcadores moleculares	48
6.3.5.1.	Extracción del ADN genómico	48
6.3.5.2.	Concentración y pureza del ADN genómico	48
6.3.5.3.	Integridad del ADN genómico	48
6.3.5.4.	Análisis de la SG-APM (alelo Bx7).....	49
6.3.6.	Calidad panadera	49
6.3.6.1.	Proteína método 46-13 AACC.....	49
6.3.6.2.	Humedad método 44-19 AACC	49
6.3.6.3.	Mixograma	49
6.3.6.4.	Prueba de Kieffer Rig	50
6.3.6.5.	Prueba de panificación.....	50
6.3.6.6.	Prueba de fermentación	50
6.4.	Diseño experimental y análisis de datos	52
6.4.1.	Análisis fisicoquímicos de los granos y de las HGE obtenidas.....	52
6.4.2.	Análisis de los marcadores bioquímicos y variabilidad genética	52
6.4.3.	Análisis del marcador molecular Bx7.	52
6.4.4.	Análisis de los parámetros de calidad panadera.....	52
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
7.1.	Resultados publicados	54
7.1.1.	Artículo aceptado. “Physicochemical and bromatological quality evaluation for bread wheat breeding” 54	
7.1.2.	Artículo en revisión. “Identificación y distribución de alelos de gluteninas y gliadinas relacionados con calidad panadera en variedades de trigo (Triticum aestivum L.)”	80
7.2.	Resultados no publicados.....	99
7.2.1.	Marcador molecular Bx7	99
7.2.2.	Calidad panadera de harinas de grano entero de trigo.....	100
7.2.2.1.	Variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.	100
7.2.2.2.	Prueba de panificación.....	103
7.2.2.3.	Prueba de volumen de fermentación en cilindro.....	106
7.2.2.4.	Análisis de correlación.....	107

VIII. CONCLUSIÓN GENERAL	108
IX. RECOMENDACIONES	109
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características y rango de adaptación del trigo.....	7
Tabla 2. Clasificación botánica del trigo.....	8
Tabla 3. Composición bromatológica del trigo (expresada en % sobre peso seco)	11
Tabla 4. Componentes y peso específico de las regiones del grano de trigo.....	12
Tabla 5. Clasificación de grupos de trigo harinero utilizados en la industria alimentaria.....	13
Tabla 6. Composición química del trigo (expresada en % sobre peso seco)	16
Tabla 7. Clasificación de proteínas de reserva según su solubilidad.....	19
Tabla 8. Distribución alélica de las variedades testigo.....	40
Tabla 9. Descripción del marcador molecular Bx7.....	41
Tabla 10. Descripción de factores ambientales y ubicación geográfica de las Localidades.....	42
Tabla 11. Cuadrado medio del análisis de varianza para las variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.....	101
Tabla 12. Prueba de diferencia mínima significativa de las variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.....	102
Tabla 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de la prueba de panificación y de fermentación.....	104
Tabla 14. Prueba de diferencia mínima significativa de las variables en la prueba de panificación y fermentación.....	105
Tabla 15. Prueba de comparación de medias por diferencia mínima significativa para las harinas y tiempos en la prueba de fermentación.....	106

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Principales países exportadores de trigo según proyecciones de la OCDE y la FAO en 2025.....	4
Gráfica 2. Principales países importadores de trigo según proyecciones de la OCDE y la FAO en 2025.....	5
Gráfica 3. Porcentaje de productividad de trigo en México según el aporte de cada Estado durante el ciclo otoño-invierno 2014/2015.....	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología Del grano de trigo.....	9
Figura 2. Esquema de la clasificación de las gliadinas y gluteninas en función del peso molecular, movilidad electroforética y estructura tridimensional.....	26
Figura 3. Parámetros del mixograma.....	32
Figura 4. Localidades de México donde se evaluaron las variedades.....	41

Figura 5. Metodología para la caracterización de las variedades Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008 de cuatro a Localidades de México.....	43
Figura 6. Gel de agarosa al 2,0% de la variedad RSM-Norman F2008 evaluada en tres Localidades de México.....	99
Figura 7. Panes elaborados con harina refinada marca “Los gallos” (HGRSA), harina integral marca “Los gallos” (HGISA) y con las harinas de grano entero de Cal Blanco F2011 (HCB), Matchett F2011 (HM) y RSM-Norman F2008 (HN).....	105

I. INTRODUCCIÓN

El trigo panadero (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más cultivado a nivel mundial. Su grano es fuente importante de proteína para el ser humano y proporciona aproximadamente, una quinta parte del aporte calórico total a la población mundial. Se utiliza para producir sémola y su producto más representativo, la harina, es la base de productos alimenticios como pan y galletas. Por la demanda de estos productos y al no ser suficiente su producción en México, se ha recurrido a la importación de este cereal (SAGARPA, 2015; CANIMOLT, 2017).

Del trigo panificable se buscan incrementos de producción, rentabilidad y calidad, para colocarlo en el mercado nacional, mediante prácticas agronómicas y nuevas tecnologías, como genotipificaciones, junto a apoyos federales y estrategias con empresas semilleras (SAGARPA, 2015). La calidad de la harina de trigo es un aspecto importante para garantizarla en la obtención de sus productos. La cual, se determina a través de evaluaciones agronómicas, análisis químicos, físicos y reológicos, cruciales para la comercialización del pan. Esta calidad está influenciada por las condiciones ambientales (de la Horra *et al.*, 2012; Švec y Hruškova, 2014; Švec y Hruškova, 2015) tales como, altura sobre el nivel del mar, temperatura, precipitación, tipo de suelo y radiación solar, entre otros, que determinan el fenotipo y la calidad del grano e influyen hasta en 2/3 del total de los componentes del grano por la interacción genotipo-ambiente. Así, el fenotipo puede ser cuantificado por análisis físicoquímicos, pero su genotipo sólo por análisis genéticos (Rodríguez-González *et al.*, 2011).

La harina de trigo posee capacidad de hidratación y amasado para formar masas viscoelásticas con diferentes grados de cohesividad, viscosidad y elasticidad. Esas características le confieren fuerza, extensibilidad, retención del gas durante la fermentación, volumen al pan y una estructura alveolada, después del horneado. Esto, define los diversos usos del trigo ya sea en panificación, galletería, pastelería, entre otros (Liang *et al.*, 2015; Chaudhary *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). El amasado, fermentado y horneado son etapas cruciales en la panificación. En la cual, el propósito es mezclar de forma homogénea la harina, agua, sal y levadura, e incorporar burbujas de aire, junto con

hacer flexible y elástica la masa. Durante el fermentado las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) degradan los azúcares de la harina en CO₂ el cual es retenido de acuerdo a la capacidad de la masa de retener las burbujas de CO₂ y para obtener volumen. Se produce también alcohol, acompañados de ácido láctico que generan el olor característico del pan. Finalmente, el horneado detiene el proceso de fermentación y las reacciones de Maillard manteniendo el volumen de la masa (Vega Castro *et al.*, 2015; Cauvain, 2012).

La investigación de la calidad panadera a veces tiene que superar varias dificultades, por ejemplo, no tener suficiente muestra y no disponer del equipo adecuado para analizar y determinar las pruebas de calidad, tales como parámetros reológicos (extensibilidad y viscoelasticidad). En estos casos, las cualidades fisicoquímicas, determinaciones de color, humedad de grano y harina, características físicas del grano, peso hectolítrico y de 1,000 granos, proteína, almidón, índice de Zeleny y cenizas son algunas de las opciones para evaluar la calidad panadera de la harina y trigo (Barak *et al.*, 2015; Bonafede *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2014; Švec & Hruškova, 2015). Así, las pruebas reológicas para la masa mas comunes son el farinograma, alveograma, mixograma y extensograma que en combinación con el contenido de humedad y proteína, determinan la calidad de la harina (Thanhaeuser *et al.*, 2014; Guzmán *et al.*, 2015). Las propiedades de fuerza y extensibilidad únicas del trigo dependen de la cantidad y calidad de las proteínas de almacenamiento del grano, gliadinas y gluteninas, que en presencia de agua, forman la red viscoelástica llamada gluten (Chaudhary *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). Las gluteninas, son proteínas poliméricas relacionadas con la fuerza y extensibilidad de la masa, mientras que las gliadinas, son proteínas monoméricas, responsables de la viscoelasticidad (Islas *et al.*, 2005; Gao *et al.*, 2016). Por lo tanto, la calidad panadera está definida por dichas proteínas (Martínez *et al.*, 2010; Ibrahim, 2013; Wang *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). Éstas, son altamente polimórficas, cada variación es denominada alelo y el conjunto de alelos es denominado loci. Por su movilidad electroforética, las gluteninas pueden separarse e identificarse en subunidades de alto (SG-APM) (80-120 kDa) y bajo peso molecular (SG-BPM) (30-50 kDa) (Payne y Corfield 1979; Dong, *et al.*, 2010). Cerca del 20,0% de la fracción total de gluteninas son de SG-APM y el resto de SG-BPM (Payne y Lawrance, 1983). Se encuentran ubicadas en los brazos largos de los cromosomas A, B y D. De estas, se han identificado más de 20 alelos con diferentes efectos sobre la calidad panadera en

trigo, de los cuales, seis son de *Glu-A3*, nueve de *Glu-B3* y cinco de *Glu-D3*. Los diferentes loci *Glu-3* y sus efectos sobre la calidad industrial del trigo, se han incluido recientemente en la clasificación del trigo panadero (Wang *et al.*, 2016). Por otro lado, las gliadinas están codificadas por grandes familias multigénicas (α -, β -, γ - y ω -). Sin embargo, es difícil establecer correlaciones entre estas proteínas y las propiedades tecnológicas de la masa, debido a que los efectos atribuidos a una gliadina, pueden ser generados por otros grupos asociados de gliadinas o por SG-BPM (Chaudhary *et al.*, 2016).

En los programas de mejoramiento la caracterización de SG-APM, SG-BPM y gliadinas, es una herramienta complementaria que permite identificar materiales con distribución alelica con efectos positivos en la panificación, evitar duplicidad de estos materiales y generar variedades de alta calidad para industria panadera de manera más eficaz. Igualmente, permite la adaptación de nuevas variedades para satisfacer requisitos específicos de calidad con diferentes destinos industriales (Peña *et al.*, 2002; Battenfield *et al.*, 2016). De esta forma se pretende que el trigo nacional empiece a competir en precio y calidad industrial, con el importado (Peña *et al.*, 2002; Battenfield *et al.*, 2016).

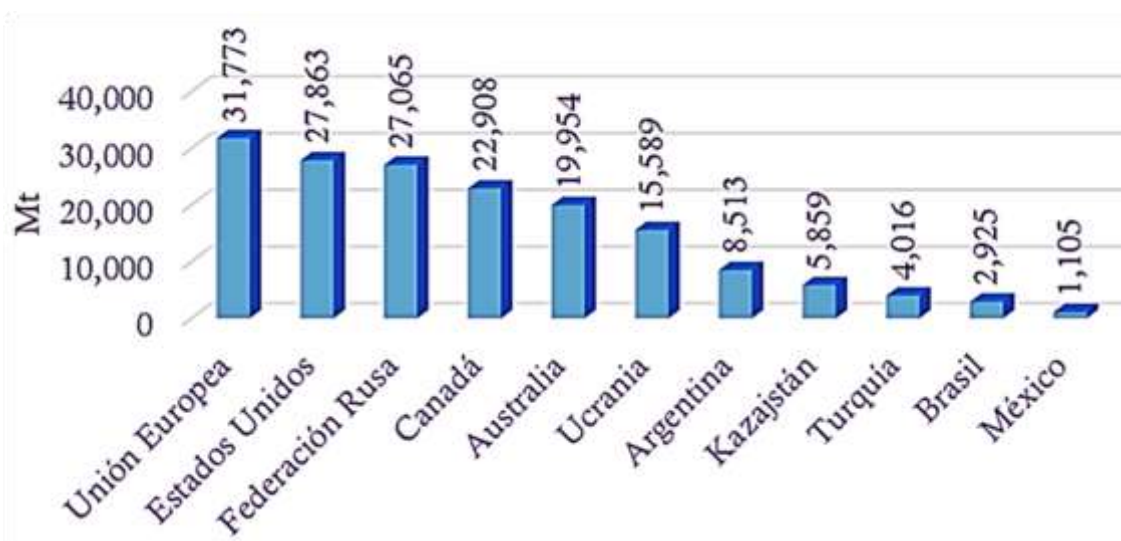
En la panificación, el proceso enzimático de más trascendencia es la fermentación. Aunado a la calidad de la harina, este proceso contribuye a generar un pan voluminoso, de miga uniformemente alveolada y color satisfactorio, entre otras características. Este proceso se basa en una serie de transformaciones enzimáticas, que tienen lugar desde que comienza el amasado, hasta los primeros momentos de la cocción. Es catalizada por enzimas aportadas por agentes exteriores como las levaduras, principalmente, la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Esta, transforma glucosa en alcohol y dióxido de carbono, principalmente. Simultáneamente, sufre una multiplicación. Para el desarrollo de su actividad vital, la levadura necesita condiciones de temperatura, humedad y acidez adecuadas. Factores decisivos en el control de la fermentación (Olmedo, 1964). Basados en las transformaciones enzimáticas del almidón por levadura y la capacidad de la harina para retener el CO₂ se puede medir la resistencia a la expansión de las masas y evaluar la calidad del gluten de manera rápida (Siddiqi *et al.*, 2016). Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas de harinas de grano entero de trigo (*Triticum aestivum* L.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Panorama mundial de la producción de trigo

De acuerdo a las proyecciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para el año 2024-2025, la producción de trigo superará los 787 millones de t (Mt), 63 millones más que el año 2015. En donde, destacarán los incrementos productivos de la India (13 Mt), la Federación de Rusia (10 Mt), la Unión Europea (8 Mt), China (5 Mt), Argentina (4 Mt) y Paquistán (4 Mt) (Gráfica 1).

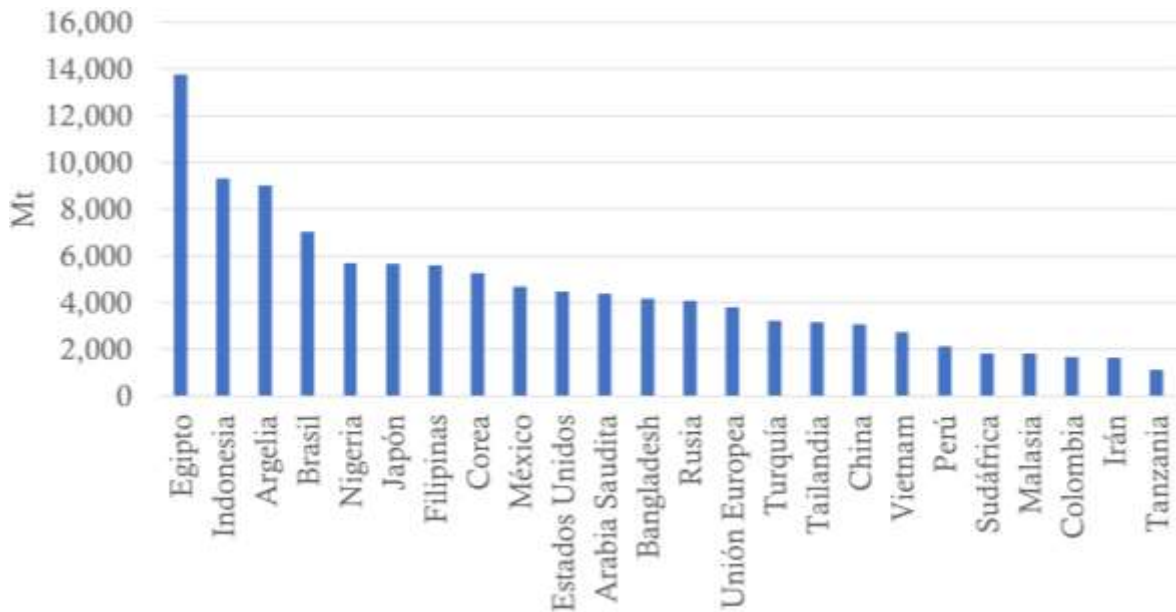
Gráfica 1. Principales países exportadores de trigo según proyecciones de la OCDE y la FAO en 2025.



Fuente: CANIMOLT, 2017.

La Unión Europea, Estados Unidos, Federación Rusa y Canadá seguirán siendo líderes productores, mientras que Egipto, Indonesia, Argelia y Brasil serán quienes importen más este cereal (Gráfica 2). Del total del trigo producido en el mundo aproximadamente, el 81,0% se destinará para consumo humano y el 19,0% para consumo animal (CANIMOLT, 2017).

Gráfica 2. Principales países importadores de trigo según proyecciones de la OCDE y la FAO en 2025.

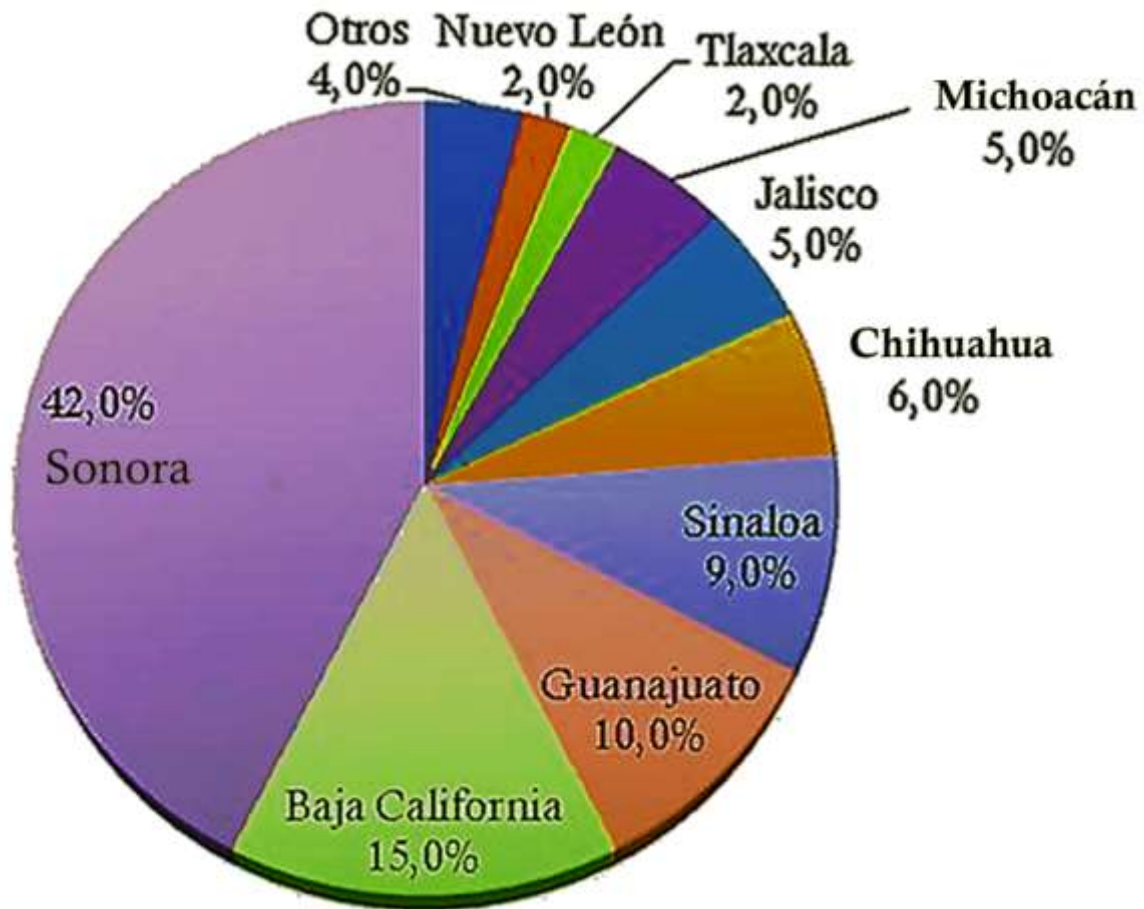


Fuente: CANIMOLT, 2017

2.2. Producción de trigo en México

En el año agrícola 2014-2015, la producción nacional de trigo alcanzó las 3, 710, 000 t de las que 1, 792, 000 t, correspondieron a trigos panificables (fuertes y suaves) y 1, 958, 000 t, a trigo semolero. El 92,0% se concentró en tan sólo 7 entidades federativas: Sonora (43,0%), Baja California (14,0%), Guanajuato (10,0%), Sinaloa (9,0%), Chihuahua (6,0%), Jalisco (5,0%) y Michoacán (5,0%) (Gráfica 3). Debido a que la producción de trigos panificables continúa siendo insuficiente para abastecer la demanda de la industria molinera nacional, para este mismo periodo se importaron 4, 356, 000 t y en el ciclo 2015-2016, la importación aumentó a 4, 461, 000 t. Para el año 2016 se produjeron 3, 784, 000 t. De este volumen, el 95,0% correspondió al ciclo otoño-invierno. Las entidades con mejores producciones fueron: Sonora con 265, 000 t (16,0% más que en 2015); Sinaloa con 42, 000 t (13,0% más que en 2015) y Michoacán con 28,000 t (16,0% más que en el año 2015) (CANIMOLT, 2017).

Gráfica 3. Porcentaje de productividad de trigo en México según el aporte de cada Estado durante el ciclo otoño-invierno 2014/2015.



Fuente: CANIMOLT, 2017.

2.3. El trigo

2.3.1. Taxonomía del trigo

El trigo es una de las primeras plantas cultivadas que comprende también especies silvestres. Con el término trigo, se designa tanto a la planta como a las semillas. Pertenecen al género *Triticum* y pertenecen a la familia Gramineae (Tabla 2) que se adaptan a una diversidad de ambientes (Tabla 1). El *Triticum durum*, especie tetraploide, también conocida como trigo semolero, es la segunda especie de importancia en este género. El *Triticum aestivum* L., especie hexaploide, también conocida como trigo panadero o harinero, es la especie más cultivada en el mundo. A partir de él se producen varios miles

de variedades que son adaptadas a una variedad de ambientes agroecológicos (Tabla 1) (Kulp y Ponte 2000; Villaseñor y Espitia, 2000; Espitia *et al.*, 2003; Leon y Rosell, 2007; De la O' Olan *et al.*, 2010; Serna-Saldívar, 2010).

Tabla 1. Principales características y rango de adaptación del trigo.

Nombre común	Nombre científico	Origen citogenético	Características y adaptación
	<i>Triticum</i>		Se reconocen tres clases principales de trigo: duro o panadero, suave o galletero y <i>durum</i> o para pasta.
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Asia Menor y Medio Oriente	Se adapta a regiones frías localizadas desde los 15° a 60° latitud norte y 27° a 40° latitud sur.
	<i>Triticum durum</i>		Crece en suelos con buen drenaje, precipitaciones de 375-875 mm y desde un nivel del mar a los 3,000 msnm. Su temperatura óptima va de 10-25°C.

Fuente: Serna-Saldívar, 2010.

El trigo panadero, comprende varios miles de variedades y su harina es la más apropiada para la elaboración de pan (Tabla 1). Este cereal se cultiva y cosecha en prácticamente todo el mundo, en regiones frías y templadas, desde los 60° latitud norte y entre 27 y 40° latitud sur, desde el nivel del mar hasta 3000 m, en suelos con buen drenaje, temperaturas de 10 a 25°C y con precipitaciones entre 375 a 875 mm. Aunque también se cultivan en condiciones de riego en áreas semidesérticas del mundo, los trigos de mejor calidad generalmente son cultivados por encima del Trópico de Cáncer y por debajo del Trópico de Capricornio. Su superficie cultivada es la más grande entre los cultivos agrícolas y su comercio mundial, es el mayor entre los productos agrícolas. A medida que la demanda de carne y productos lácteos aumenta, también lo hará en proporción la producción de cereales. Sin embargo, la producción de cereales para consumo humano crece a un ritmo más lento que el crecimiento poblacional (Villaseñor y Espitia, 2000; Serna-Saldívar, 2010; CANIMOLT, 2017).

Tabla 2. Clasificación botánica del trigo.

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Clase	Monocotiledónea
Orden	Glumiflorae
Familia	Festucoideae y Poaceae (Gramínea)
Tribu	Tritíceae
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>aestivum</i>

Fuente: Serna-Saldívar, 2010.

En los países en desarrollo, casi 60,0% del uso total de cereales se destina a la alimentación humana, mientras que en los países desarrollados éstos representan solamente el 10,0% del consumo (Serna-Saldívar, 2010; CANIMOLT, 2017).

2.3.2. Morfología de la Planta

La planta de trigo está integrada por:

2.3.2.1. Raíz

Es fasciculada con numerosas ramificaciones, alcanzan una profundidad entre 25 y 100 cm (SAGARPA, 2010).

2.3.2.2. Tallo

Es hueco (caña) con seis nudos que se alargan hacia la parte superior, su altura varia de 0.5 m a 2.0 m de altura con pocas ramificaciones (SAGARPA, 2010).

2.3.2.3. Hojas

Tienen una forma lineal-lanceolada (alargada, recta y terminada en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas (SAGARPA, 2010).

2.3.2.4. Inflorescencia

Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamados raquis (eje escalonado) sobre el cual están dispuestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna, laxa o compacta, llevando cada una nueve flores (consta de un pistilo y tres estambres.) que están protegidas cada una por dos brácteas (glumas, glumillas o glúmelas) de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados (SAGARPA, 2010).

2.3.2.5. Fruto

Es una cariósipide, es decir, un fruto seco e indehisciente a cuya única semilla esta adherido el pericarpio. Tiene forma ovoide con una ranura en la parte ventral (SAGARPA, 2010).

2.3.3. Estructura del Grano

La cariósipide se subdivide en tres partes fundamentales: el salvado, que envuelve el grano; endospermo, representa la mayor parte del grano; y germen, que incluye el embrión y el escutelo (Figura 1). La proporción de cada uno de los componentes del grano es del 14,0%, 83,0% y de 2,5 a 3,5%, respectivamente (Leon y Rosell, 2007; Serna-Saldívar, 2010).

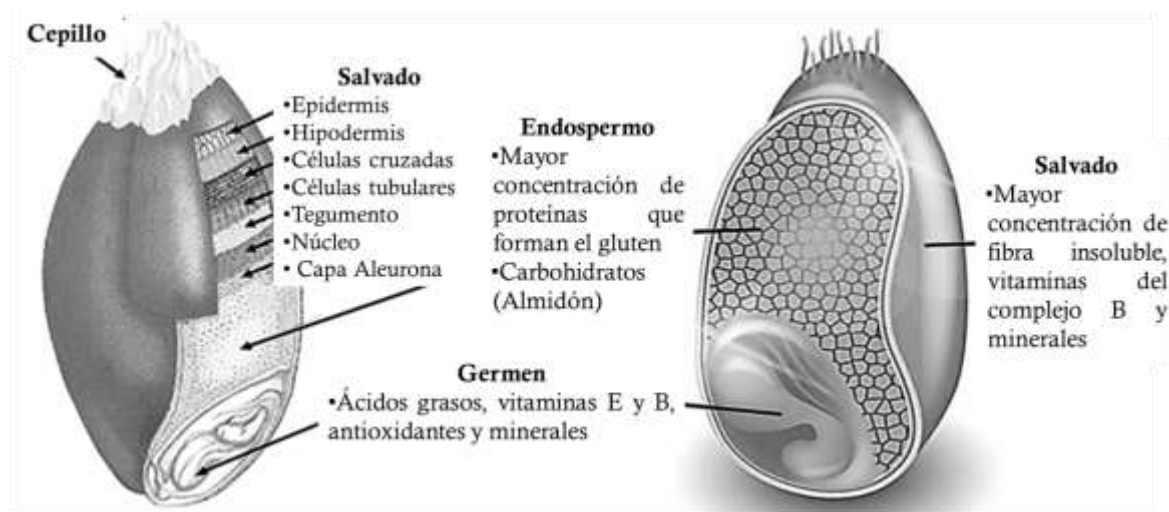


Figura 1. Morfología del grano de trigo.

Fuente: Centrodecorredores, 2017; Dreamstime, 2017.

2.3.3.1. Salvado

Está constituido por la capa de aleurona, epidermis nuclear, la cubierta de la semilla o testa y el pericarpio. Tienen una alta proporción en proteína, celulosa (fibra), vitamina (B1) y minerales (calcio, hierro). Su función es la de proteger a la semilla cuando ésta germina (Delcour y Hosene, 2009). La capa de aleurona tiene el espesor de una célula, rodea al grano por completo incluyendo al endospermo y al germen, está compuesta de celulosa, proteína, fósforo, ácidos grasos, Niacina, Tiamina, Riboflavina y es rica en minerales. La epidermis nuclear o capa hialina tiene 7 µm de espesor y se une estrechamente a la cubierta de la semilla y a la capa de aleurona. La testa se une finamente a las células tubulares por el exterior y a la epidermis nuclear por el interior, está constituida por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada (en los trigos coloreados) y una cutícula interior fina. Su espesor varía entre 5 a 8 µm. El pericarpio rodea toda la semilla y está constituido por epicarpio, mesocarpio, endocarpio. Comprende el 5,0% del grano, está formado por un 6,0% de proteína, 2,0% de minerales, 20,0% de celulosa y 0,5% ácidos grasos (Serna-Saldívar, 2010).

2.3.3.2. Endospermo

El endospermo representa el 83,0% del peso del grano y de él, se obtiene la harina. Está compuesto principalmente, por almidón y un complejo de proteínas llamado gluten. Lo componen tres tipos de endospermo: el endospermo periférico que se caracteriza por su alto contenido proteico y unidades pequeñas de almidón. El endospermo vítreo se forma por las paredes celulares donde se encuentra la fibra insoluble (celulosa y β-glucanos) y soluble (pentosanas), gránulos de almidón y matriz proteica; el endospermo almidonoso que se encuentra en la parte central del grano y sus unidades de almidón son de mayor tamaño. La asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil en las unidades de almidón que tienen menos incrustaciones de cuerpos proteicos, es decir, entre más proteína mayor dureza y densidad de grano. El endospermo es también un depósito de reservas para el embrión de naturaleza amilácea, que suministra alimento a la nueva planta en las primeras etapas de desarrollo del embrión. El endospermo contiene las sustancias de reserva que constituyen la masa principal del grano (Serna-Saldívar, 2010).

2.3.3.3. Germen

Constituye del 2,5 - 3,0% del grano y se encuentra adherido al endospermo por medio del escutelo. Está formado por el eje embrionario (raíz y tallo rudimentario) y el escutelo (órgano para la absorción de nutrientes). Se compone de un alto contenido de proteína de alto valor biológico (25,0%) y azúcares (18,0%). El embrión contiene 16,0% de grasa (el 32,0% de ésta se encuentra en el escutelo) y 5,0% cenizas. También contiene vitamina E, vitamina B y gran cantidad de enzimas. Es la parte del grano que daría lugar a una nueva planta si encuentra las condiciones adecuadas (Delcour y Hosenev, 2009).

2.3.3.4. Composición bromatológica

La composición del trigo puede variar según las condiciones de cultivo, año y región de producción (Antolin, 2001; Dendy y Dobraszczyk, 2004). En el Tabla 3, se presenta la composición bromatológica del trigo, sin embargo las tres principales estructuras que lo integran (salvado, germen y endospermo) varían en su composición (Tabla 4).

Tabla 3. Composición bromatológica del trigo (expresada en % sobre peso seco).

Componentes	Cantidad (%)
Humedad	10,0-13,0
Almidón	70,0 – 75,0
Proteína (n x 5.7)	6,0 – 18,0
Fibra	1,5 – 2,0
Grasas	1,5 – 2,0
Azúcares minoritarios	1,0 – 2,0

Fuente: Antolin, 2001; Peña *et al.*, 2008.

Tabla 4. Componentes y peso específico de las regiones del grano de trigo.

Componente	Cubierta del grano	Cubierta de semilla	Aleurona	Endospermo	Germen
Grano (g/100 gdm)	10	2	8	82	3
Almidón y azúcares solubles (g /100 gdm)	14-16 ^a	9-11 ^a	10-14	80-85	19-21 ^a
Proteínas (g /100 gdm)	10-14	13-19	29-35	8-14	36-40
Lípidos (g /100 gdm)	1-3	3-5	7-9	2-3	13-17
Polisacáridos (no almidón) (g /100 gdm)	60-74	53-63	35-41	1-3	20-24
Ceniza (g /100 gdm)	3-5	9-15	5-15	0.5-1.5	4-6
Peso específico (kg/m ³)	180-260	-	160-260	1350-1400	-
Fracciones de molienda	Salvado	Salvado	Salvado	Harina	Germen

^aLa cantidad se refiere a azúcares solubles.

Fuente: Zhou *et al.*, 2014.

2.4. Clasificación del trigo

Existen diversos criterios para la clasificación del trigo, con base en la dureza del grano (duro, semiduro y suave); época de cultivo (invierno y primavera); funcionalidad de las harinas (panaderas, galleteras y pasteleras, y pastas), por el color del salvado (ámbar, blanco y rojo), % de proteína [alta (15-18), media (10-14), baja (6-9)] y características del gluten (Avendaño, 2002; Peña *et al.*, 2008; CANIMOLT, 2017). Sin embargo, la clasificación que ilustra más su participación en la industria panadera en México, clasifica al trigo harinero en cinco grupos según el tipo de gluten. Es evaluado mediante un farinograma a través de características como la de fuerza y extensibilidad. La clasificación se describe en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de grupos de trigo harinero utilizados en la industria alimentaria.

Clasificación del trigo/ Grupo	Tipo de gluten / Fuerza	Características / usos industriales	Textura del endospermo
I	Fuerte y elástico $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	Produce harina panificable. Industria mecanizada de panificación. Se usa como mejorador de trigos suaves.	duro o semiduro
II	Medio fuerte y elástico $W < 200 - \leq 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	Produce harina panificable. Industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado. Se usa como mejorador de trigos suaves.	duro o semiduro
III	Suave y extensible $W > 200 \times 10^{-4} \text{ J}$	No producen harinas panificables por sí solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes y medio fuertes. Industria galletera y elaboración de tortillas y frituras.	suave (blando)
IV	Corto y tenaz $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	No produce harinas panificables. Se necesita mezclar con trigos fuertes. Ideal para la industria pastelera y elaboración de galletas.	duro o semiduro (no panificable)
V	Tenaz, corto y cristalino con contenido de caroteno $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	No es panificable, adecuado para la industria de pastas, espaguetis y macarrones.	muy duro y cristalino (no panificable)

W=Fuerza del gluten expresada en Joules (J)

Fuente: Morales *et al.*, 2016; CANIMOLT, 2017.

2.5. Efecto del genotipo-ambiente en las características de calidad

La calidad final de los productos que se obtienen del trigo esta relacionada con la composición y estructura del grano cosechado, las determinan el genotipo, el ambiente y su interacción. Las prácticas de manejo empleadas son consideradas como parte del ambiente. Mediante la evaluación de los efectos de la interacción genotipo-ambiente involucrados en la expresión fenotípica, las características de producción, adaptación a ambientes y el comportamiento agronómico del cultivo de trigo se han podido aprovechar de manera

óptima la oferta de recursos del ambiente (agua, nutrientes, radiación y temperatura) permitiendo a su vez generar nuevas líneas y consecuentemente, variedades sobresalientes (De la Vega y De la Fuente, 2003; Hewstone, 2003; Slafer y Calderini, 2003; Caviglia *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2007; Salvagiotti, 2009; Seghezzo, 2014).

El color del grano no es afectado por el ambiente, sin embargo al aumentar el rendimiento del trigo mediante fertilización nitrogenada generalmente hay una disminución en el contenido de proteína. El índice de sedimentación, proteínas de alto peso molecular, pigmento amarillo, rendimiento de sémola y dureza del grano, pueden ser modificados a través del mejoramiento convencional (Rondanini *et al.*, 2012; Seghezzo, 2014).

Según Saint Pierre *et al* (2008) menciona que el estrés hídrico reduce el rendimiento de grano, el peso hectolítrico, el peso y el diámetro del grano debido a que la velocidad de desarrollo de la semilla aumenta con temperaturas entre 20 a 30 °C, reduciendo la duración del llenado del grano, resultando en granos de menor peso. En contraste temperaturas bajas disminuyen la velocidad de crecimiento linealmente, a medida que la temperatura cae por debajo de 15 °C. Periodos cortos de muy altas temperaturas (>30-32 °C) que reducen la tasa de crecimiento y provocan el final anticipado del llenado. Temperaturas moderadamente altas (20-30 °C) durante el período de pos-floración reducen el peso de los granos principalmente a través del acortamiento del llenado del grano, mientras que muy altas temperaturas (>30-32 °C), aún por unos pocos días, pueden reducir el peso del grano por medio de la reducción de la tasa de llenado y el cese temprano del período de crecimiento. Las características agronómicas como: el peso de mil granos, peso hectolítrico y actividad de la α -amilasa son influenciadas por el ambiente. La interacción genotipo-ambiente tiene importante efecto en la variación del peso hectolítrico, tiempo de desarrollo de la masa, algunas características del almidón, contenido de proteína en grano y gluten húmedo (Seghezzo, 2014).

La disminución del riego aumenta el contenido promedio de proteína en el grano. El déficit de humedad durante el llenado del grano aumenta el contenido de proteína (Saint Pierre *et al.*, 2008). La composición del grano puede ser afectada por la temperatura. El momento, intensidad y duración del estrés calórico pueden alterar la calidad final del grano, según el proceso de síntesis de componentes comprometido: carbohidratos, proteína, aunque algunos

informes mencionan, la posibilidad de una recuperación posestrés. En el caso del trigo el porcentaje de proteína aumenta con el aumento de temperatura (15-30 °C) a la par disminuye el contenido de almidón por efecto de esas temperaturas. Es decir, cuando disminuye un parámetro el otro aumenta. Sin embargo, el contenido de proteína de la harina no se ve alterado por cortos períodos de golpe de calor (Seghezzo, 2014).

Las altas temperaturas también afectan la calidad de la proteína, generalmente, aumentado la relación gliadina: glutenina, lo que provoca un debilitamiento de las masas. El impacto final sobre la calidad dependerá del balance entre el efecto positivo (mayor proteína) y el negativo (mayor relación gliadina: glutenina). La fuerza de la masa y el % de proteínas poliméricas inextraíbles se ven reducidos tanto por altas temperaturas como por condiciones de golpe de calor (Seghezzo, 2014). Por lo tanto, la interacción genotipo-ambiente tiene una significativa influencia en parámetros de calidad panadera (Tomás, 2003).

2.6. Calidad del grano de trigo

2.6.1. Análisis fisicoquímicos del trigo

La composición del grano de trigo puede variar de acuerdo a la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. En general el grano maduro está compuesto por carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales, agua, trazas de vitaminas y enzimas (Juárez *et al.*, 2014).

Los carbohidratos totales constituyen del 77,0 al 87,0% de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales, del 64,0-75,0% es almidón y el resto, carbohidratos solubles e insolubles, que constituyen la fibra dietética. El contenido de proteínas oscila entre 8,0 y 16,0% y la humedad entre 10,0 y 14,0%, estos componentes se especifican en la Tabla 6 (Antolin, 2001; Dendy y Dobraszczyk, 2004; Juárez *et al.*, 2014).

Tabla 6. Composición química del trigo (expresada en % sobre peso seco).

Componentes	Cantidad (%)
Humedad	10,0-14,0
Almidón	64,0 – 75,0
Proteína	8,0 – 16,0
Fibra	1,5 – 2,0
Grasas	1,5 – 2,0
Azúcares minoritarios	1,0 – 2,0

Fuente: Antolin, 2001.

2.6.1.1. Peso hectolítrico

Indica la densidad y/o el grado de llenado del grano y se define principalmente, por la morfología del grano, como característica de cada variedad. La siembra tardía, deficiencia de agua y de nitrógeno, así como el llenado de grano, pueden influenciar negativamente la morfología del grano y ocasionar bajos valores de este parámetro. Otros aspectos que influyen negativamente la morfología y el llenado de grano son las temperaturas altas, exceso de calor en riego y heladas tempranas en temporal ocasionando valores bajos en el peso hectolítrico (USW, 2013).

Este parámetro suele considerarse como un indicador del potencial rendimiento harinero que posee un lote de trigo durante la molienda. Los lotes con valores menores a 70 kg hL⁻¹ suelen mostrar bajos rendimientos de harina, por esta razón, durante la comercialización, el peso hectolítrico es factor decisivo para determinar el precio. En México los valores hectolítricos superiores a 76 kg hL⁻¹, se consideran como de primera calidad con alto rendimiento harinero (NMX-FF-036-1996; Peña *et al.*, 2008).

2.6.1.2. Peso de 1, 000 granos

Es también un indicador de calidad de las harinas y esto se basa, en que los granos grandes y densos contendrán mayor proporción de endospermo y por lo tanto, mayor rendimiento en el molido. En algunos casos, pesos por encima de 30 g se correlacionan con valores de proteína inferiores a 10,0%, debido a que esta característica no es influenciada

en su totalidad por la cantidad de proteína presente en el grano. Los valores considerados adecuados fluctúan de 26-30 g. (USW, 2013; Peña *et al.*, 2008).

2.6.1.3. Dimensiones del grano (Largo, ancho y espesor)

Las dimensiones de los granos dan una idea del valor potencial del grano e impactan en su comercialización, a través de su influencia en el peso hectolítrico y la molienda, codeterminando el rendimiento harinero. Los granos de trigo panadero son ovalados, redondos en ambos extremos, su longitud oscila de 6 a 9.5 mm, el ancho va de 2.1 a 3.5 mm. Lo anterior depende de la variedad y posición a lo largo de la espiga (Hoseney, 1991; USW, 2013; Manfreda y Acosta, 2014; Saucedo, *et al.*, 2017).

2.6.1.4. Color de grano (L, a * y b *)

El color del grano por lo general, es blanco o rojo y su coloración se debe a la clase de pigmentos que estén presentes en la parte superior del grano (salvado) (Hoseney, 1991). Estos dos colores básicos y sus diversas tonalidades son comúnmente utilizados en la clasificación de trigo. Las variaciones dentro de cada color son debidas al estrés hídrico y temperaturas (Hugo y Godiño, 2000).

En trigos panaderos la escala de 0-100 se emplea para medir su luminosidad (L), valores entre 80 y 95 son los más comunes. El tono se mide en dos escalas, en las cuales, cada una ópera de +60 a -60 para el rojo-verde (a*) y el amarillo-azul (b*), cuyos valores entre -1 a -2.5 y de 9 a 11 respectivamente son los mas comunes en estos trigos. Un valor de L elevado indica un color brillante y un valor de b* alto indica más amarillo (USW, 2013).

2.6.1.5. Humedad

Los molineros de harina agregan agua para ajustar la humedad a 14,0% antes de la molienda. Un nivel por debajo del 13,0% permite agregar más agua, lo que incrementa el peso del grano a moler, sin prácticamente aumentar el costo. El contenido de humedad es el principal factor a controlar durante el almacenado del grano de trigo, el rango considerado óptimo está entre 11,0-14,0%. También, es un indicador de la capacidad de

almacenamiento del grano, ya que los niveles reducidos de humedad en el grano, promueven un almacenamiento más estable. En este rango se evita tanto la presencia de microorganismos (hongos) y la germinación del grano. La humedad máxima para evitar los efectos del clima, el transporte y almacenamiento es de 14,5% (USW, 2013; Vázquez, 2013).

2.6.1.6. Cenizas

Se refiere al porcentaje del peso proveniente de minerales en el grano de trigo. La ceniza se encuentra concentrada principalmente, en el salvado y es una indicación del rendimiento y calidad del grano. Los granos pequeños “vacíos” o “chupados” usualmente tienen más cenizas, al ser más alto su porcentaje de salvado, que los granos grandes y “llenos”. Cuando el grano está sano, los minerales oscilan entre 1,5 y 2,0% dependiendo del cultivar (equivalente a 0,25% por cada 1,0% de daño) (Dexter *et al.*, 1996; USW, 2013).

2.6.1.7. Proteína

El contenido de proteína oscila entre el 9,0 y 14,0%. Las gliadinas y gluteninas comprenden hasta un 80,0% del total de esas proteínas, contenidas principalmente en el endospermo (Espí, 2013; Villanueva, 2014). Puede medirse rápida y fácilmente, por lo que es un factor importante para determinar el valor del grano de trigo al estar relacionada con muchas propiedades de procesamiento, como la absorción del agua, la dureza del gluten y volumen de masa. Este parámetro, está influenciado en 2/3 por el ambiente en su composición final y su genética lo influencia, solo en 1/3. El método químico más recurrido es su valoración del contenido en nitrógeno (Método Kjendahl) (Finney *et al.*, 1987; USW, 2013; Espí, 2013).

La primera aproximación a la caracterización, clasificación y nomenclatura de las distintas proteínas que se encuentran en el endospermo del grano de trigo, fue llevada a cabo por Osborne en 1924. Quien, mediante una extracción secuencial, las clasificó según su solubilidad (Tabla 7). Esta primera clasificación ha sido la base para las clasificaciones modernas de estas proteínas de reserva (Espí, 2013).

Tabla 7. Clasificación de proteínas de reserva según su solubilidad.

Tipo de proteína	Medio de solubilidad
Albúminas	Agua (15,0%)
Globulinas	Soluciones salinas (5,0%)
Gliadinas	Alcohol diluido (50,0%)
Gluteninas	Soluciones ácidas o alcalinas (47,0%)

Fuente: Espí, 2013.

Las gliadinas y gluteninas de la harina, forman el gluten. El cual, le confiere las propiedades viscoelásticas y cohesivas a la masa que la hacen tan deseable para la fabricación de panes, galletas y otros productos (Espí, 2013).

2.7. Harina de trigo

Es la base para la elaboración de cualquier producto de panificación. Entre mayor sea la calidad de la harina, mejor serán los productos que se elaboren a partir de ella. Una harina de calidad es aquella que puede desarrollar un gluten que interactúe con los ingredientes utilizados en la formulación, para obtener las características y rendimiento esperado en el producto final. La harina contiene entre 65,0 y 70,0% de almidones, pero su valor nutritivo fundamental está en el contenido proteínas, normalmente entre el 9,0 y 14,0%, además de contener otros componentes como celulosa, grasas, carbohidratos y minerales (Villanueva, 2014).

2.7.1. Harina refinada

Se entiende como el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos, por medio de procedimientos de trituración o molienda. En los cuales, se separa parte del salvado y del germen, y el resto, se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CANIMOLT, 2017). El trigo entero, rinde más del 72,0% de harina blanca y el resto es separado obteniendo dos subproductos principales que son el salvado y el germen destinados para consumo animal y la industria cosmética, respectivamente (CANIMOLT, 2017).

2.7.2. Harina integral o harina de grano entero

La AACCC (1995) la define como el producto resultante de la molienda del grano entero y seco, que mantiene tanto el germen, como el salvado. Es decir, mantiene la proporción inicial de todos los componentes del grano en la harina (Tabla 3). Contiene sustancialmente más fibras, vitaminas, minerales y fitoquímicos que la harina de trigo refinada (HTR). En consecuencia, se considera fuente importante de ingredientes nutricionales y funcionales para la salud humana, con beneficios en la reducción del riesgo de diabetes, enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer (Liu *et al.*, 2007).

Independientemente de los beneficios para la salud, el salvado puede causar cambios estructurales y sensoriales en los alimentos elaborados a partir de ella, lo que lleva a una menor aceptación del consumidor. Como resultado, hay dificultades para producir alimentos con harina integral que mantengan la funcionalidad y la calidad deseadas, equivalentes a los productos de granos refinados al generar muchos cambios en las propiedades de la masa, parámetros de procesamiento y características cualitativas del producto final (Kihlberg *et al.*, 2004).

La harina comercial integral en México no es por lo general, el resultado de la molienda antes mencionada, si no la mezcla de harina refinada y salvado, sin germen. Lo que hace que esta harina, este mal clasificada al denominarla integral (Ferruzi *et al.*, 2014; Bressiani, *et al.*, 2017).

2.8. Calidad de la harina de trigo

2.8.1. Análisis fisicoquímicos de la harina de trigo

2.8.1.1. Color de la harina (L, a * y b *)

La harina luego del molido y sin tratamiento adicional, es ligeramente amarilla, por la presencia de carotenoides. La concentración de estos pigmentos en el endospermo está genéticamente controlada, por lo que algunas variedades producen harinas más amarillentas. Los trigos duros (*T. durum*) tienen mayor concentración de carotenoides y el

color amarillo es una característica deseable para semolina y pasta. La blancura de la harina también puede estar influenciada por la cantidad de salvado que contenga, la naturaleza granular de las partículas del endospermo, y su color grisáceo. Para aumentar la blancura de las harinas es necesario usar trigos de endospermo más blanco, minimizar la presencia de salvado y lograr un tamaño de partícula pequeño. La naturaleza del pigmento que confiere a la harina el color gris está relacionada a la variedad de trigo y al contenido de proteínas del endospermo, por lo general cuanto mayor es el contenido de proteínas mayor es la coloración. Un valor de L elevado (90) indica color brillante, un valor de a* de -1 indica tonalidad ligeramente verde y un valor de b* alto indica más amarillo (30) (Peña *et al.*, 2008). El color de la harina se ve afectado por el color y el tamaño de la partícula del endospermo del trigo, así como por el contenido de ceniza de la harina, y a menudo afecta el color del producto final (Hugo y Godiño, 2000; Peña *et al.*, 2008; USW, 2013).

2.8.1.2. Humedad

El contenido de humedad también es un indicador de la capacidad de almacenamiento de la harina, ya que los niveles reducidos de humedad en la harina promueven un almacenamiento más estable. La harina que contenga más del 15,5% de humedad no puede ser comercializada ya que al tener una elevada humedad genera problemas de enranciamiento y presencia de hongos. Además, es un factor importante para determinar la cantidad de agua necesaria que requiere la harina y en consecuencia influye en un adecuado amasado (USW, 2013; Vázquez, 2013).

2.8.1.3. Cenizas

Es el porcentaje del peso proveniente de los minerales presentes en la harina, el cual, indica el rendimiento de la molienda y revela indirectamente, la cantidad de contaminación de salvado en la harina. La ceniza en la harina puede producir un color más oscuro en los productos terminados. Los productos que requieren harina particularmente blanca exigen un contenido bajo de ceniza (<1,5%), mientras que el contenido de ceniza de la harina integral de trigo es mayor (>2,0%) (NMX-F-007-1982; USW, 2013).

2.8.1.4. Almidón total

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón, que es el hidrato de carbono mayoritario en el grano de trigo maduro (65,0-70,0% de la harina de trigo). Las propiedades funcionales del almidón se deben esencialmente a la amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal de α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α (1-4) glucosídicos y la amilopectina, es un polímero ramificado. La cadena principal está formada por α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α -(1-4) (Leon y Rosell, 2007).

La molienda de los granos de trigo para obtener harinas puede afectar la integridad del almidón y producir lo que se denomina, almidón dañado. Cuando este, se encuentra en las harinas reduce la calidad de los productos panaderos, debido a su gran capacidad de absorción de agua en consecuencia altera significativamente, las propiedades reológicas y fermentativas de las masas. Lo que causa dificultades a lo largo de los procesos de producción y deriva en el deterioro de la calidad de los panificados. La harina de trigo dura (para pan) generalmente, tiene un nivel más alto de almidón dañado que la harina de trigo blando. Durante la cocción, el gluten se desnaturaliza bajo el efecto del calor, a la vez que los gránulos de almidón, forman un gel. El gas carbónico producido por la acción de la levadura permanece "atrapado" en el interior de la masa y forma los futuros alveolos de la miga (Barrera, 2014; Leon y Rosell, 2007; USW, 2013).

2.8.1.5. Índice de Zeleny

Es un parámetro de la calidad rápido, que emplea un mínimo materia prima. Este índice mide la capacidad de hidratación y expansión de las proteínas en una solución acuosa de ácido láctico. Debido a esto, las partículas de proteína disminuyen su velocidad de sedimentación, cuanto más lenta es ésta mayor será la calidad de las mismas. En base a lo anterior, se ha comprobado la alta correlación entre el índice Zeleny y el contenido en proteínas. Así, se relaciona a esta prueba con la calidad panadera y la convierte en una prueba sencilla que puede complementar otras pruebas de calidad en harinas (Zeleny, 1947; NTE INEN-ISO 5529:2013).

La harina se resuspende en una disolución de ácido láctico y 2-propanol en presencia de azul de bromofenol. Tras los tiempos de agitación y reposo indicados, el volumen del sedimento obtenido, correspondera a la sedimentación de las partículas de harina. Altos valores en el índice de Zeleny son consecuencia del alto contenido de gluten (11,0-15,0%) (Magaña-Barajas *et al.*, 2009) y la buena calidad de este, es determinada por las tasas de sedimentación más lentas. Estas tasas de sedimentación dependen de la composición de la proteína, que se correlaciona principalmente con el contenido de proteína, dureza del trigo y volumen del pan. Para éste índice se consideran valores de alta calidad aquellos que se encuentran entre los 65-70 mL de sedimentación (Hruškova y Faměra 2003; Hruškova *et al.*, 2004; Švec y Hruškova, 2014).

2.8.1.6. Proteína

El contenido de proteína para panificación oscila entre 11,5 a 14,5%. Es uno de los parámetros de calidad más destacables, un alto contenido (15,0-18,0%) en proteína es muy favorable para una mejor calidad harino panadera, para productos como el pan de molde, panecillos blandos y productos congelados leudados con levadura. Es preferible, un valor bajo de proteína (9,0%) para productos como bocadillos y pasteles; y un valor alto de proteína (Peña *et al.*, 2008; USW, 2013; Espí, 2013).

2.9. Calidad panadera de la harina de trigo

La calidad panadera es un concepto amplio debido a la gran variedad de productos que se obtienen a partir de la harina de trigo en la industria de la panificación. Contempla también que, en la obtención y evaluación del pan, no sólo está implicada la harina y el proceso de panificación, sino también el consumidor, cuyos criterios de calidad pueden ser diferentes. Normalmente, se puede relacionar el término de calidad panadera con la obtención de panes con alta relación volumen/peso de harina, miga uniformemente alveolada, textura de la corteza y características organolépticas adecuadas. Estas características están influenciadas por la fuerza y la extensibilidad de la masa, como parámetros de gran importancia para estimar la calidad panadera (Peña *et al.*, 2008; Villanueva, 2014).

2.9.1. Gluten

En la composición bromatológica de la harina, el aspecto más relacionado con calidad es el contenido de gluten, el cual, se refiere a las proteínas del trigo que le confieren a la harina propiedades únicas para obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y preparar productos horneados aireados y livianos como panes, pasteles y galletas. No hay harina sucedánea capaz de formar una masa con propiedades viscoelásticas similares. El gluten está formado en un 80,0% por dos tipos de proteínas contenidas en el endospermo: gliadinas y gluteninas (prolaminas). Diversos modelos se han propuesto a través de los años para tratar de explicar la manera en la que los componentes del gluten interactúan, pero aún existe una brecha en el conocimiento y entendimiento de la exclusividad del gluten y su rol en la elaboración de diferentes productos horneados (Villanueva, 2014).

Las proteínas del gluten son las responsables de las diferencias en las propiedades de panificación de harinas de trigo de diferentes calidades panaderas. También, se acepta que el volumen del pan está correlacionado con el contenido de proteína de la harina. Sin embargo, no hay consenso acerca de qué aspectos de las proteínas son los responsables por estas diferencias (Espí, 2013).

2.9.1.1. Proteínas del gluten

Son un conjunto de proteínas de reserva del trigo llamadas prolaminas por su alto contenido de prolina y glutamina. Comprenden hasta un 80,0% de las proteínas contenidas en el endospermo, y confieren las propiedades reológicas únicas de la masa. De acuerdo con su nivel de estructura protéica y peso se subdividen en gliadinas y gluteninas (Espí, 2013; Villanueva, 2014).

Las gliadinas son proteínas monoméricas que se clasifican en cuatro grupos, α -, β -, γ - y ω -gliadinas, según su movilidad electroforética en geles de poliacrilamida en condiciones disociantes a pH's ácidos (A-PAGE) (Figura 2). Las ω -gliadinas son ricas en glutamina, prolina y fenilalanina y están estabilizadas mediante interacciones hidrofóbicas, ya que no pueden formar puentes disulfuro. Las α -, β - y γ -gliadinas son ricas en residuos de cisteína y metionina, y se estabilizan por medio de puentes de hidrógeno, también pueden formar

puentes disulfuro. Se les conoce como proteínas solubles en alcohol y fenol. Tienen un peso molecular de 28 a 78 kDa y forman redes cuando se hidratan. Además, muestran poca o ninguna resistencia a la extensión y son las responsables de la cohesión de la masa. Presentan un polimorfismo intervarietal muy marcado, es decir, presentan una diversidad proteica entre dos o más variedades. Por tanto, sus patrones electroforéticos no son afectados por condiciones ambientales (Hoseney, 1994; Shewry *et al.*, 2003; Espí, 2013; Villanueva, 2014).

Las gluteninas son un grupo heterogéneo de proteínas poliméricas de hasta 20 subunidades. Los polímeros de gluteninas están entre las macromoléculas más grandes presentes en la naturaleza, con pesos moleculares que pueden exceder el millón de Daltons. Se ha visto que se pueden establecer interacciones no covalentes, como puentes de hidrógeno entre estos macropolímeros y las gliadinas. Estas proteínas proporcionan a la masa la propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1994; Espí, 2013; Villanueva, 2014). En presencia de un agente reductor en electroforesis en geles de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE) se permite diferenciar dos tipos de gluteninas según su peso molecular. Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (SG-APM) que presentan pesos moleculares entre 70, 000 y 90, 000 Da. Las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (SG-BPM), con un rango de 20, 000 a 45, 000 Da, como se muestra en la Figura 2 (Singh y Khatkar, 2005; Espí, 2013).

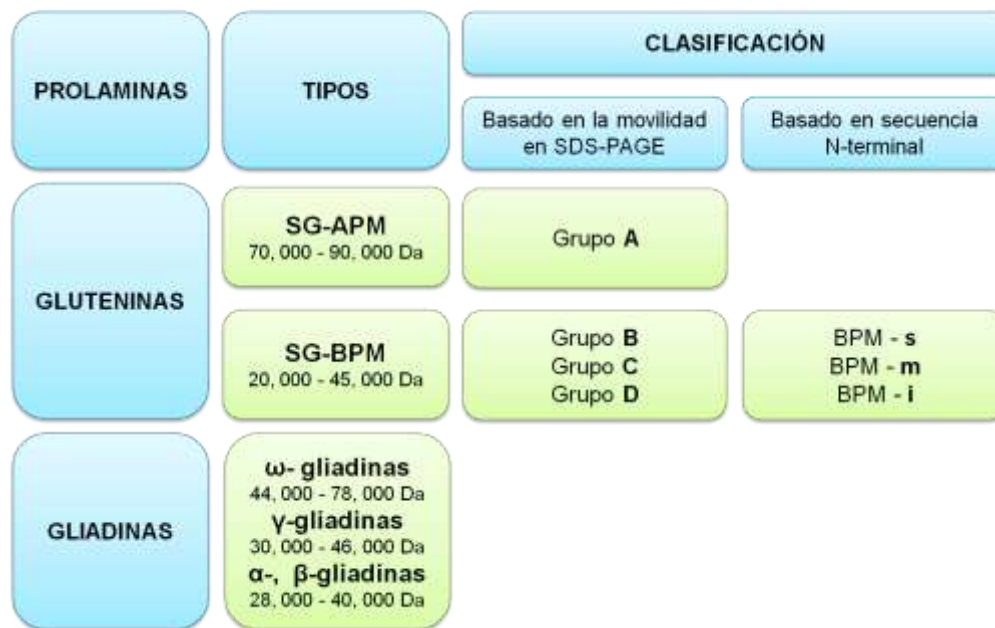


Figura 2. Esquema de la clasificación de las gliadinas y gluteninas en función del peso molecular, movilidad electroforética y estructura tridimensional.

Fuente: Espí, 2013.

Las SG-APM comprenden algunas subunidades que han sido ampliamente estudiadas gracias a su baja complejidad. Componen el 10,0% del total de gliadinas y gluteninas, pero se han reportado que tienen una gran influencia en la calidad panadera. Dicha influencia va a depender en gran medida de su variación alélica, es decir, del tipo y el número subunidades que dependiendo de cada variedad de trigo panadero pueden ser entre 3 y 5 alelos. Todas las SG-APM están compuestas aproximadamente de un 35,0% de glutamina (Q), 20,0% de glicina (G) y 10,0% de prolina (P) (Singh y Khatkar, 2005; Espí, 2013). Según la clasificación de Payne y Corfield (1979) por su movilidad electroforética se agrupan en el grupo A de gluteninas (*Glu-A1*).

Las SG-BPM incluyen un gran número de polipéptidos cuya estructura, organización y relación con la calidad panadera no se conocen con suma claridad. Componen el 40,0% de las proteínas de reserva en el endospermo del grano de trigo. Se subdividen en tres grupos según su movilidad en SDS-PAGE: *Glu-B1*, *Glu-C1* y *Glu-D1* (Figura 2). De acuerdo a la secuencia N-terminal de la proteína, la mayoría de las SG-BPM del grupo B- y C- se subdividen en tres subgrupos SG-BPM-s, SG-BPM-m y SG-BPM-i, en base al primer

aminoácido de la secuencia de la proteína madura: serina, metionina e isoleucina, respectivamente (Payne y Corfield, 1979; D'Ovidio y Masci, 2004; Espí, 2013).

2.9.2. Marcadores bioquímicos de las gliadinas y gluteninas

Los marcadores bioquímicos más comunes son las isozimas y las proteínas de reserva del grano de trigo. Se caracterizan por ser abundantes en las semillas, tienen la ventaja de que el grado de polimorfismo detectado es elevado. La base genética de estas proteínas se ha estudiado exhaustivamente con el objetivo de relacionar su base bioquímica y molecular con sus propiedades funcionales. Los trigos comunes (*Triticum aestivum*) (duros y suaves) son hexaploides, es decir, contienen tres pares de genomas A, B y D cada uno con siete cromosomas y no son afectadas por el ambiente. Las SG-APM están localizadas en los brazos largos del cromosoma 1, las SG-BPM y gliadinas (α -, β - y γ -) en los brazos cortos del cromosoma 3 (Hoseney, 1994; Espí, 2013; Villanueva, 2014).

La naturaleza poliploide (tres o más juegos completos de cromosomas) del trigo panadero tiene importantes consecuencias para la composición y análisis de las proteínas del gluten. Los genomios contienen genes que codifican para proteínas equivalentes y que frecuentemente, están localizados en posiciones similares en los cromosomas homólogos (son un par de cromosomas, uno de la madre y uno del padre, que se emparejan dentro de una célula durante la meiosis) (Gianibelli *et al.*, 2001; Griffiths *et al.*, 2005; Shewry *et al.*, 2003).

Estas proteínas son altamente polimórficas, es decir, una proteína tiene muchas formas, del Griego *Poli* = muchas y *Morfos* = formas. Por lo tanto, cada formade un gen polimórfico se le denomina alelo. Un gen, es una unidad de información en una región del ADN que codifica para una proteína funcional. Un locus o en su plural loci, corresponde a una posición fija de un gen, que codifique para alguna característica fenotípica, en un cromosoma y así, puede emplearse como un marcador (marcador genético) de calidad. En biología evolutiva, se usan estos términos para identificar posiciones de interés sobre las determinadas secuencias de un gen. Así, una variante de la secuencia del ADN de un gen en un determinado locus, se llama alelo y es cada una de las formas alternativas, que puede tener un mismo gen y que se diferencian en su secuencia de nucleótidos y puede

manifestarse en modificaciones concretas sobre la función del gen. Es decir, se producen variaciones en características heredadas como, por ejemplo, el tipo de proteínas en los trigos (García, 2014). Los genes polimórficos, de acuerdo al dogma de la expresión génica darán por consecuencia, proteínas polimórficas. Por lo tanto, las proteínas del gluten (gliadinas y gluteninas) son también proteínas polimórficas. Donde cada variante o subunidad entre las diferentes variedades o genotipos de trigo, igualmente se denominan alelos. Los cuales, han sido estudiados en SDS-PAGE y se han relacionado con algunas características de calidad panadera. Por lo que pueden considerarse como, Marcadores Bioquímicos, para calidad panadera (García, 2014; Slack, 2014).

En la actualidad, existen diversos métodos analíticos para el estudio de las proteínas de reserva del grano de trigo tales como: centrifugación, cromatografía, análisis de la secuencia de aminoácidos y electroforesis de proteínas. La electroforesis vertical en una dimensión, es decir cuando se separan las subunidades por peso molecular bajo su corrimiento en un campo eléctrico, en geles de poliacrilamida en condiciones disociantes, es la de mayor uso en estudios de diversidad por presentar una buena resolución de las subunidades de las proteínas de estudio (SDS-PAGE). El estudio de las proteínas de almacenamiento de los granos de trigo, en cuanto a su diversidad genética, se basa en el hecho que las proteínas homólogas, y que al separarse en un gel producirán bandas similares o diferentes, y eso permite identificar subunidades de gluteninas de alto peso molecular (SG-APM), subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (SG-BPM), y ω -gliadinas entre líneas y/o variedades. Así, como marcador bioquímico, las proteínas de reserva tienen una baja influencia ambiental, aunque se han reportado algunas excepciones. Además, esto permite un análisis rápido de decenas de muestras por ser un método simple y de bajo costo comparado con otras técnicas. El polimorfismo de las proteínas de reserva de granos de trigo se emplea para identificar y distinguir variedades cultivadas y silvestres de numerosas especies, una de ellas es el trigo (Dreisigacker *et al.*, 2014).

Actualmente, éstas se emplean en la identificación de las diversas subunidades de las gliadinas y gluteninas y son una herramienta complementaria que permite identificar una gran variedad de proteínas. La calidad panadera está estrechamente relacionada con la calidad y cantidad de gliadinas y gluteninas presentes en la harina (Villanueva, 2014).

Existen diversas nomenclaturas que clasifican a estas proteínas (gliadinas y gluteninas) según su movilidad electroforética. La SDS-PAGE permite identificar SG-APM, SG-BPM, y ω -gliadinas. Las nomenclaturas generadas por Payne y Lawrence, (1983) para SG-APM, Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003) para SG-BPM, Jackson *et al.* (1996) para ω -gliadinas. En el proceso de panificación las masas deben poseer la fuerza y extensibilidad suficiente para permitir retener el gas que se produce durante la fermentación (Peña *et al.*, 2008; Espí, 2013). Así existen, diferentes alelos que se han relacionado con dicha fuerza y extensibilidad de la masa. Cada uno de ellos tiene efectos en la calidad de la masa que varían en función del tipo, número de alelos así como de las combinaciones entre ellos. Los loci que tienen el mayor efecto en la calidad de la masa son, el *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* de las SG-APM y *Glu-A3* y *Glu-B3*, de las SG-BPM. Los alelos con mayor efecto positivo en la calidad de la masa son el 2* y 1 (*Glu-A1*); 7* y 8 (*Glu-B1*), 5 y 10 (*Glu-D1*); *c*, *b* y *d* (*Glu-A3*); *h* y *g* (*Glu-B3*). El locus *Glu-A1* (1 y 2*), *Glu-B1* (7*+8, 17+18) y *Glu-D1* (5+10) son los más estudiados, cada uno de ellos, tiene un mayor efecto con respecto a otros alelos en calidad panadera, al relacionarse con un mejor comportamiento en extensibilidad y fuerza y hacen a las masas ideales para panificación. Los locus *Glu-A3* (*b* y *d*) y *Glu-B3* (*g* y *h*) no son tan estudiados, sin embargo, se ha comprobado su gran relación con la fuerza y extensibilidad en las masas (Martínez *et al.*, 2012; Jin *et al.*, 2013; Ibrahim, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Belil *et al.*, 2014; Gulia y Khatkar, 2014; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016).

Las combinaciones del loci *Glu-1* y *Glu-3* definen hasta en un 75,0% la calidad panadera de las variedades de trigo. Las combinaciones del loci *Glu-1* que se relacionan con calidad panadera superior son 1 ó 2* (*Glu-A1*), 7*+8, 7+9 y 17+18 (*Glu-B1*) y 5+10 (*Glu-D1*) en cualquiera de las combinaciones entre ellos. Para el loci *Glu-3*, solo *c* (*Glu-A3*) y *h* (*Glu-B3*) tienen efecto en la fuerza y extensibilidad de las masas y las proponen con una alta calidad. Finalmente, las combinaciones de ambos loci definen la calidad panadera de las variedades, un ejemplo es la combinación 2, 7+9, 5+10, *c*, *g* y *b* de la variedad Rebeca F2000, la cual, se ha relacionado con un gluten fuerte con excelente extensibilidad que la hacen adecuada para la panificación mecanizada (Martínez *et al.*, 2012; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016).

2.9.3. Marcadores moleculares para gliadinas y gluteninas

Dada la importancia de la variabilidad de las distintas proteínas de reserva del endospermo del grano de trigo en la calidad panadera, se han desarrollado un gran número de marcadores moleculares para facilitar la selección de variedades que portaran la mejor composición de proteínas en los procesos de mejora de la calidad. Los marcadores basados en la secuencia de ADN (marcadores moleculares), son una herramienta complementaria efectiva en el proceso de identificación de las distintas proteínas de reserva del endospermo del grano de trigo (Liu *et al.*, 2012).

La publicación de las secuencias de muchos genes de SG-APM ha permitido que muchas de aquellas subunidades que se han reportado con una movilidad electroforética parecida, sean fácilmente analizadas por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Los genes A, B y D están compuestos por un par de cromosomas x y y . por lo que de cada gen existe, una variante x y una y . Gracias a esto, se han desarrollado marcadores de PCR para el locus *Glu-A1*, que han permitido establecer la diferencia existente entre las subunidades Ax1, Ax2* o Ax2 (De Bustos *et al.*, 2000; Ma *et al.*, 2003; Giraldo *et al.*, 2010). El locus *Glu-B1* es el que más se ha relacionado con calidad panadera mediante SDS-PAGE, pero mediante PCR se han identificado aún más variaciones de este locus y se han establecido marcadores moleculares para poder determinarlos entre las distintas variantes de esta subunidad Bx7. Actualmente, se han así descrito de esta misma subunidad, identificada por SDS-PAGE, tres variaciones diferentes, que son Bx7, Bx7* y Bx7^{OE} (Espí, 2013) y de otras subunidades de movilidad, ligeramente superiores. Tal es el caso, de Bx13 con la que se pueden confundir esta anterior, debido a que en ocasiones, la acompañan subunidades By (D'Ovidio *et al.*, 1997; Radovanovic y Cloutier, 2003; Butow *et al.*, 2004; Rodríguez-Quijano *et al.*, 2010; Espí *et al.*, 2012). Para el locus *Glu-D1* se han desarrollado marcadores moleculares que permiten distinguir las subunidades Dx2, de las subunidades del *Glu-A1*, que se confundían por su movilidad en SDS-PAGE. Así, se han diferenciado los pares de subunidades Dx5+Dy10 y Dx2+Dy12, de buena y mala calidad panadera, respectivamente (Liu *et al.*, 2009).

2.9.4. Pruebas reológicas

2.9.4.1. Mixograma

Existen diferentes pruebas para evaluar el comportamiento reológico de la masa. El mixógrafo se relaciona con la fuerza de la masa y la prueba de Kieffer Rig, mide el esfuerzo aplicado a la masa con la deformación producida o con la elasticidad (Espí, 2013). Los métodos empíricos para determinar las propiedades reológicas de la masa, como la fermentación, son puramente descriptivos, los parámetros obtenidos de la muestra bajo tal análisis, dependen de las condiciones de ensayo impuestas (cantidad de harina analizada, geometría de la unidad mezcladora y parámetros de funcionamiento del dispositivo, entre otras). Sin embargo, son fáciles de interpretar y pueden representar un hito importante para los procesadores, al evaluar la calidad de la harina analizada (Munteanu *et al.*, 2016).

El mixograma (Figura 3) se obtiene a partir de un mixógrafo que trabaja durante ocho min y registra en un gráfico, la resistencia de la masa, es decir el comportamiento que tiene la masa cuando hay un sobreamasado. El punto máximo de resistencia esta asociado a con el tiempo óptimo de amasado (TOA). Los valores óptimos del tiempo óptimo de amasado se sitúan entre dos minutos, y cuatro minutos. Valores más bajos denotan debilidad de la masa, mientras que tiempos mayores, implican requerimientos energéticos excesivos en el amasado. La altura del pico en el gráfico parece ser el valor más influenciado por la capacidad de absorción de agua y el contenido en proteína de la harina, es decir el contenido de proteína genera mayor resistencia al amasado (Munteanu *et al.*, 2016).

2.8.5.2.1.2. *Altura máxima del pico.* Es la distancia en mm desde la base del mixograma hasta el pico máximo de la curva (Figura 3) e indica la resistencia al amasado de cada masa evaluada (Munteanu *et al.*, 2016).

2.8.5.2.1.3. *Altura de la curva a los tres minutos de haberse alcanzado el pico.* Es la distancia en mm desde la base del mixograma hasta la curva, tres minutos después de alcanzarse el pico máximo (Figura 3). Indica la estabilidad de la masa al sobreamasado. Entre menos caída tenga este parámetro mas resistente es la masa (Munteanu *et al.*, 2016).

2.1.5.2.1.1. *Tiempo óptimo de amasado (TOA)*. Es el tiempo en segundos desde el inicio del amasado, hasta que la masa alcanza la consistencia máxima. En el mixograma se mide como el tiempo transcurrido desde el inicio del mixograma, hasta que se alcanza el pico. Este parámetro estima la energía necesaria para la formación de la masa (Figura 3) (Munteanu *et al.*, 2016).

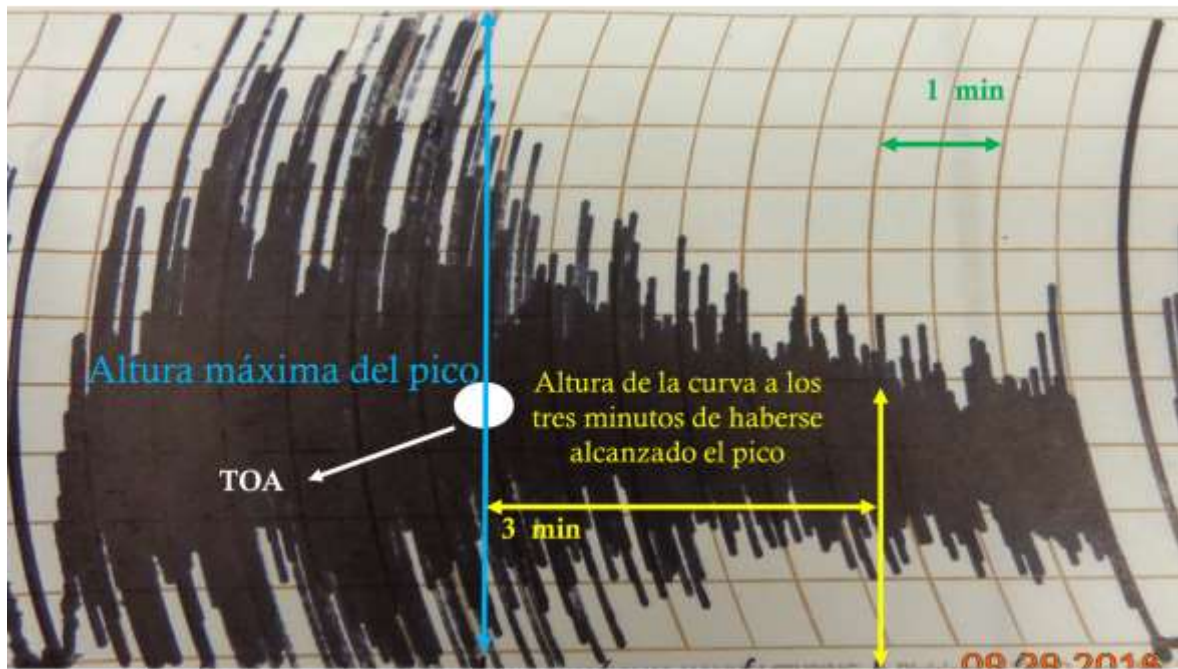


Figura 3. Parámetros del mixograma.

Fuente: Munteanu *et al.*, 2016

2.9.4.2. Prueba de Kieffer Rig

Es una prueba de microextensibilidad de la masa diseñada para identificar el comportamiento reológico de las masas a través de diferentes tiempos de fermentación, que registran a la vez, la fuerza (FMA), extensibilidad (EXT) y trabajo de deformación de la masa (EST). La FMA es la resistencia máxima de la masa al trabajo que se le aplica, la EXT es el límite elástico máximo de la masa y el EST es la cantidad de fuerza aplicada a cada mm de masa. Se inicia con 30 g de harina que es mezclada durante el tiempo óptimo de amasado, y sometida a fermentación en tiempos de 15, 30, 45, 60 hasta 120 min, que posteriormente, son evaluadas mediante el dispositivo Kieffer Rig (AACC, 1995). Se han reportado valores de fuerza, extensibilidad y trabajo de deformación de 81.63 g, 82.42 mm

y 1396.4- 8251.4 g mm, para harinas refinadas respectivamente (Islas *et al.*, 2005; Vásquez-Lara *et al.*, 2009).

2.9.4.3. Prueba de volumen de fermentación en cilindro

Es el proceso enzimático de más trascendencia en la fabricación del pan. La obtención de un pan voluminoso con miga uniformemente alveolada y color satisfactorio no sólo depende de la calidad de la harina empleada. Sino también, viene condicionada por el adecuado control de toda la serie de transformaciones químicas y enzimáticas de la fermentación. La cual, tiene lugar desde que comienza el amasado, hasta los primeros momentos de la cocción (Olmedo, 1964).

La fermentación es catalizada por enzimas que no forman parte de la harina de trigo, sino que han de ser aportados por agentes exteriores tales como, las levaduras. Éstas son microorganismos unicelulares ampliamente utilizados en diversas fermentaciones industriales. Existen numerosas especies de estos microorganismos, mismas que pueden tratarse de levaduras en el aire, suelo o en la superficie de distintos frutos, entre otras superficies. En panadería se utiliza principalmente la levadura de destilería, que es la especie *Saccharomyces cerevisiae*. En la actualidad se seleccionan especies de levadura especialmente adaptadas a la fermentación de los azúcares originales de la harina (Olmedo, 1964).

En el curso de este proceso la levadura transforma principalmente, el almidón y la maltosa en alcohol y dióxido de carbono, además de algunos productos intermedios entre los que predomina la glicerina. La actividad fisiológica de la levadura no se reduce a la transformación de productos fermentables, sino simultáneamente ésta se multiplica. Para el desarrollo de su actividad vital, la levadura necesita unas condiciones de temperatura, humedad y acidez adecuadas, siendo estos factores del medio, decisivos en el control de la fermentación. Son también indispensables, además del sustrato hidrocarbonado, otros factores nutritivos como nitrógeno soluble y sales minerales. El sulfato cálcico, carbonato amónico y el cloruro amónico, especialmente este último, estimulan la actividad fermentativa (Olmedo, 1964).

2.9.5. Prueba de panificación

Esta prueba evalúa los productos obtenidos de mezclas de las harinas de cereales y leguminosas o harinas integrales más agua potable, fermentados o no, pudiendo contener: sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudantes, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares (CANIMOLT, 2017).

Se pueden emplear o no, aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso (CANIMOLT, 2017).

La Cámara Panificadora calcula que más del 30,0% de las panaderías tradicionales ahora pertenecen al sector informal que crece en México, las cuales producen casi el 40,0% de las ventas. La panadería mexicana, se está concentrando en microempresas y su ubicación es principalmente, urbana (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.1. Productos de Panadería Industrial

Se obtienen por procesos continuos de fabricación, estandarizados, con alto grado de automatización y en lotes de mayor escala. Pueden utilizar aditivos para alimentos y comercializarse tanto a granel como preenvasados. En dicha producción, se utilizan harinas con gluten fuerte y extensible (muy elástico) (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.2. Productos de Panadería Tradicional

So productos elaborados mediante un proceso artesanal, básicamente manual, de formas variadas y nombres de uso común y con vida útil corta. Utilizan ocasionalmente, aditivos para alimentos de acuerdo al producto y se venden a granel o preenvasados. Las harinas utilizadas son de gluten medio fuerte y extensible (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.3. Productos de Bollería

Se obtienen al cocer mediante horneado la masa fermentada y preparada con harina de trigo, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, leudantes y aditivos para alimentos e ingredientes opcionales. Para su elaboración se utilizan materiales con gluten medio fuerte y extensible (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.4. Pan Blanco

Es el producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada por acción de leudante, agua y sal comestible, acondicionadores y mejoradores de masa. Se les puede adicionar o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos. Su gluten es fuerte y extensible (muy elástico) (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.5. Pan de Harina Integral

Resulta de la panificación de la masa fermentada de harinas integrales, por la acción de leudante, con harina de trigo o harinas de cereales integrales o de leguminosas, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos. Generalmente, las harinas integrales requeridas son de gluten medio fuerte y extensible (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.6. Pan Dulce

Producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche. Se somete a un amasado, fermentado, moldeado y cocción al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles. El gluten utilizado es medio fuerte y extensible (CANIMOLT, 2017).

2.9.5.7. Pastel o Panqué

Producto que se somete a batido y horneado, preparado con harinas de cereales o leguminosas, azúcares, grasas o aceites, leudante y sal. Puede ser adicionada o no de huevo,

leche, crema batida, frutas y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos. El gluten en las harinas utilizadas debe ser medio fuerte y extensible (CANIMOLT, 2017).

III. JUSTIFICACIÓN

La evaluación la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas de harinas de grano entero de trigo (*Triticum aestivum* L.), aporta información relevante para la identificación de variedades sobresalientes, en dicha área industrial. Estas pruebas pueden fortalecerse con una prueba de fermentación no convencional y menos costosa, más factible, que aporte resultados sobre la fuerza del gluten durante la fermentación. Por lo que se sugiere, como una posible herramienta en la identificación de aquellas variedades que pudieran proporcionar mejores parámetros industriales. Esto puede ser útil para que las instituciones encargadas de generar e industrializar las variedades de trigo en México, sean más eficientes, ya que el conocimiento de las proteínas que influyen la fuerza y extensibilidad de la masa, permite definir la calidad panadera, como su destino final.

La importancia de esta investigación radica, en el impacto industrial que pudiera tener en un futuro la información a obtenerse. Al predecir el uso final de las variedades se hace más eficiente y rápida su generación, se pueden obtener variedades con calidad panadera, por lo que su reproducción en consecuencia subsanaría, el déficit en la producción de trigo harinero en México.

La identificación de variedades con características importantes no solo de rendimiento, si no que cumplan las demandas de calidad panadera que la industria necesita, podrían suplir las necesidades económicas y alimentarias en México.

Esta investigación tuvo como objetivo principal, el evaluar la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas de harinas de grano entero de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en la República Mexicana.

IV. HIPÓTESIS

La evaluación de la calidad panadera mediante el uso de marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas en las harinas de grano entero, permite identificar los comportamientos diferenciales entre genotipos en el proceso de panificación. Estos componentes dictan la calidad panadera y permiten predecir de manera más asertiva, el destino final de los materiales en dicho sector industrial.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas de harinas de grano entero (HGE) de trigo (*Triticum aestivum* L.) de las variedades Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008.

5.2. Objetivos específicos

1. Analizar la calidad de las variedades de trigo mediante pruebas fisicoquímicas a sus granos y HGE.
2. Caracterizar la calidad panadera de las HGE de las variedades de trigo, a través del uso de marcadores bioquímicos (gluteninas y ω -gliadinas) relacionados con fuerza y extensibilidad de las masas, mediante electroforesis en condiciones disociantes en geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE).
3. Confirmar la calidad panadera de las HGE con la identificación del marcador molecular Bx7 por PCR.
4. Determinar la calidad panadera de las HGE obtenidas, mediante pruebas reológicas (Mixograma y Kieffer Rig) y la prueba de panificación.
5. Adaptar una prueba de volumen de fermentación en cilindro como prueba no convencional, para evaluar la calidad reológica de la masa de las HGE en cuanto a su capacidad de retención de CO₂.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Material

Se evaluaron las variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008 proporcionados por la empresa “Resource Seeds International” S. de. R.L de C.V.

Para comparar los resultados de las pruebas realizadas, se emplearon cuatro harinas comerciales como testigos: una harina refinada marca Manitoba y otra harina integral marca Selecta, y en otras pruebas, otras dos harinas solicitadas por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Hermosillo, Sonora, al molino “La Fama, S.A. de C.V.”. Las cuales fueron harinas sin aditivos [harina refinada los gallos (HRG) y harina integral los gallos (HIG)]. De cada una se emplearon 3 kg.

Para la identificación de los marcadores bioquímicos se emplearon las variedades Pavón 76, Ópata M85 y Pitic 62 como testigos, donadas por CIMMYT por su distribución alélica que se describe en la Tabla 8.

Tabla 8. Distribución alélica de las variedades testigo.

Variedad	SG-APM			SG-BPM			SGli
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-D3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Gli-B1</i>
Pavón 76	2	17+18	5+10	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
Ópata M85	2*	13+16	2+12	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>i</i>	<i>a</i>
Pitic 62	1	7+8	2+12	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

Fuente: CIMMYT, 2015.

Finalmente, para corroborar el alelo que codifica para la proteína Bx7 se empleó el siguiente marcador molecular cuya descripción observa en la Tabla 7.

Tabla 9. Descripción del marcador molecular Bx7.

Primer	Longitud	Importancia
F-5'-CCAACTTCTTCACAGCAGTC-3'	373 bp	Se relaciona con calidad panadera regular.
R-5'-GTCGGAGAAGCTTTTCATC-3'		

Fuente: Espí *et al.*, 2013.

6.2. Lugar de estudio

Las variedades fueron sembradas en el ciclo otoño-invierno 2014-2016 en los Localidades de Mexicali, Baja California; Buenaventura, Chihuahua; Tarimoro, Guanajuato y Queréndaro, Michoacán (Figura 4).

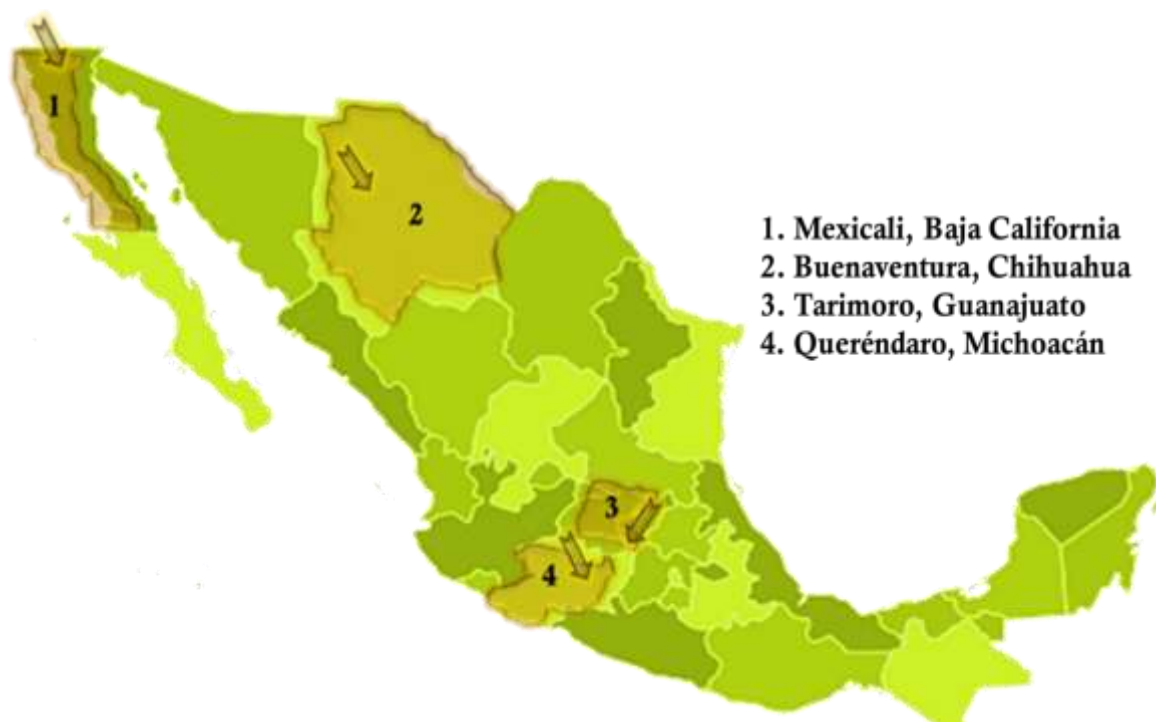


Figura 4. Localidades de México donde se evaluaron las variedades.

Cada uno de los Localidades en donde se evaluaron las variedades de trigo, presentaron variabilidad en las condiciones ambientales (Tabla 10).

Tabla 10. Descripción de factores ambientales y ubicación geográfica de los Localidades.

Municipio	Mexicali, Baja California	Buenaventura, Chihuahua	Tarimoro, Guanajuato	Queréndaro, Michoacán
Latitud	32° 39' 48''	29° 50' 00''	20° 17' 39''	19° 48' 33''
Longitud	115° 28' 04''	107° 28' 00''	100° 45' 20''	100° 53' 15''
Altura (msnm)	8	1518	1770	2400
Precipitación (mm)	90-135	308	744	1165
Suelo	Yermosol Xerosol	Kastañozems lúbricos Litosoles	Inchú coluvial Podzólico	Podzólico
Clima	Desértico cálido	Árido extremoso	Semicálido subhúmedo	Templado
Temperatura (°C)	Máxima 45 Mínima 3	Máxima 41.5 Mínima 17.5	Máxima 30 Mínima 5	Máxima 37 Mínima 4.9

Fuente: CONAGUA, 2016.

Se utilizaron 3 kg de grano de cada variedad, de cada uno de los distintos Localidades trabajados. En el caso de los testigos también se partió de 3 kg de harina. Todos los análisis se hicieron por triplicado, para muestras y testigos.

Las características fisicoquímicas de los granos se realizaron en el laboratorio de Calidad de los Productos Agropecuarios, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Igualmente, la obtención de las harinas de grano entero (HGE) se realizó en dicho laboratorio y posteriormente, se realizaron las pruebas bromatológicas de las harinas obtenidas en dicho laboratorio.

Las pruebas de calidad pandera se realizaron en el laboratorio de Cereales, Área Alimentos de Origen Vegetal del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Hermosillo, Sonora, México.

Las pruebas de fermentación se llevaron a cabo en laboratorio de Cereales, Facultad de Química en Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de México.

La caracterización de la calidad panadera mediante marcadores bioquímicos se realizó en el laboratorio de Laboratorio de Química de Cereales y Calidad de Cereales, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, Texcoco, México.

Finalmente, la caracterización de la calidad panadera mediante marcadores moleculares se desarrolló en el laboratorio de Calidad de los Productos Agropecuarios y en el laboratorio de Fitosanidad, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

6.3. Metodología

En la Figura 5, se describe la metodología general usada para la caracterización de las variedades empleadas en esta investigación.

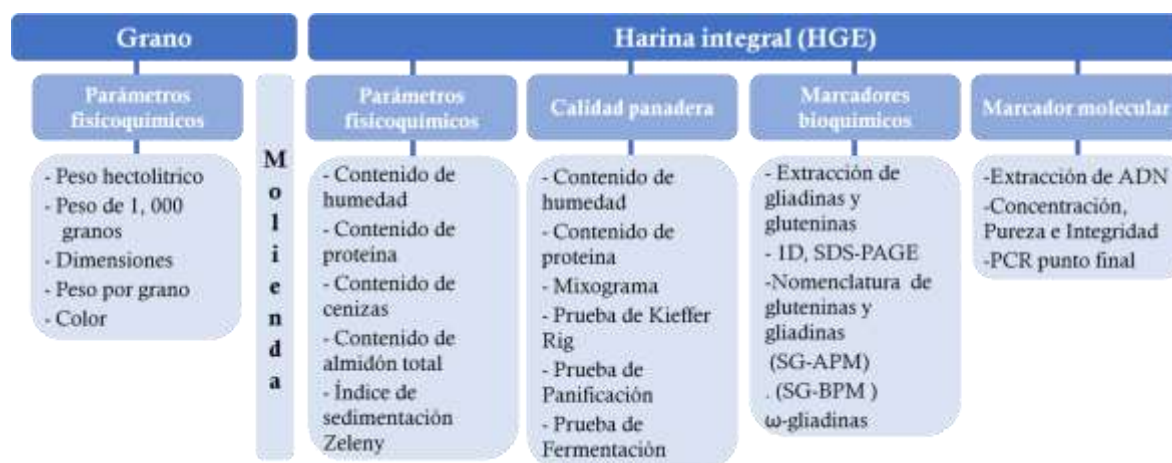


Figura 5. Metodología para la caracterización de las variedades Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008 de cuatro a Localidades de México.

6.3.1. Análisis Fisicoquímicos del grano

6.3.1.1. Peso hectolítrico

Consiste en determinar la masa del grano por unidad de volumen según la Norma NMX-FF-036-1996. Se realizó en una balanza de densidad (peso específico) marca Seedburo

Equipment Co., Chicago IL., y un rasero de madera de 30 cm de largo, 5 cm de ancho y 3 mm de espesor. La densidad del grano (peso hectolítrico) se reportó en kg/hL.

6.3.1.2. **Peso de 1, 000 granos**

Se realizó según la metodología descrita por Castro *et al.* (2011), la cual consistió en obtener el peso de 1000 granos de muestra expresados en gramos. Se obtuvo el promedio de 10 muestras de 100 granos cada una.

6.3.1.3. **Dimensiones del grano (Largo, Ancho y Espesor)**

Se realizó según la metodología descrita por Ortíz y Ojeda (2006), se midió con un vernier digital modelo 8 marca Mitotuyo. Se registraron las dimensiones largo, ancho y espesor expresados en mm y se emplearon 50 granos de cada muestra al azar.

6.3.1.4. **Color de grano (L, a * y b *)**

Se midió de acuerdo a las especificaciones de HunterLab (2015) mediante un equipo Chroma Meter CR-400 (Konika Minolta). La luminosidad (L) se midió en la escala de 0 al 100 correspondiendo 0 al negro, su “cromaticidad” o tono, en dos escalas en las cuales cada una opera de -60 a +60, para el rojo-verde (a*) los valores positivos indican color rojo y los negativos verde, para el amarillo-azul (b*) los valores negativos corresponden al azul y y los positivos amarillo.

6.3.2. Molienda del grano (obtención de las HGE)

Se obtuvo harina de grano entero (HGE) para las variedades Cal Blanco F2011 (HCB), Matchett F2011 (HM) y RSM-N Norman F2008 (HN) por molienda directa según lo descrito por Bressiani *et al.* (2017) con algunas modificaciones a partir de 3 kg de grano. Los granos no pasaron por un acondicionamiento, ni tratamiento alguno. Se sometieron a molienda por espacio de 30 s, se colectó la harina y pasados 30 min, se volvió a moler por 30 s. Cada muestra se procesó de la misma manera en un molino modelo Nixtamatic NCM1 marca INMEZA, México. Una vez obtenida la HGE, se pasó por un tamiz malla

número 50 (ASTM) (0.3300 mm) y se almacenó en bolsas tipo ziploc en ultracongelación (-20 a -25°C) hasta su análisis.

6.3.3. Análisis fisicoquímicos de la harina

6.3.3.1. Color de la harina (L, a * y b *)

Las muestras de harina se colocaron en un molde redondo de 1 cm de grosor, se enrasaron y fueron medidas con el equipo Chroma Meter CR-400 (Konika Minolta) de acuerdo a las especificaciones de Hunter Lab (2015). La luminosidad (L) se midió en escala de 0 al 100 correspondiendo 0 al negro, su “cromaticidad” o tono, en dos escalas en las cuales cada una opera de -60 a +60, para el rojo-verde (a*) los valores positivos indican color rojo y los negativos verde, para el amarillo-azul (b*) los valores negativos corresponden al azul y y los positivos amarillo.

6.3.3.2. Humedad Método 925.09 de la AOAC

Se determinó el % de humedad según lo descrito por el Método 925.09 de la AOAC (1999) a partir de 3 ± 0.0005 g de muestra a 105°C por 2 h.

6.3.3.3. Cenizas

A partir de 2 ± 0.0005 g de muestra según lo descrito por el Método oficial 942.05 de la AOAC (1999) se determinó el % de cenizas.

6.3.3.4. Contenido de almidón total

Se realizó con un kit de MEGAZYME Total Starch Assay Procedure K-TSTA según las especificaciones del fabricante. El cual, utiliza un método colorimétrico para determinar el almidón total en cereales expresado en mg/mL. Se basa en los métodos AOAC 996.11 (1999) y AACC 76-13.01 (1976), que se refieren a la hidrólisis del almidón contenido en la harina por acción de varias enzimas, la α -amilasa, que convierte el almidón en maltodextrinas. Éstas son convertidas a D-glucosa por acción de la α -amiloglucosidasa hasta convertirla en D-gluconato.

6.3.3.5. Índice de Zeleny

El principio de esta prueba se basa en la capacidad de las gliadinas y gluteninas de hidratarse en un medio ácido. Se midió el volumen de sedimento obtenido en una probeta estándar y el resultado se expresó en mililitros. Cuando la sedimentación es muy rápida indica que el gluten formado es de poca calidad, mientras que una sedimentación lenta y con mayor esponjamiento, indica un gluten de mejor calidad, por esto, se relaciona a esta prueba con la calidad panadera. La harina se resuspendió en una disolución de ácido láctico (1,8%), 2-propanol (20,0%) y azul de bromofenol (0,4%), que después de 15 min de agitación y 5 min de reposo, mostró los volúmenes de sedimento de las partículas de cada harina evaluada (mL) (NTE INEN-ISO 5529,2013).

6.3.3.5.1. Proteína Método 954.01 de la AOAC

Se definió según lo descrito por el (1999) empleando 1 ± 0.0005 g de harina digerida en 5 ± 0.0005 g de catalizador Kjeldahl y 200 mL de H₂SO₄ concentrado. Para el % de proteína de trigo en grano se multiplicó el contenido de N por el factor de 5.7.

6.3.4. Marcadores bioquímicos

6.3.4.1. Extracción secuencial de las gliadinas y gluteninas del endospermo

La extracción de gliadinas y gluteninas se llevó a cabo siguiendo el método de Singh *et al.* (1991) con modificaciones de Peña *et al.* (2004). Los cuales, se basan en sus diferentes solubilidades, en alcohol y en soluciones ácidas o alcalinas respectivamente. Para ello, se partió de 20-25 mg de harina.

6.3.4.2. Electroforesis en geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato sodio (1D-SDS-PAGE) para análisis de gliadinas y gluteninas

La electroforesis SDS-PAGE se realizó mediante el método de Singh *et al.* (1991) con modificaciones de Peña *et al.* (2004). Se realizó una electroforesis discontinua en un tampón Tris-HCl-SDS a 12 V por 20 horas por gel. Para visualizar las gliadinas y

gluteninas se utilizaron geles verticales de 20 X 23 cm con separadores de 1 mm de espesor. Para el gel separador se empleó una concentración del 15,0% y para el de agrupamiento, 4,8%.

Los geles obtenidos se sumergieron en ácido tricloroacético 12,0%, 5 min. Después se tiñeron con azul de bromofenol en etanol (0,02%) por cuatro h en agitación constante. Se utilizaron 250 mL de la solución de teñido por gel

6.3.4.3. Interpretación del gel

6.3.4.3.1.1. Digitalización y conservación del gel

Se realizaron según las especificaciones de Peña *et al.*, 2004.

6.3.4.3.1.2. Nomenclatura de gliadinas y gluteninas

Para identificar las variantes alélicas se utilizaron las variedades Pavón 76, Ópata M85 y Pitic 62 (Tabla 7). Las cuales, han sido por CIMMYT ampliamente estudiadas en cuanto a la diversidad alélica de gliadinas y gluteninas.

La nomenclatura usada para la identificación de las subunidades de gluteninas de alto peso molecular utilizada fue la propuesta por Payne y Lawrence (1983). Las nomenclaturas de Gupta y Sheperd (1990), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003) fueron empleadas para identificar las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular. Para la caracterización de las ω -gliadinas se siguió la nomenclatura de Jackson *et al.* (1996).

6.3.4.4. Análisis de la distribución alélica de las gliadinas y gluteninas en la población estudiada

Para la identificación de la distribución alélica de gliadinas y gluteninas., se examinó la diversidad genética de cada locus mediante la fórmula de Nei (1973), $H = 1 - \sum P_i^2$.

Donde:

H = Índice de variación genética de Nei

P_i = Frecuencia de un alelo en particular en un locus.

La frecuencia alélica (0-100,0%), se estimó al sumar las frecuencias de los alelos en las variedades individuales y se dividió entre el total de variedades estudiados.

6.3.5. Marcadores moleculares

6.3.5.1. Extracción del ADN genómico

Para obtener el ADN genómico se empleó el buffer comercial *Plant DNAzol®* Invitrogen siguiendo el método descrito por el fabricante (Hernández *et al.*, 2007).

6.3.5.2. Concentración y pureza del ADN genómico

Para su determinación se empleó el espectrofotómetro Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis. De este modo la concentración de la muestra de ADN se calculó teniendo en cuenta el valor de absorbancia a una longitud de onda de 260 nm, como mínimo $1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Mientras que la relación de absorbancias $A_{260/280}$ y $A_{260/230}$ se utilizaron para evaluar la pureza de las muestras en cuanto a contaminantes al momento de la extracción. La relación $A_{260/280}$ es muy estable y se considera que un ADN de pureza óptima tiene un valor entre 1.8-2.0. Un ADN de pureza aceptable debe tener al menos una relación $A_{260/280} > 1.6$. La cuantificación permitió identificar ADN de 1.7 a 2.0 de calidad, el mejor cuantificado fue evaluado para determinar su integridad (Ríos-Sánchez *et al.*, 2016).

6.3.5.3. Integridad del ADN genómico

La electroforesis en gel de agarosa al 0,8% (p/v) se corrió a 80 V por 50 min y los geles se tiñeron con bromuro de etidio con una concentración de $1 \mu\text{g}/\text{mL}$, esto permitió la evaluación de la integridad de las muestras de ADN. Se consideró que una muestra de ADN es íntegra cuando su perfil en una electroforesis en gel de agarosa corresponde a una banda bien definida y luminosa. El nivel de degradación de una muestra está determinado por la pérdida de definición de la banda predominante y el acompañamiento de una estela a lo largo del gel. Se conservaron las mejores extracciones valoradas a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta su empleo para realizar la multiplicación de amplicones (Ríos-Sánchez *et al.*, 2016).

6.3.5.4. Análisis de la SG-APM (alelo Bx7)

Para la identificación de la SG-APM (Bx7 = 373 bp) se emplearon los cebadores generados por Espí (2013). La mezcla de reacción se realizó en un volumen final de 25 μ L. Donde, se incluyeron 10.5 μ L de agua libre de DNAsas y RNAsas, 0.75 μ L del primer F-5'-CCAACTTCTTCACAGCAGTC-3', 0.75 μ L de primer R-05'-TCGGAGAAGCTTTTCATC-3', 0.50 μ L de AND y 12.5 μ L de Taq Polimerasa (Master mix marca Promega).

La amplificación se llevó a cabo en un termociclador, modelo 3Prime marca Techne® con el siguiente programa: ciclo inicial de 94°C/120 s, 30 ciclos de hibridación (desnaturalización a 94°C/45 s, alineamiento a 67°C/45 s y una extensión a 72°C/90 s) con una extensión final a 72 °C, 10 min. Se analizó el resultado de la amplificación por electroforesis en geles de agarosa al 2,0% teñidos con 1 μ L de bromuro de etidio que se corrieron a 80 V por 55 min y se visualizaron en un transiluminador fotodocumentador modelo Photo-Doc-It marca Imaging Systems.

6.3.6. Calidad panadera

6.3.6.1. Proteína método 46-13 AACC

Se realizó de acuerdo al método 46-13 AACC (1995) y se partió de 0.2 ± 0.0005 g de muestra y una digestión con 2 g de catalizador y 5 mL de ácido sulfúrico concentrado.

6.3.6.2. Humedad método 44-19 AACC

Se definió según el método 44-19 AACC (1995). Se emplearon 2 ± 0.0005 g de muestra y una temperatura de 130°C.

6.3.6.3. Mixograma

Se realizó bajo el Método 54-40A de la AACC (1995). Para lo cual se utilizó el modelo National MFG. Co. Lincoln, Nebraska y se partió de 30 g de harina. Esta prueba duró 8 min y el amasado se fue registrando en un gráfico del comportamiento de resistencia de la masa

(mixograma). Una vez obtenido se identificaron de manera visual los tiempos óptimos de amasado (TOA) de las harinas en segundos.

6.3.6.4. Prueba de Kieffer Rig

Para realizar esta prueba se empleó el Método 54-10 de la AACC (1995) mediante un analizador de textura TA-XT2 con el aditamento SMS/Kieffer dough extensibility Rig, Stable Micro Systems Ltd, England. También se empleó un fermentador modelo National MFG. Co. Lincoln, Nebraska programado a 30°C con 90,0% de humedad. El texturómetro fue programado a una velocidad de prueba 2.0 mm s⁻¹, con una distancia de prueba de 10 cm y una velocidad de retardo de 3.0 mm s⁻¹. Se inició con 30 g de harina y una solución salina al 2,0%, los parámetros evaluados en la masa fueron: trabajo de deformación (EST) (g.mm), fuerza (FMA) (g) y extensibilidad (EXT) (mm).

6.3.6.5. Prueba de panificación

Se conoce como prueba de masa directa y se realizó de acuerdo al método 10-10B AACC (1995). Se considera la mejor forma de corroborar el comportamiento panadero de una harina y mide el peso (PEP) (g), volumen pan (VOP) (cm³) y volumen específico del pan (VOE) (g.cm³). Para determinar el volumen de pan se empleó el método 10.05 AACC (1995) que mide el volumen con semilla de colza.

6.3.6.6. Prueba de fermentación

Se desarrolló una prueba de fermentación, la cual, mide el comportamiento de las masas en un proceso inducido de fermentación con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (1.1 en 50 g de harina). Durante la fermentación el CO₂ generado expande gradualmente la masa, esta expansión se midió en mL, es decir en mL de volumen de expansión generados por dicho gas (35°C, con una humedad relativa 90,0%) (Siddiqi *et al.*, 2016). En esta prueba se evalúa el peso inicial (PiM), pH inicial (pHi) y temperatura inicial (TiM), peso final (PfM), pH final (pHf) y temperatura final (TfM). El volumen de fermentación (FER) se tomó cada 15 min , por espacio de una h. De los cuales, el FER se refiere al aumento del volumen de expansión en mL en las masas evaluadas. La técnica se describe a continuación:

Procedimiento:

- 1) Para estimar la cantidad de agua a que se emplearon, con los datos de cantidad de proteína y humedad de cada muestras de harina, se convirtió a 14,0% base húmeda dichos resultados.
- 2) Pesar 50 g de harina y agregar la cantidad de agua estimada en el paso 1, 20-22°C para añadir posteriormente 1.1 g de levadura (Levadura liofilizada Nevada Oro).
- 3) Mezclar por 15 s con una espátula hasta formar una mezcla uniforme.
- 4) Bolear la masa por 2 min.
- 5) Retirar del bol con la espátula de caucho toda la masa (sin dejar residuos) y bolear, por 30 s adicionales.
- 6) Registrar, de la masa, su peso inicial (P_iM), pH inicial (pHi) y temperatura inicial (T_iM). El tiempo empleado en estas mediciones debe ser el mismo para todas las muestras.
- 7) Dar forma a la masa de un rollo o rodillo, lo más homogéneo posible y con el diámetro adecuado para que entre en la probeta manteniendo una longitud similar entre todas las masas formadas.
- 8) Colocar la masa en la probeta de 250 mL, debe tocar el fondo.
- 9) Registrar el volumen inicial en las marcas de la probeta.
- 10) Colocar las probetas en el fermentador a 35°C.
- 11) Registrar el aumento del volumen de fermentación (FER) cada 15 min, hasta completar una hora.
- 12) Finalmente, registrar de la masa el peso final (P_fM), pH final (pH_f) y temperatura final (T_fM). Este paso debe realizarse inmediatamente, después de registrar el último tiempo de fermentación. Dicho registro, debe hacerse en un tiempo no mayor a 10 s, en cada muestra.

6.4. Diseño experimental y análisis de datos

El diseño experimental de campo fue un diseño de bloques completos al azar. Las muestras de cada genotipo se obtuvieron aleatoriamente de tres surcos para generar una muestra final compuesta de 3 kg.

6.4.1. Análisis fisicoquímicos de los granos y de las HGE obtenidas

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, la variable de estudio fueron las diferentes variedades, el factor de bloqueo fueron los Localidades. Se realizó un ANDEVA y cuando las F fueron significativas, se efectuó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el Software SAS 9.0 (2002).

6.4.2. Análisis de los marcadores bioquímicos y variabilidad genética

Las bandas de las proteínas obtenidas en los geles SDS-PAGE fueron numeradas según su movilidad, estudiándose la presencia o ausencia de cada una de ellas. La Variabilidad genética de cada proteína se determinó por la formula de Nei.

6.4.3. Análisis del marcador molecular Bx7.

Para los resultados de los geles del marcador molecular Bx7, el resultado se confirmó por la presencia o ausencia de la banda indicada.

6.4.4. Análisis de los parámetros de calidad panadera

Se realizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las variables de estudio fueron las HGE de las variedades Cal Blanco F2011, Mattchet F2011 y RSM-Norman F2008 y las comerciales. Las variables de respuesta fueron humedad (HUM), proteína (PRO), tiempo óptimo de amasado (TOA), cantidad de agua absorbida (CAA), trabajo de deformación de la masa a los 45 y 90 min (EST), fuerza máxima de la masa (FMA), extensibilidad de la masa (EXT), tiempo de resistencia máxima de la masa (REM₄₅, REM₉₀), peso de pan (PEP), volumen de pan (VOP), volumen específico de pan (VOE), volumen de fermentación a los 15, 30, 45 y 60 min (FER), Peso inicial de la masa (PiM),

pH inicial de la masa (pH_i), pH final de la masa (pH_f), temperatura del agua (TEA), temperatura de la masa (TEM), Peso final de la masa (P_fM) y pH final de la masa (P_fM). A los datos obtenidos del análisis de varianza (ANDEVA), cuando las F fueron significativas, se les realizó una prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($P \leq 0.05$), mediante el programa SAS 9.0 (2002). Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson ($P \leq 0.05$) y un análisis de componentes principales ($P \leq 0.05$) con el programa Minitab 17 (2010).

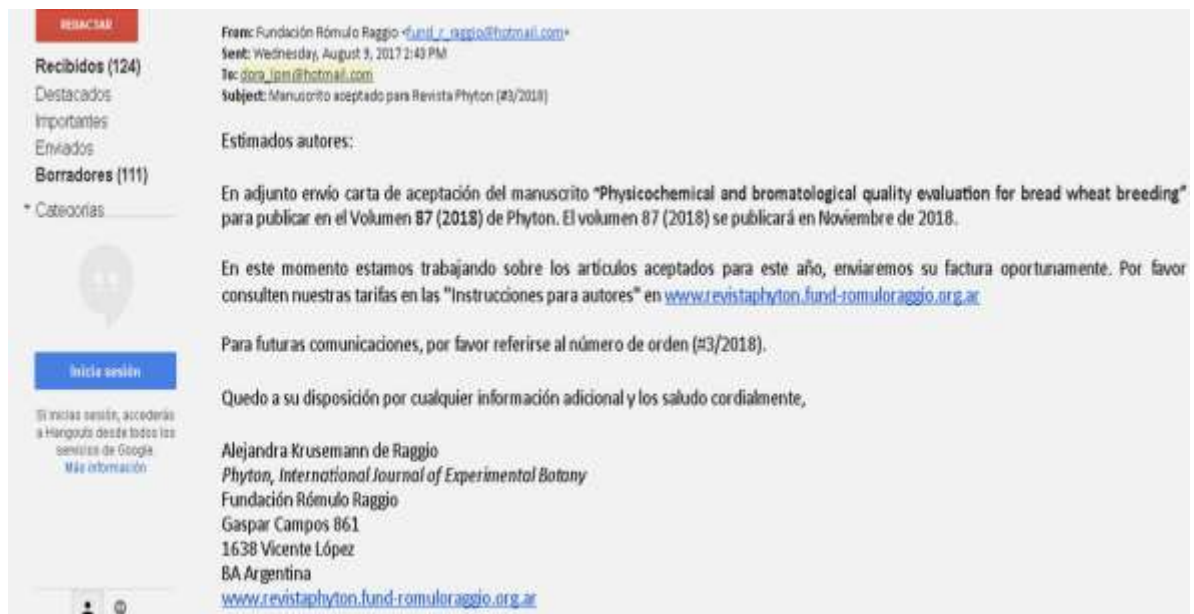
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la metodología plantada (Figura 5) para el desarrollo del presente trabajo, se obtuvieron resultados que se incluyeron en la redacción de dos artículos científicos. Paralelamente, se generaron resultados sobre la calidad panadera por la prueba de panificación, pruebas reológicas y la prueba que se propuso para el volumen de fermentación en cilindro que se presentan los resultados no publicados. Así también, se realizó un marcador molecular para la proteína Bx7 relacionada con calidad panadera regular o intermedia. Finalmente, se obtuvo un artículo científico aceptado y otro actualmente en revisión. Los cuales, se presentan como resultados publicados y el resto de la información ya mencionada, se detalla como no publicados.

7.1. Resultados publicados

7.1.1. Artículo aceptado. *“Physicochemical and bromatological quality evaluation for bread wheat breeding”*

Artículo aceptado en la Revista Phytón para publicación en Noviembre, 2018.



Φ Y T O N

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPERIMENTAL BOTANY
REVISTA INTERNACIONAL DE BOTANICA EXPERIMENTAL

ISSN 0031 9457

Founded 1951 by *Fundada en 1951 por*

Miguel Mario Raggio & Nora Moro de Raggio

Editor-in-Chief: Dr. Carlos A. Busso

Publicada por/ *Published by:* FUNDACIÓN RÓMULO RAGGIO

Director General: Dr. Mario Miguel Raggio

Gaspar Campos 861, 1638 Vicente López (BA) ARGENTINA

TEL: 54-11-4796-1456 / TELFAX: 54-11-4791-0868

www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/ / fund_r_raggio@hotmail.com

FECHA: 08.08.2017

Dora L. Pinzón-Martínez e-mail: dora_lpm@hotmail.com

Food and Agricultural Technology

Agricultural Science Faculty

Mexico State Autonomous University

Toluca, México.

De nuestra mayor consideración:

Tenemos el agrado de informarle que el manuscrito **“Physicochemical and bromatological quality evaluation for bread wheat breeding”**

por los autores: **Juan J. Calixto-Muñoz, María D. Mariezcurrena-Berasain, Ana T. Gutiérrez-Ibáñez, Mario Albarrán-Mucientes, Artemio Balbuena-Melgarejo y Dora L. Pinzón-Martínez** ha sido aceptado para publicación en el Vol 87 (2018) de Φ YTON INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPERIMENTAL BOTANY.

Saludamos a Ud. muy atentamente,

Alejandra Krüseemann de Raggio

Por los Editores de Φ YTON

1 **TITLE PAGE**

2 Physicochemical and bromatological quality evaluation for bread wheat breeding

3
4 Juan J. Calixto-Muñoz¹, María D. Mariezcurrena-Berasain¹, Ana T. Gutiérrez-Ibáñez¹,
5 Mario Albarrán-Mucientes², Artemio Balbuena-Melgarejo¹, Dora L. Pinzón-Martínez^{1*}

6 ¹ Food and Agricultural Technology, Agricultural Science Faculty, Mexico State Autonomous
7 University, Toluca, México. ² Resource Seeds International, S. of R.L. of C.V. Juan Aldama
8 100, Colonia Centro, San Miguel Chapultepec C.P. 52240, State of Mexico. MEXICO.

9
10 ***Running title***

11 Physicochemical and bromatological wheat quality

12
13 *Table 1.* Mean squares for analyses of variance per genotype, combination and
14 physicochemical variables of industrial quality from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and
15 RSM-N Norman F2008 Genotypes.

16 *Table 2.* Mean squares for analyses of variance per genotype, combination and bromatological
17 variables from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-N Norman F2008 genotypes.

18 *Table 3.* Comparison of means of outstanding genotypes with statistically higher values from
19 Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-Norman F2008 for physicochemical and
20 bromatological variables.

21 *Table 4.* Comparison of means for locality for physicochemical and bromatological variables.

22
23 *e-mail- dora_lpm@hotmail.com, 01 52 7222965529 Ext. 133.

24

1

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49

Physicochemical and bromatological quality evaluation for bread wheat breeding

Evaluación de la calidad fisicoquímica y bromatológica para la producción de trigos
panaderos

50 **ABSTRACT**

51 Wheat is one of the most important protein sources for human being. Several food products
52 are elaborated from this cereal, such as bread. Mexican Wheat breeding programs are focus
53 on to identify those genotypes with high yields and bread quality. Therefore, the aim of this
54 study was to evaluate the environment affects over the Physicochemical and Bromatological
55 quality parameters from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-Norman F2008 wheats
56 sown on experimental fields at Mexicali, Baja California, Querendaro, Michoacán and
57 Tarimoro, Guanajuato, Mexico on autumn-winter cycle for two consecutive years 2014-2016
58 under irrigation conditions. Grain Hectolitic weight (GHL), Weight of 1,000 grains (WTG),
59 Grain Length, Width and Thickness, Flour Colour (L, a* and b*), Protein %, Starch %, Ashes
60 % and Zeleny sedimentation tests (IZ) were made and subjected to an analysis of variance and
61 means least significant difference comparison. Wheat genotypes showed significant
62 differences in most of the variables on genotype, locality and interaction, even though all the
63 values were related to good bakery quality. GHL, MTG and most of the physicochemical
64 quality values were strongly affected by the environmental factors over the genotype. The
65 three genotypes showed acceptable ZI values, especially RSM-Norman F2008 grains from all
66 the localities studied. Finally, these genotypes presented suitable Physicochemical and
67 Bromatological qualities and are recommended for irrigation conditions.

68

69 **Key words:** Protein; Bakery Quality; Zeleny Index; Interaction; Grain.

70

71

72

73

74

75 **RESUMEN**

76 El trigo es uno de las fuentes más importantes de proteína para el ser humano. Varios
77 productos alimenticios son elaborados con este cereal, como el pan. Los programas de
78 mejoramiento de trigo en México se enfocan en identificar a aquellos genotipos con altos
79 rendimientos y calidad panadera. Por lo tanto, el principal objetivo de la presente
80 investigación fue evaluar los efectos ambientales sobre los parámetros de calidad
81 fisicoquímica y bromatológica para los genotipos Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-
82 Norman F2008, sembrados en diferentes campos experimentales mexicanos. Las localidades
83 estudiadas fueron los Municipios de Mexicali, Baja California, Queréndaro, Michoacán y
84 Tarimoro, Guanajuato en México. Los genotipos se sembraron dos años consecutivos durante
85 los ciclos otoño-inverno 2014-2016, bajo condiciones de riego. Se estudiaron los parámetros
86 de Peso Hectolitro (PHL), Peso de 1, 000 granos (PMG), Longitud, Ancho y Espesor del
87 grano, Color de la Harina (L, a* y b*), así como contenidos de Proteína, Almidón, Cenizas e
88 Índice de Zeleny (ZI), mismos que se sometieron a un análisis de varianza y a una
89 comparación de medias. Los genotipos de trigo mostraron diferencias estadísticamente
90 significativas en la mayoría de las variables en cuanto a genotipo, localidad y en la
91 interacción, incluso cuando todas las variables se relacionaron con una buena calidad
92 panadera. Las variables PHL y PMG junto con la mayoría de los parámetros fisicoquímicos
93 de calidad fueron fuertemente afectados por los factores ambientales sobre el genotipo. Los
94 valores de IZ fueron aceptables en los tres genotipos estudiados, especialmente los granos de
95 RSM-Norman F2008 para todas las localidades analizadas. Finalmente, los tres genotipos
96 presentados mostraron valores fisicoquímicos y bromatológicos adecuados y son
97 recomendados para sembrarse bajo condiciones de riego.

98

99 **Palabras claves:** Proteína; Calidad Panadera; Índice de Zeleny; Interacción; Grano.

4

100 **INTRODUCTION**

101 Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most cultivated worldwide cereal and its grain is the most
102 important protein source for human being. It has been used to produce flour and grits to create
103 several food products such as bread, cookies and pastas mainly. Now a day, there are several
104 researches in wheat quality that study several topics, such as physicochemical analysis, or
105 agronomic parameters, where bromatological tests could complement these as more
106 economical and accessible tests. Accordingly, wheat flour quality is very important to
107 guarantee to obtain an appropriate product. This quality is determined through chemical,
108 physical, technological and rheological analyses from flour wheat (Pistón *et al.*, 2011; de la
109 Horra *et al.*, 2012; Švec & Hruškova, 2014; Švec & Hruškova, 2015). Then, Physicochemical
110 and Bromatological wheat quality is crucial for bread marketing and most of it, is influenced
111 by environmental conditions. Environmental conditions include certain parameters meters
112 such as about sea level, a temperature, rainfall, sun radiation, among others. Phenotype is
113 determined by genotype and its environmental interaction. So, phenotype could be quantified
114 by those physical and chemical analyses, but its genotype is analysed only by genetic probes.
115 Successful bread wheat breeding programs are focus on commercialize good physicochemical
116 quality grains in order to obtain the minimum environmental variation over bread wheats (de
117 la O Olán *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2014). Even though, bread quality research
118 sometimes has to overcome various difficulties for example not enough sample and not
119 having available equipment in order to analyse and determine quality testing, such as
120 rheological parameters (Extensibility and viscoelasticity probes). In these cases,
121 physicochemical and bromatological qualities are accessible options to evaluate flour
122 industrial destiny and wheat quality (de la Horra *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2012; Bonafede *et*
123 *al.*, 2015). Measures of Grain Hardness within physiochemical characteristics (Flour Colour,
124 Grain and Flour moisture, grain physical characteristics), Agronomic parameters (Hectolitr

125 weight, Mass of 1,000 grains) and some Bromatological Analyses (Protein, Starch, Zeleny
126 Sedimentation Test, Ashes) could be available choices. These tests could be excellent options
127 to evaluate bread quality if there are no Farinograph or Extensograph equipment available.
128 Zeleny Sedimentation Values indicates protein quality by an easy methodology, which
129 indicates low quality gluten proteins by a fast sedimentation volume. Grain Hardness, is a
130 vital estimation for flour quality, as harder it results as more energy consumption during
131 grinding will be needed. At the same time, bromatological assays give good Protein and
132 Ashes information from flour and grain characteristics, respectably (de la O Olán *et al.*, 2010;
133 Barak *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2014; Švec & Hrušková, 2015). Added to this, industrial
134 wheat flour quality is based on gluten proteins quality (80-85% of total grain proteins), which
135 are hydrated and oriented to form it. This protein composition is responsible for the
136 viscoelastic dough properties (Rheological), such as dough mixing, strength and extensibility.
137 Wheat grain proteins are classified by their solubility into Prolamins (Gliadins and Glutenins,
138 soluble in alcohol), Albumins (Water soluble) and Globulins (Salt soluble). Hence, the
139 environment effect over Gliadin and Glutenin protein expression (Allelic variation) results on
140 different viscoelastic dough properties (Phenotype) and its industrial final use (breads,
141 cookies, cakes or tortillas) (Martínez *et al.*, 2010; Izadi & Yazdi, 2012; Randhawa *et al.*,
142 2013; Hernández *et al.* 2013;). Thereby, the main objective of the present research was to
143 evaluate the physicochemical, agronomical and bromatological parameters from three bread
144 wheat genotypes harvested at different localities.

145 **MATERIALS AND METHODS**

146 In the present study three strong gluten bakery type wheat genotypes were evaluated, Cal
147 Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-N Norman F2008. Genotypes were given by
148 Resource Seeds International (RSI) and they have been proposing for flour extraction.
149 Genotypes were sown on experimental fields at different localities Baja California,

150 Michoacan and Guanajuato States, Mexico in the autumn-winter cycles 2014-2016, where
151 these localities were the treatments studied. First locality, Mexicali, Baja California has
152 extreme arid climate, 90-135 mm mean rainfall, 22.6-27.5 °C mean temperature and a
153 maximum temperature from 15-27.5 °C in October-March. It is located between 32° 39' 48''
154 Northern latitude and 115° 28' 04'' west longitude from Greenwich meridian, at a height of 8
155 masl (CONAGUA, 2016). Yermosole and Xerosole soils are predominant. Tarimoro is
156 located on Guanajuato State, semi-warm humid climates, yearly mean rainfall from 730-680
157 mm and yearly mean temperature of 20-15 °C. It is located between 20° 17' 39 '' Northern
158 latitude and 100° 45' 20'' west longitude, at a height of 1, 770 masl. Querendaro, Michoacán
159 the third Location, used temperate climate, yearly mean temperature from 19.2-19.3 ° C, with a
160 minimum and maximum temperatures from 15-17.5 ° C. It's located between 19° 10' 07''
161 Northern latitude and 101° 53 '59'' West longitude, at a height of 1, 840 masl. Inchú Coluvial
162 and Podzolic with prairie soils are predominant, respectably. Wheat genotypes were
163 developed under normal conditions (Five irrigations) together with a fertilization that
164 consisted in NPK 295-108-30 as total dose, which was fractionated during irrigation.
165 Agronomical handling from experiments was performed by Resource Seeds International.
166 Whole wheat flour was obtained by a laboratory mill (Nixtamatic NCM1) with a sieving
167 through a mesh (ASTM number 50) in Agroindustrial Products Quality and Food Analysis
168 Laboratories at the Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de
169 Mexico (UAEMex).

170 *Physicochemical and bromatological analyses*

171 Physicochemical analyses such as Grain Hectolitic weight (GHW), Weight of 1,000 grains
172 (WTG), Grain Length, Width and Thickness (SL, WS and TS, respectively) were performed
173 in grains and colour (L, a* and b*) were in flour and all of them were made by triplicate.
174 Seedburo Equipment Co., Chicago IL, USA. CHROMA METER CR-400 (Kinika Minolta)

175 colour measurement instrument was used to determinate Lightness (L), Redness (a*) and
176 Yellowness (b*) analyses (Araujo-Guzman *et al.*, 2015). GHW was completed according to
177 the NMX-FF-036-1996. Weight of 1, 000 grains (mg) were made by 10 samples average, 100
178 grains per each one (Castro *et al.*, 2011).

179 Bromatological analyses included Protein % (P), Starch % (S), Grain Moisture % (GM), Flour
180 Moisture (FM) %, Ashes (A) % and Zeleny sedimentation tests (IZ) were performed in flour
181 samples and Moisture was also performed in Grain samples (MG). All the variables were
182 done by triplicate. Protein %, Ashes % and Grain (GM) and Flour Moisture (FM) % were
183 performed by the AOAC 1999 Official Methods. Starch % content was estimated using K-
184 TSTA Amyloglucosidase/ α -Amylase method, AOAC Method 996.11 and AACC Method
185 76.13, MEGAZYME Total starch assay kit. IZ test was development according to NTE
186 INEN-ISO 5529 (2013) Norm.

187 *Data Analyses*

188 A Complete Randomized Block Design and including an Analysis of variance for each one of
189 the variables ($P \leq 0.05$) were performed by triplicate. Each genotype sample was performed
190 from three different wheat rows samples in order to represent the aleterity of the samples.

191 Where the localities correspond to the Treatments and answered variable were the
192 physicochemical and bromatological analyses dates. Significant differences were compared
193 using a Tukey Test ($P \leq 0.05$) with the Software SAS 9.0 (2000).

194 **RESULTS**

195 *Physicochemical and bromatological analyses*

196 There were significant differences ($P \leq 0.05$) in Hectolitic weight, Weight of 1,000 grains,
197 Grain L, a* and b*, Grain Length, Width and Thickness, Flour L, a* and b* parameters for
198 genotype, locality and per G X L interaction, with exception of the Grain Width and Grain b*
199 colour variables in the interaction (Table 1).

Table 1. Mean squares for analyses of variance per genotype, locality and combination for physicochemical variables of industrial quality from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-N Norman F2008 Genotypes.

Tabla 1. Análisis de Varianza por genotipo, localidad e interacción para variables fisicoquímicas de calidad industrial de los genotipos Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-Norman F2008.

SV	DF	GHW	WTG	GL	GW	GT	L	a*	b*
Genotype	2	7.26*	19623.58*	4.14*	0.047*	0.03*	11.89*	0.32*	1.87*
Locality	2	17.02*	13337.33*	0.11*	0.03*	0.08*	0.73*	0.38*	1.43*
Genotype*locality	4	5.32*	2992.45*	0.19*	0.00 ^{NS}	0.03*	1.61*	0.04*	0.55*
Error	18	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.18	0.01	0.04
Total	26								

201 For bromatological analyses there were significant differences ($P \leq 0.05$) (Table 2) for the
 202 Factor genotype in Grain Moisture and Flour Moisture, Starch, Ashes and Zeleny Index. The
 203 only variable with no differences ($P \leq 0.05$) was Protein content (Table 2). In the factor
 204 locality, there were found significant differences ($P \leq 0.05$) for Grain Moisture and Flour
 205 Moisture, Starch, Ashes and Protein. The only variable with no differences ($P \leq 0.05$) was
 206 Zeleny Index (Table 2).

207

208

209

210

211

212

Table 2. Mean squares for analyses of variance per genotype, combination and bromatological variables from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-N Norman F2008 genotypes.

Tabla 2. Análisis de Varianza por genotipo, localidad e interacción para variables bromatológicas de los genotipos Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-Norman F2008.

SV	DF	P	S	A	IZ	MG	MF
Genotype	2	1.82 ^{NS}	128.49*	0.01*	9.92*	0.69*	0.26*
Locality	2	5.16*	54.54*	0.04*	0.70 ^{NS}	10.24*	7.30*
Genotype*locality	4	2.97*	20.78 ^{NS}	0.00*	1.09 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.41*
Error	18	0.58	14.81	0.00	0.96	0.46	0.13
Total	26						

213

214 In the genotype per locality interaction there were significant differences ($P \leq 0.05$) only in the
 215 Flour Moisture, Ashes and Protein and with no differences in Grain Moisture, Starch and
 216 Zeleny Index. A Tukey test 5% were applied when significant differences were found for
 217 physicochemical and bromatological parameters (Table 3 and 4).

218

219

220

221

222

223

224

225

10

226 **Table 3.** Comparison of means of outstanding genotypes with statistically higher values
 227 from Cal Blanco F2011, Matchett F2011 and RSM-Norman F2008 for physicochemical
 228 and bromatological variables.

229 **Tabla 3.** Comparación de medias por genotipos con valores estadísticos significativos
 230 para las variables físicoquímicas y bromatológicas de los Genotipos Cal Blanco
 231 F2011, Matchett F2011 and RSM-Norman F2008

Variable	Genotype		
	Matchett F2011	Cal Blanco F2011	RSM-Norman F2008
GHW (kgH/L)	83.56 b	84.72 a	82.96 c
WTG (mg)	51.9 a	42.6 c	47.8 b
GL (mm)	7.24 a	5.89 c	6.63 b
GW (mm)	3.50 b	3.36 c	3.41 b
GT (mm)	3.00 b	2.98 b	3.09 a
L	86.07 b	86.76 a	84.51 c
a*	2.43 a	2.11 b	2.44 a
b*	11.50 c	12.41 a	11.90 b
S (%)	63.42 a	63.87 a	57.11 b
A (%)	1.33 c	1.52 a	1.42 b
ZI (mL)	64.78 b	66.33 a	66.78 a
GM (%)	11.97 a	11.42 c	11.79 a
FM (%)	12.38 a	12.31 a	12.06 b

247
 248
 249
 250

251

252

Table 4. Comparison of means for locality for physicochemical and bromatological variables.

253

254

Tabla 4. Comparación de medias por localidad para las variables fisicoquímicas y bromatológicas

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

Variable	Locality		
	Mexicali	Tarimoro	Querendaro
GHW (kgH/L)	84.80 a	84.24 b	82.18 c
WTG (mg)	49.8 a	49.6 b	43.0 c
LG (mm)	6.71 a	6.57 b	6.49 c
WG (mm)	3.41 b	3.49 a	3.37 b
TG (mm)	3.03 b	3.11 a	2.92 c
L	85.88 a	85.46 b	86.00 a
a*	2.53 a	2.33 b	2.12 c
b*	11.83 b	12.38 a	11.60 c
P (%)	10.11 b	10.16 b	11.44 a
S (%)	59.16 b	61.19 ab	64.06 a
ZI (mL)	1.52 a	1.43 b	1.32 c
GM (%)	10.51 c	12.16 b	12.51 a
FM (%)	11.44 c	12.08 b	13.22 a

276 **DISCUSSION**

277 *Physicochemical and bromatological analyses*

278 Almost all the physicochemical parameters are coincident with some other plant breeding
279 reports (Wheat programs), where those significant differences ($P \leq 0.05$) per genotype indicate
280 that the genotypes studied had different genomic information between them for most of these
281 variables. Many researches have been reported that Hectolitic weight, Moisture, Weight of
282 one thousand grains and Protein values are affected by the ambient conditions (Irrigation or
283 temporal conditions), Genomic and their genotype per locality interactions, even though for
284 some other non-controlled external (Balbuena *et al.*, 2008; Velasco *et al.*, 2012; Campuzano
285 *et al.*, 2015). Table 3, shows the means for genotypes resulting from RSM-Norman F2008,
286 Cal Blanco F2011 and Matchett F2011 wheats for Hectolitic weight. The three genotypes
287 studied revealed high GHW values (≥ 82 kgH/L); in addition, GHW is a very important yield
288 quality factor and a quality parameter (de la O Olán *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2014).
289 NMX-FF-036-1996 indicates a 74 kgH/L as the minimum GHW value for quality for the
290 wheat group one, so all the genotypes for the present research could be accepted in. Per
291 Locality, the best GHW were reported at Mexicali, Baja California (Table 4). The present
292 GHW results resulted slightly above Rodríguez *et al.* (2014) genotypes two years before (80-
293 83.4 kgH/L) and Rodríguez *et al.* (2011) under irrigations conditions at the same Mexicali
294 Valley locality. Durum or semidurum wheats could improve their GHW values when they are
295 cultivated under good fertilization and irrigation conditions. So, even though Mexicali Valley
296 is considered a dried and warm locality, its conditions resulted more favourable over Matchett
297 F2011, Cal Blanco F2011 and RSM-Norman F2008 wheat genotypes than some others wheat
298 genotypes reported because of irrigation conditions and agronomical handling used
299 (Rodríguez *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014). Grain Hectolitic Weight resulted affected by

300 the genotype, locality and by G X L interaction, as similar studies. Then, an adequate
301 agronomical handling conditions, Grain Hectolitic weight resulted with high values, where
302 these values could be originated by the ambient conditions and some non-controllable factors.
303 Nevertheless, under irrigation conditions and with an adequate agronomical handling higher
304 Hectolitic weight values could be produced than in temporal conditions. These Hectolitic
305 weight values obtained are excellent and recommended for bakery flour extraction genotypes
306 (NMX-FF-036-1996; de O Olán *et al.*, 2012a; Rodríguez *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014).
307 Weight of one thousand grains was slightly higher for some wheats sown in other locality, but
308 similar values are considered appropriate for healthy wheats with 49-43 mg (Table 4).
309 Genotype, locality and G X L interaction affected this variable analogous to others wheat
310 reports (de la Horra *et al.*, 2012; Balbuena *et al.*, 2008).
311 At the same time, Starch content was affected only by the genotype and locality Factors.
312 Almost all the present genotypes Starch content were slightly higher than López *et al.* (2010)
313 report for healthy wheats (60%). Per genotype, starch content values were from 63 to 57%
314 (Table 3), where RSM-Norman F2008 grains (57.11%) had less starch than the others
315 genotypes from this research. For locality, Starch content was from 64 to 59% and Tarimoro
316 and Querendaro resulted with more starch content than Mexicali (Table 4).
317 Grain characteristics are also similar to healthy wheats reported; besides, RSM-Norman
318 F2008 and Cal Blanco F2011 grains resulted smaller and rounded grains than other wheats
319 (López *et al.*, 2010). RSM-Norman F2008 grains resulted less thickly because it indicated less
320 starch content. As starch is mainly endosperm component, it's presence could be the
321 determinant factor for the grain weight values reported and some grain characteristics
322 (Balbuena *et al.*, 2008; López *et al.*, 2010; Campuzano *et al.*, 2015). However, this genotype
323 per locality interaction response could be suggested as low inconsistency or as a good
324 behaviour during Crop breeding programs (Rodríguez *et al.*, 2011).

325 Grain Moisture and Flour Ashes values obtained were acceptable values according to NMX-
326 FF-036-1996, where moisture values are not recommended higher than 13% in order to
327 reduce the microorganism's growing.

328 In Protein content by locality, Mexicali with Tarimoro, Guanajuato showed the lowest protein
329 (10,11 and 10,16%, respectably) values and Querendaro, Michoacan has been reported with
330 similar protein (11,44%) content analogous to some other studies (de la Horra *et al.*, 2012; De
331 la O *et al.*, 2012; Hadži *et al.*, 2013). Same Nitrogen fertilization was used by the completed
332 cycle for all the wheats studied. Statistical differences could be originated for factors such as
333 agronomical conditions. No Protein content values variation could suggest that protein profile
334 and its codifying genes are similar in these Genotypes. Present genotypes could present
335 acceptable Protein values; furthermore, their protein profile and protein quality could be
336 similar or completely different. Although, Protein content was too similar for the three
337 genotypes; that protein expression could be affected by locality factor due to its
338 Transcriptome or translation reactions (Martínez *et al.*, 2012; Izadi & Yazdi, 2012; Randhawa
339 *et al.*, 2013). Breadmaking quality is mainly related to protein quantity and quality, where
340 protein quantity is directly influenced by environmental factors and protein quality is
341 genetically controlled. Zeleny Test describes the quality of gluten proteins, which are
342 responsible for dough quality. Gluten Protein ability is measure by swelling and settle
343 capacities in slightly acid solution affected also by different composition and granulation of
344 test components (milling). This hydration protein (swelling) is the absorb water capacity;
345 likewise, it has been used as flour quality determination. The flour sedimentation degree in
346 acid solutions, as acid lactic for a determinate period is considered a baking quality measure
347 test called Zeleny Value which is a fast and easy test that could be improve as a bread quality
348 routine test. This swelling of the gluten protein in acid solutions directly affects the rate of
349 sedimentation of a flour suspension. High Zeleny values are a consequence from high gluten

15

350 and good quality given by slower sedimentation rates. This sedimentation rates are depending
351 on protein composition that mainly is correlated with protein content or wheat hardness and
352 loaf volume. Satisfactory quality Zeleny test values are mentioned for 55-60 mL. Matchett
353 F2011, Cal Blanco F2011 and RSM-Norman F2008 flours showed values slightly above 60
354 mL, especially for RSM-Norman F2008 samples (Table 3). Present results are similar to other
355 studies where Protein quantity was affected by locality and G X L interaction, but its quality
356 has been reported with acceptable Zeleny values for all the genotypes (Hruškova & Faměra
357 2003; Hruškova *et al.*, 2004; Švec & Hruškova, 2014). However, protein polymorphisms
358 studies such as Glutenin and Gliadin polymorphisms should be achieved in order to
359 corroborate this (Martínez *et al.*, 2012; de la O Olán *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2013;
360 Wang *et al.*, 2015).

361 Finally, physicochemical and bromatological characteristics such as Hectoliter weight,
362 Weight of 1, 000 grains, grain characteristics, protein and starch content and Zeleny values
363 presented indicated satisfactory bakery quality for Matchett F2011, Cal Blanco F2011 and
364 RSM-Norman F2008 genotypes at all the environmental localities (Mexicali, Baja California,
365 Tarimoro, Guanajuato and Querendaro, Michoacan) evaluated.

366 **ACKNOWLEDGEMENTS**

367 To Resource Seed International Company for provide the vegetative materials. The first
368 author thanks to the National Council of Science and Technology (CONACyT), Mexico
369 because the granted scholarship to carry out his doctoral studies. This research was funded by
370 the project "Molecular studies research project for quality of bread wheat genotypes (*Triticum*
371 *aestivum* L.) grown in the state of Mexico" from Support Programme for incorporating new
372 full-time teachers by PRODEP, SEP.

373

374 **REFERENCES**

375 Araujo-Guzmán, A. F., A. T. Gutiérrez-Ibáñez, M. D. Mariezcurrena-Berasain, M. A.
376 Mariezcurrena-Berasain, D. L.; Pinzón-Martínez, L. R. Bernal-Martínez & A. Z. M. Salem
377 (2015). Evaluation Of Phsico-Chemical And Microbiological Quality Of Sheep Meat In The
378 Central Highlands Of Mexico. *Life Science Journal* 12: 51-56.

379 Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1999. Official Methods of Analysis of
380 the AOAC. 16th 247 ed. Washington, D.C., USA. [en línea] USA [fecha de consulta 15 julio
381 2016]. Disponible en
382 [http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AO](http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AOAC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48)
383 [AC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-](http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AOAC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48)
384 [4856-8939-a7a491756f48](http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AOAC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48)

385 Balbuena, M. A., H. A. González, R. E. Rosales, L. A. Domínguez, M. O. Franco, L. D. &
386 Pérez (2008). Identificación de genotipos sobresalientes de trigo en el valle de Toluca,
387 México. *Agricultura Técnica en México* 34: 257-261.

388 Barak, S., D. Mudgil & B. S. Khatkar (2015). Biochemical and functional properties of wheat
389 gliadins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55: 357-368.

390 Bonafede, M. D., G. Tranquilli, L. A. Pflüger, R. J. Peña & J. Dubcovsky (2015). Effect of
391 allelic variation at the Glu-3/Gli-1 loci on bread making quality parameters in hexaploid
392 wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 62: 143-150.

393 Campuzano, L. F., J. D. Galán & S. R. Devi (2015). Evaluación de sistemas de selección en
394 ambientes alternados e in situ en trigo *Triticum aestivum* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32:
395 36-45.

396 Castro, N., R. Domínguez & H. Paccapelo (2011). Análisis del rendimiento de grano y sus
397 componentes en cereales sintéticos (Triceptiros y Triticales). *Revista de la Facultad de*
398 *Agronomía-UNLPam* 22: 13-21.

399 CONAGUA Comisión Nacional del Agua. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia
400 [en línea]. México [fecha de consulta: 15 Agosto 2016]. Disponible en
401 [http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-](http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias)
402 [temperaturas-y-lluvias](http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias).

403 de la Horra, A. E., M. L. Seghezzi, E. Molfese, P.D. Ribotta & A. E. León (2012).
404 Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con
405 ensayos predictivos. *Agriscientia* 29: 81-89.

406 de la O Olán, M., R. E. Espitia, J. D. Molina, H. E. Villaseñor (2010). Estabilidad a través de
407 ambientes de las propiedades reológicas de trigos harineros en función de sus gluteninas de
408 alto peso molecular. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 125-131.

409 de la O Olán, M., R. E. Espitia, S. H. López, M. H. E. Villaseñor, B. R. J. Peña & H. J.
410 Herrera (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos
411 de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 271-283.

412 Hadži-Taškovic, V.Š., D. Dodig, S. Žlilič, Z. Basič, V. Kandič, N. Dilič & M. Miritescu
413 (2013). Genotypic and environmental variation of bread and durum wheat proteins and
414 antioxidant compounds. *Romanian Agricultural Research* 30: 125-134.

415 Hernández, E. N., R. G. Posadas, L. F. Cervantes, S. H. I. González, V. A. Santacruz, R. I.
416 Benítez & B. R. J. Peña (2013). Distribución de fracciones de proteína y su contribución a las
417 características de calidad de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 137-145.

- 418 Hruškova, M. & O. Faměra (2003). Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value
419 using NIR technique. *Czech Journal of Food Sciences* 21: 91-96.
- 420 Hruškova, M., V. Skodova & J. Blazek (2004). Wheat sedimentation values and falling
421 number. *Czech Journal of Food Sciences* 22: 51-57.
- 422 Izadi-Darbandi, A. & B. Yazdi-Samadi (2012). Marker-assisted selection of high molecular
423 weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (*Triticum*
424 *aestivum* L.). *Indian Academy of Sciences* 91: 193-198.
- 425 López-Ahumada, G. A., B. Ramírez-Wong, P. I. Torres-Chávez, L. A. Bello-Pérez, D. J.
426 Figueroa-Cárdenas, J. A. Garzón-Tiznado & C. A. Gómez-Aldapa (2010). Physicochemical
427 characteristics of starch from bread wheat (*Triticum aestivum*) with “yellow berry”. *Starch*,
428 62: 517-523.
- 429 Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, I. Benítez-
430 Riquelme, A. Santacruz-Varela & R. J. Peña-Bautista (2010). Diferencias reológicas de la
431 masa de trigo en líneas recombinantes II. Relación con combinaciones de los *loci* Glu-1 y
432 Glu-3. *Agrociencia* 44: 631-641.
- 433 Martínez, C. E., R. E. Espitia, M. H. E. Villaseñor & B. R. J. Peña (2012). Contribución de
434 los *loci* Glu-B1, Glu-D1 y Glu-B3 a la calidad de la masa del trigo harinero. *Revista*
435 *Fitotecnia Mexicana* 35: 135-142.
- 436 Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, R. R. Hortelano-Santa, M. F.
437 Rodríguez-García, R. J. Peña-Bautista (2014). La calidad industrial de la masa y su relación
438 con diferentes *loci* de gluteninas en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). *Agrociencia* 48 (4):
439 403-411.

- 418 Hruškova, M. & O, Faměra (2003). Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value
419 using NIR technique. *Czech Journal of Food Sciences* 21: 91-96.
- 420 Hruškova, M., V. Skodova & J. Blazek (2004). Wheat sedimentation values and falling
421 number. *Czech Journal of Food Sciences* 22: 51-57.
- 422 Izadi-Darbandi, A. & B, Yazdi-Samadi (2012). Marker-assisted selection of high molecular
423 weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (*Triticum*
424 *aestivum* L.). *Indian Academy of Sciences* 91: 193-198.
- 425 López-Ahumada, G. A., B. Ramírez-Wong, P. I. Torres-Chávez, L. A. Bello-Pérez, D. J.
426 Figueroa-Cárdenas, J. A. Garzón-Tiznado & C. A. Gómez-Aldapa (2010). Physicochemical
427 characteristics of starch from bread wheat (*Triticum aestivum*) with “yellow berry”. *Starch*,
428 62: 517-523.
- 429 Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, I. Benítez-
430 Riquelme, A. Santacruz-Varela & R. J. Peña-Bautista (2010). Diferencias reológicas de la
431 masa de trigo en líneas recombinantes II. Relación con combinaciones de los *loci* Glu-1 y
432 Glu-3. *Agrociencia* 44: 631-641.
- 433 Martínez, C. E., R. E: Espitia, M. H. E. Villaseñor & B. R. J. Peña (2012). Contribución de
434 los loci Glu-B1, Glu-D1 y Glu-B3 a la calidad de la masa del trigo harinero. *Revista*
435 *Fitotecnia Mexicana* 35: 135-142.
- 436 Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, R. R. Hortelano-Santa, M. F.
437 Rodríguez-García, R. J. Peña-Bautista (2014). La calidad industrial de la masa y su relación
438 con diferentes loci de gluteninas en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). *Agrociencia* 48 (4):
439 403-411.

- 440 NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum*
441 *aestivum* L. y *Triticum durum* desf.). Especificaciones y métodos de prueba. Normas
442 mexicanas. Dirección general de normas, 14p.
- 443 Norma-NTE INEN-ISO 5529. 2013. Wheat. Determination of the sedimentation index.
444 Seleny test. Número de referencia ISO 5529:2007 (E). First Edition. Quito, Ecuador. 13 p.
- 445 Pistón, F., J. Gil-Humane, M. Rodríguez-Quijano & F. Barro (2011). Down-regulating c-
446 gliadins in bread wheat leads to non-specific increases in other gluten proteins and has no
447 major effect on dough gluten strength. *PLoS ONE* 6: 1-10.
- 448 Randhawa, H. S., M. Asif, C. Pozniak, J. M. Clarke, R. J. Graf, S. L. Fox, G. Humphreys, R.
449 E. Knox, R. M. DePauw, A. K. Singh, R. D. Cuthbert, P. Hucl & D. Spaner (2013).
450 Application of molecular markers to wheat breeding in Canada. *Plant Breeding* 132: 458-471.
- 451 Rodríguez-González, R.E., J. F. Ponce-Medina, O. E. Rueda-Puente, L. Avendaño-Reyes, J.
452 J. Paz, S. J. Santillano-Cazare & M. Cruz-Villegas (2011). Interacción genotipo-ambiente
453 para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical*
454 *and Subtropical Agroecosystems* 14: 543-558.
- 455 Rodríguez-González, R. E., J. J. Paz, C. G. Iñiguez, E. O. Rueda, L. Avendaño-Reyes, M.
456 Cruz-Villegas & A. M. García (2014). Estabilidad de rendimiento en trigo en Valle de
457 Mexicali, México. *Phyton, Revista Internacional de Botánica Experimental* 83: 65-70.
- 458 Švec, I. & M. Hruškova (2014). Mixolab parameters of composite wheat/hemp flour and their
459 relation to quality features. *LWT-Food Science and Technology* 30: 1-7.
- 460 Švec, I. & M. Hruškova (2015). Characteristics of Wheat, Barley and Hemp Model
461 Composites. *Czech J. Food Sci* 33: 66-71.

- 462 Velasco, J. E., D. D. J. Pérez, S. Rajaram, A. Balbuena, M. Albarrán & A. González (2012).
463 Análisis de 20 genotipos de trigo harinero en el Valle del Yaqui, Sonora. *Revista Mexicana de*
464 *Ciencias Agrícolas* 3: 1521-1534.
- 465 Wang, A., L. Liu, Y. Peng, S. Islam, M. Applebee & R. Appels (2015). Identification of Low
466 Molecular Weight Glutenin Alleles by Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-Of-
467 Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF-MS) in Common Wheat (*Triticum aestivum* L.).
468 *PLoS ONE* 10: 1-20.
- 469 Zhang, X., H. Jin, Y. Zhang, D. Liu, G. Li, X. Xia, Z. He1 & A. Zhang (2012). Composition
470 and functional analysis of low-molecular-weight glutenin alleles with Aroona near-isogenic
471 lines of bread wheat. *BMC Plant Biology* 12: 243.

472 **LEGENDS OF TABLES**

473 *Table 1.*

474 $P=0.05$ Significant difference = *, $P=0.01$ Significant difference = **, NS = No significant,
475 DF = Degree freedom, GHW = Grain Hectolitic weight, WTG = Weight of 1, 000 grains, GL
476 = Grain length, GW = Grain width, GT = Grain thickness and flour colour (L, a* and b*).

477 $P=0.05$ Diferencia Significativa = *, $P=0.01$ Diferencia significativa = **, NS = No
478 significativo, DF = Grados de Libertad, GHW = Peso Hectolítico, WTG = Peso de mil
479 granos, GD = Longitud del grano, GW = Ancho del grano, GT = Espesor del grano y Color
480 harina (L, a* y b*).

481 *Table 2.*

482 $P=0.05$ Significant difference = *, $P=0.01$ Significant difference = **, NS = No significant,
483 DF = Degree freedom, P = Protein %, S = Starch %, A = Ashes %, IZ = Zeleny tests, GM =

484 Grain Moisture, MF = Flour Moisture.

485 $P=0.05$ Diferencia significativa = *, $P=0.01$ Diferencia significativa = **, NS = No
486 significativo, DF = Grados de libertad, P = Proteína %, S = Almidón %, A = Cenizas %, IZ =
487 Índice de Zeleny, GM = Humedad del grano, MF = Humedad de la harina.

488 *Table 3.*

489 $P\leq 0.05$ = LSD = Least significant difference. GHW = Grain Hectolitic weight, WTG =
490 Weight of 1, 000 grains, GL = Grain length, GW = Grain width, GT = Grain thickness and
491 flour colour (L, a* and b*), P = Protein %, S = Starch %, A = Ashes %, IZ = Zeleny tests, GM
492 = Grain Moisture, MF = Flour Moisture. Media with different literals a, b or c indicate
493 significant differences groups among genotypes.

494 $P\leq 0.05$ = LSD = Diferencia mínima significativa. GHW = Peso Hectolítico, WTG = Peso de
495 1, 000 granos, GL = Ancho del Grano, GW = Ancho del grano, GT = Espesor del grano y
496 Color de la harina (L, a* and b*), P = Proteína %, S = Almidón %, A = Cenizas %, IZ =
497 Índice de Zeleny, GM = Humedad del grano, MF = Humedad de la Harina. Medias diferentes
498 se indican por las literales a, b o c para indicar grupos estadísticamente diferentes entre los
499 genotipos.

500 *Table 4.*

501 $P\leq 0.05$ = LSD = Least significant difference. GHW = Grain Hectolitic weight, WTG =
502 Weight of 1, 000 grains, GD = Grain length, GW = Grain width, GT = Grain thickness and
503 flour colour (L, a* and b*), P = Protein %, S = Starch %, A = Ashes %, IZ = Zeleny tests, GM
504 = Grain Moisture, MF = Flour Moisture. Media with different literals a, b or c indicate
505 significant differences groups among localities.

506 $P\leq 0.05$ = LSD = Diferencia mínima significativa. GHW = GHW = Peso Hectolítico, WTG =

507 Peso de 1, 000 granos, GL = Ancho del Grano, GW = Ancho del grano, GT = Espesor del
508 grano y Color de la harina (L, a* and b*), P = Proteína %, S = Almidón %, A = Cenizas %, IZ
509 = Índice de Zeleny, GM = Humedad del grano, MF = Humedad de la Harina. Medias
510 diferentes se indican por las literales a, b o c para indicar grupos estadísticamente diferentes
511 entre las localidades.

512

7.1.2. Artículo en revisión. “Identificación y distribución de alelos de gluteninas y gliadinas relacionados con calidad panadera en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.)”

Artículo enviado en Abril de 2017 a la revista Agrociencia, y en espera del dictamen por estar actualmente en revisión.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21

**IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALELOS DE GLUTENINAS Y GLIADINAS
RELACIONADOS CON CALIDAD PANADERA EN VARIEDADES DE TRIGO
(*Triticum aestivum L.*)**

**IDENTIFICATION AND DISTRIBUTION OF GLUTENIN AND GLIADIN ALLELES
RELATED TO BAKERY QUALITY IN WHEAT (*Triticum aestivum L.*) VARIETIES**

Juan José Calixto Muñoz¹, María Dolores Mariezcurrena Berasain¹, Ana Tarín Gutiérrez Ibáñez¹,
Carlos Guzmán², Sanjaya Rajaram³, Dora Luz Pinzón Martínez^{*1}.

*autor de correspondencia: dora_lpm@hotmail.com

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario Núm. 100, Col. Centro. C. P. 50 000, Toluca, Estado de México, México. Tel (Fax) +52 (722) 296 5529. dora_lpm@hotmail.com*, jjcalixto@gmail.com, nekkane16@hotmail.com, atarini@uaemex.mx

² Laboratorio de Química y Calidad de trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Carretera México-Veracruz km 45, El Batán, Texcoco, México. C. P. 56 237. Tel. y Fax +52 (55) 5804 2004. c.guzman@cgiar.org

³ Resource Seeds International (RSI). San Miguel Chapultepec, Edo. De México. C. P. 52240. Tel +52 (722) 2630 732. rajaram.sanjaya@resourceseedinternational.com.mx

1 **RESUMEN**

2 Las variantes alélicas de las proteínas del gluten de trigo (*Triticum aestivum* L.),
3 gluteninas de alto (GAPM) y bajo peso molecular (GBPM) y las gliadinas, son importantes para
4 la fuerza y extensibilidad de la masa y su uso industrial. El objetivo del presente estudio, fue
5 identificar y analizar la distribución de los alelos de GAPM, GBPM y gliadinas, relacionada con
6 calidad de panificación en las variedades de trigo Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-
7 Norman F2008, cosechados en dos ciclos otoño-inverno 2014 a 2016. La combinación de dichos
8 alelos determinará su calidad y uso industrial. Con un diseño de bloques completos al azar se
9 procesó por triplicado cada muestra (3 kg). Los alelos 17+18 y 5+10, asociados con fuerza y
10 extensibilidad, se detectaron en Cal Blanco F2011 y Matchett F2011, 7+9 y 2* en RSM-Norman
11 F2008. En *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, de GAPM se encontraron las combinaciones 1; 17+18;
12 5+10 en Cal Blanco F2011 y Matchett F2011, y en RSM-Norman F2008, 2*; 7+9; 5+10,
13 relacionadas con calidad de panificación, fuerza y extensibilidad de la masa. Para GBPM, se
14 identificaron las combinaciones de *GluA3b*, *Glu-B3g* y *Glu-D3c* en Cal Blanco; *GluA3d*, *Glu-*
15 *B3h* y *Glu-D3b* en Matchett F2011 y *GluA3c*, *Glu-B3g* y *Glu-D3b* en RSM-Norman F2008. Los
16 alelos *f*, *d* y *l* (locus *Gli-B1*) de ω -gliadinas se identificaron en Cal Blanco, Matchett F2011 y
17 RSM-Norman F2008, respectivamente. La combinación 2*, 7+9 y 5+10, *GluA3c*, *Glu-B3g* y
18 *Glu-D3b* se identificó en RSM-Norman F2008 y *Glu-B3h* en Matchett F2011 y los relacionan
19 con gluten fuerte, extensibilidad y fuerza altas. La identificación de los alelos de GAPM, GBPM
20 y gliadinas, junto con su análisis de distribución permitió clasificar las variedades RSM-Norman
21 F2008, Cal Blanco F2011 con una calidad moderada-alta y a Matchett F2011 con alta. Las
22 variedades presentan gluten fuerte y pueden mejorar la masa.

23 **Palabras clave:** Calidad panadera, *Triticum aestivum* L., *Glu-1*, *Glu-3*, *Gli-B1*.

24

1

2

INTRODUCCIÓN

3 El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el principal cereal cultivado en el mundo, proporciona
4 aproximadamente una quinta parte del aporte calórico total a la población mundial y es la base
5 para elaborar diversos productos industrializados. En México, este cereal ocupa un lugar
6 importante, después del maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) y se coloca entre los 10
7 productos agroalimentarios estratégicos. Su demanda para los principales usos industriales (pan y
8 galletas) presenta incremento, por lo que, el consumo de este grano supera la producción nacional
9 y se estima que en el año 2020 su importación suplirá su demanda (SAGARPA, 2015). En el
10 trigo panificable, se buscan incrementos en producción, rentabilidad y mejores oportunidades en
11 el mercado nacional, mediante prácticas agronómicas y nuevas tecnologías, como
12 genotipificaciones, con apoyos federales y en estrategias con empresas semilleras (SAGARPA,
13 2015). Los diversos usos del trigo dependen de sus propiedades reológicas, como cohesividad,
14 viscosidad y elasticidad que confieren a la masa, fuerza y extensibilidad (Liang *et al.*, 2015;
15 Chaudhary *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). Estas propiedades son únicas del trigo y
16 dependen de la cantidad y calidad de las proteínas de almacenamiento del grano, gliadinas y
17 gluteninas, mismas que conforman el gluten (Peña *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2014; Chaudhary
18 *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). Las gluteninas, son proteínas poliméricas
19 relacionadas con fuerza y extensibilidad de la masa, mientras que las gliadinas son proteínas
20 monoméricas, responsables de la viscoelasticidad (Islas *et al.*, 2005; Gao *et al.*, 2016). Por lo
21 tanto, ambos grupos proteicos son componentes cruciales para la calidad y destino industrial de
22 este cereal (Liu *et al.*, 2009; Zheng *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2010; Ibrahim, 2013; Wang *et al.*,
23 2016; Li *et al.*, 2016). Por su movilidad electroforética, las gluteninas pueden separarse en
24 subunidades de alto (GAPM) (80-120 kDa) y bajo peso molecular (GBPM) (30-50 kDa) (Payne y

1 Corfield 1979; Dong, *et al.*, 2010). Cerca del 20 % de la fracción total de gluteninas son GAPM y
2 el resto son GBPM (Payne y Lawrance, 1983). Las GAPM (loci *Glu-1*), están codificadas por los
3 loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, localizados en los brazos largos del grupo 1 de los cromosomas
4 1A, 1B y 1D, respectivamente (Shewry *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016). Las GBPM
5 (loci *Glu-3*), se relacionan con la fuerza de la masa, son altamente polimórficas y están
6 codificadas por los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3* de los brazos cortos del mismo grupo 1 de
7 cromosomas. Estos loci se encuentran ligados al locus *Gli-1*, que codifica para gliadinas (Cassidy
8 *et al.*, 1998; Shewry y Halford, 2002; Tanaka *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2016). Se han identificado
9 más de 20 alelos con diferentes efectos sobre la calidad industrial en trigos hexaploides, de los
10 cuales, seis son de *Glu-A3*, nueve de *Glu-B3* y cinco de *Glu-D3*. Los diferentes loci *Glu-3* y sus
11 efectos sobre la calidad industrial del trigo, se han incluido recientemente en la clasificación del
12 trigo panadero. El alelo *Glu-B3i* ha sido correlacionado con una calidad panadera superior,
13 mientras que otros alelos, como el *Glu-A3e*, se relacionan con efectos negativos, por lo que los
14 alelos de *Glu-A3* y *Glu-B3* son señalados con mayor relevancia dentro de la calidad industrial.
15 Así, en el mejoramiento del trigo moderno, se realizan selecciones de variaciones genéticas de los
16 materiales vegetativos en base a la composición de la variabilidad de gluteninas (Wang *et al.*,
17 2016). Las gliadinas están codificadas por grandes familias multigénicas (α -, β -, γ - y ω -) por lo
18 que es difícil establecer correlaciones entre estas proteínas y las propiedades tecnológicas.
19 Debido a que los efectos atribuidos a una gliadina, pueden ser generados por otros grupos
20 asociados de gliadinas o por GBPM. Sin embargo, se ha demostrado que al añadir subgrupos de
21 gliadinas a la masa, existe una disminución en la fuerza de la masa con los efectos relativos de
22 debilitamiento (Chaudhary *et al.*, 2016). La propiedad viscoelástica de la masa, es el resultado de
23 la interacción entre polímeros de gluteninas y de su interacción con gliadinas monoméricas. Hay
24 que señalar que tanto los puentes disulfuro, incluyendo enlaces disulfúricos intermoleculares e

1 intramoleculares, como los enlaces triptófano, no sólo provienen de GAPM sino también
2 provienen de gliadinas y GBPM. El resultado de su combinación, afecta las propiedades de la
3 masa (Li *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016). Payne (1987) y Gupta *et al.* (1990), propusieron puntajes
4 y clases de calidad para los loci *Glu-1* y loci *Glu-3*, respectivamente. Mismos, que han sido
5 utilizados por diversos programas de selección y mejoramiento de trigo, en donde determinados
6 alelos de GAPM y GBPM y principalmente sus combinaciones, se relacionan con trigos de alta
7 calidad bajo la consideración de diversas pruebas de calidad, como el índice de Zeleny, por lo
8 que han sido utilizadas para calificar diversos materiales por diversos autores (Rasheed *et al.*,
9 2012; Bellit *et al.*, 2014). Las variedades de trigo deben poseer una calidad final adecuada, para
10 ser liberadas y aceptadas por productores, molineros y finalmente, por consumidores. En los
11 programas de mejoramiento, la caracterización de GAPM, GBPM y gliadinas, es una herramienta
12 complementaria que permite combinar el contenido y calidad de las proteínas de manera más
13 eficaz. Lo que permite a los mejoradores acelerar la adaptación de nuevas variedades, para
14 satisfacer requisitos específicos de calidad para los diferentes destinos industriales de este cereal,
15 principalmente para la industria panadera. Así, el trigo nacional podría empezar a competir en
16 precio y calidad industrial, con el importado (Peña *et al.*, 2002; Battenfield *et al.*, 2016). El
17 objetivo de este estudio, fue identificar y analizar la distribución de los alelos de GAPM, GBPM
18 y gliadinas, relacionada con calidad de panificación en las variedades de trigo Cal Blanco F2011,
19 Matchett F2011 y RSM-Norman F2008 actualmente incluidas en estudios agronómicos. Por lo
20 tanto, si se conoce la combinación de los alelos de gluteninas y gliadinas se determinará la
21 calidad y uso industrial de los presentes materiales.

22

23

24

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetativo

Las variedades de trigo que se estudiaron, Cal Blanco F2011, RSM-Norman F2008 y Matchett F2011, se cultivaron durante los ciclos otoño-invierno de 2014 a 2016, y las donó el programa de mejoramiento genético de trigo de la empresa Resource Seeds International.

Extracción de proteínas y SDS-PAGE

La composición de subunidades de gluteninas y gliadinas se determinó en el Laboratorio de Calidad de Trigo del CIMMYT, El Batán, México. La extracción de proteínas y la electroforesis SDS-PAGE se realizaron mediante el método de Singh *et al.* (1991) con modificaciones de Peña *et al.* (2004). La harina integral se obtuvo en un molino de laboratorio (Nixtamatic NCM1, INMEZA, México) en el Laboratorio de Calidad de los Productos Agropecuarios, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. A 20 mg de la harina se añadieron 0.75 mL de propanol 50 %, para incubar en un Termomixer Comfort (Eppendorf, USA) 1, 400 rpm, 30 min, 65 °C y se centrifugaron a 10,000 rpm, 2 min. Del sobrenadante se obtuvieron gliadinas y del precipitado gluteninas. El sobrenadante se evaporó 4 a 5 h, a 65 °C. Posteriormente, se agregaron 0.3 mL de la Solución de extracción pH 8.0 [(SDS 2 % (Merck), glicerol 40 % (Sigma), azul de bromofenol 0.02 % (Sigma)] y se incubó nuevamente en Termomixer Comfort 5 min, 90 °C para centrifugarse a 13, 000 rpm, 5 min para homogenizar los reactivos. Para la extracción de gluteninas, al precipitado obtenido del primer paso, se le agregó 0.1 mL de Ditiotreitól (Sigma) 1.5 % fresco y se incubó en un Termomixer 65 °C, 30 min para centrifugarse por 13, 000 rpm, 5 min. Al precipitado obtenido, se le agregaron 0.1 mL de una solución fresca de Vinilpiridina (Sigma) 1.4 %, para incubarse en agitación nuevamente por 15 min y centrifugarse. Se tomaron 0.180 mL del sobrenadante y se mezcló 1:1 con una solución amortiguadora a pH 6.8 [(SDS 2 % (Merck), glicerol 40 % (Sigma), azul de

1 bromofenol 0.02 % (Sigma)]. En las condiciones de agitación mencionadas se mantuvo por 5 min
2 a 90 °C y se centrifugó 5 min a 10, 000 rpm.

3 El fraccionamiento de proteínas por SDS-PAGE, se logró en geles verticales (20 X 23
4 cm) de 15 y 4.8 %, de resolución y fracción concentradora, respectivamente, y con separadores 1
5 mm en un sistema tampón Tris-HCl-SDS discontinuo a 12 mA, 20 h. Previo al teñido, los geles
6 se sumergieron en ácido tricloroacético 12 %, 5 min para ser teñidos con azul de bromofenol (4
7 h). El desteñido se llevó a cabo en agua destilada por 24 h. Se analizaron e identificaron
8 visualmente los alelos (Singh *et al.*, 1991; Peña *et al.*, 2004).

9

Nomenclatura

10 Para la identificación de los alelos, se emplearon las nomenclaturas propuestas por Payne
11 y Lawrence (1983) para GAPM y para GBPM, las de Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.*
12 (2003). Para la visualización de las bandas en los geles de poliacrilamida en condiciones
13 disociantes (SDS-PAGE), se utilizaron las variedades ampliamente estudiadas de Pavon 76,
14 Opata M85 y Pitic 62 donadas por CIMMYT, como testigos.

15

Análisis Estadístico

16 En el experimental en campo se utilizó un diseño experimental de bloques completos al
17 azar. Las muestras de cada genotipo, se obtuvieron aleatoriamente de tres surcos para una
18 compuesta de 3 kg y se procesaron por triplicado. Para la identificación de los alelos de gliadinas
19 y gluteninas, relacionados con calidad panadera se consideró la presencia de los mismos, en geles
20 de Electroforesis SDS-PAGE. Para analizar la distribución de los alelos, se examinó la diversidad
21 genética de cada locus mediante la fórmula de Nei (1973), $H = 1 - \sum P_i^2$. Donde H, es el índice de
22 variación genética de Nei y P_i la frecuencia de un alelo en particular en un locus. La frecuencia
23 alélica (0-100 %), se estimó al sumar las frecuencias de los alelos en los genotipos individuales y
24 se dividió entre el total de genotipos estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1

2 En las tres variedades se identificaron 14 alelos diferentes: 1 y 2* para *Glu-A1*, 17+18 y
 3 7+9 en *Glu-B1* y para *Glu-D1* 5+10, correspondientes a GAPM. En las GBPM se encontraron
 4 para *Glu-A3*, *b*, *c* y *d*, en *Glu-B3*, *g* y *h*, y para *Glu-D3*, *c* y *b*. Finalmente, para gliadinas en *Gli-*
 5 *B1*, se visualizaron los alelos *f* y *d*. Los tres materiales analizados, mostraron diferentes patrones
 6 genéticos de las combinaciones de los alelos mencionados dentro de su diversidad genética
 7 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de los alelos y patrones genéticos de los loci *Glu-1*, *Glu-3* y *Gli-B1*, en las variedades Cal Blanco F2011, RSM-Norman F2008 y Matchett F2011.

Variedad	GAPM			GBPM		GLIADINAS	
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>	<i>Gli-B1</i>
	Alelo (SU [§])	Alelo (SU)	Alelo (SU)				
Cal Blanco F2011	<i>a</i> (1)	<i>i</i> (17+18)	<i>d</i> (5+10)	<i>b</i>	<i>g</i>	<i>c</i>	<i>f</i>
RSM- Norman F2008	<i>b</i> (2*)	<i>c</i> (7+9)	<i>d</i> (5+10)	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>b</i>	<i>f</i>
Matchett F2011	<i>a</i> (1)	<i>i</i> (17+18)	<i>d</i> (5+10)	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>

§ SU = Subunidad, GAPM = Gluteninas de alto peso molecular, GBPM = Gluteninas de bajo peso molecular.

1 Respecto a GAPM, de los cinco alelos encontrados, el alelo más frecuente fue la
2 subunidad 5+10 del locus *Glu-D1*, presente en todas las variedades. Este alelo, ocasionalmente
3 está presente en variedades desarrolladas en determinadas localidades en México (Martínez *et al.*,
4 2014). Sin embargo, es citado por diversos autores como indicador de calidad panadera (Izadi *et*
5 *al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2012; Bellil *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2014). La diversidad alélica y
6 la distribución genética observada dentro de los materiales, mostró con respecto al locus *GluA1*,
7 la ausencia del alelo nulo en las variedades estudiadas, lo cual, se considera como una fortaleza
8 en estos materiales, ya que este alelo se relaciona con baja calidad panadera (Izadi *et al.*, 2010).
9 El alelo más frecuente, fue el de la subunidad 1 (66.6 %), del locus *GluA1*. En cuanto al locus
10 *GluB1*, la distribución alélica fue más elevada para la subunidad 17+18 (66.6 %), en comparación
11 con el alelo 7+9 (33.3 %). Para las subunidades de las GBPM, los alelos con una mayor
12 frecuencia fueron *g* y *b* (66.6 %), de los locus *Glu-B3* y *Glu-D3*, respectivamente. Sin embargo,
13 los alelos *b*, *c* y *d* del locus *GluA3*, mostraron una distribución homogénea en sus frecuencias
14 (33.3 %) respectivamente, al estar cada uno presente entre las variedades estudiadas. Así como
15 para las gliadinas, el alelo ligado con mayor frecuencia fue el *f* (66.6 %). Los presentes resultados
16 se asemejan a otros reportes de otras variedades a las presentes reportados por Bellil *et al.* (2014)
17 y Martínez *et al.*, (2014) para los alelos 5+10 y *b* (*Glu-D3*).

18 La variación genética por los índices H calculados de acuerdo al método de Nei (1973),
19 mostró una media de 0.41, dentro de un rango de 0.0-0.67, entre las variedades estudiadas. El
20 locus que no presentó variación entre sus genes fue el *Glu-D1*, ya que el alelo *d* (5+10), estuvo
21 presente en todas los materiales (0.0). El locus *Glu-A3*, de las GBPM fue reportado con la
22 variación más alta (0.67), ya que este Loci, presentó un alelo diferente en cada una de las
23 variedades. El coeficiente de variación genética para el loci *Glu-3*, fue de 0.52, en comparación
24 con el loci *Glu-1* de 0.15. Por lo que se sugiere, que en las tres variedades del presente estudio,

1 los alelos del locus *Glu-3* se encontraron mayormente distribuidos y que presentaron
2 distribuciones bimodales o trimodales, a diferencia de los alelos del loci *Glu-1*, por la presencia
3 de la subunidad 5+10 (*Glu-D1d*) (Izadi *et al.*, 2010; Bellil *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2014).

4 En la relación de los alelos con los destinos industriales y para la puntuación de calidad
5 propuesta por Payne (1987) y Gupta *et al.* (1990), una de las fortalezas de los presentes
6 materiales, se relaciona con la presencia de los alelos 2* y 1. Mismos, que han sido mencionados
7 por otros autores, como los mejores para la extensibilidad de la masa, junto con el alelo 7+9 del
8 locus *Glu- B1*. Estos alelos, al igual que las subunidades 5+10 y 17+18, tienen efectos similares
9 para mayor fuerza de la masa (Cornish *et al.*, 2001; Branlard *et al.*, 2003; Gao *et al.*, 2016; Li *et al.*
10 *et al.* (2016). Ibrahim (2013) y Gao *et al.* (2016), también atañen a dichos alelos con buena calidad
11 (2*, 1, 5+10 y 17+18), aunque mencionan a 7+9 con pobre calidad, lo que difiere de lo reportado
12 por Martínez *et al.* (2012) con 7+9 y 5+10, que los relacionan para gluten fuerte. Para GBPM
13 otros autores propusieron a los locus *Glu-A3* y *Glu-B3*, como importantes para la calidad,
14 principalmente al alelo *h* (*Glu-B3h*) relacionado con calidad panadera y como presunto mejorador
15 de la calidad de la masa de trigo, con efecto importante en la fuerza y extensibilidad de esta,
16 como también a los alelos *b* y *d* del locus *Glu-A3* y el alelo *g*, de *Glu-B3* (Jin *et al.*, 2013; Zhang
17 *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016). Zhang *et al.* (2013), propusieron que el locus *Glu-D3* no tiene
18 efectos significativos en dicha calidad.

19 Respecto a las combinaciones alélicas y su relación con calidad industrial, Cal Blanco
20 F2011, RSM-Norman F2008 y Matchett F2011, se identificaron como variedades de gluten
21 fuerte, por la combinación 2*, 7+9, 5+10 de *Glu-1* con *c, g, b* (*Glu-3*) reportada por Martínez *et al.*
22 *et al.* (2012) para gluten fuerte y materiales presumiblemente de excelente extensibilidad de masa y
23 aptos para la industria mecanizada o para corrección de mezclas débiles (Bellil *et al.*, 2014). Esta
24 combinación se encuentra en el patrón genético de la variedad RSM-Norman F2008 (Cuadro 1).

1 Las combinaciones de *Glu-1*, dentro de los patrones genéticos visualizados en Cal Blanco F2011
2 y Marchet F2011 (1, 17+18, 5+10), han sido reportadas con una puntuación de calidad de 10, lo
3 que sugiere a estos materiales con una calidad alta. La cual, es mayor a la puntuación de la
4 combinación de ese mismo loci en RSM-Norman F2008 (*Glu-A1b*, *Glu-B1c*, *Glu-D1d*) de 9
5 (Martínez *et al.*, 2012). En cuanto a las variantes alélicas de las GBPM, los patrones genéticos
6 mostraron combinaciones semejantes a las reportadas por otros autores como Izadi *et al.* (2010) y
7 Bellil *et al.* (2014) con una calidad de la masa de alta a moderada. La variedad Cal Blanco F2011
8 con *Glu-A3b*, *Glu-B3g* y *Glu-D3c*, se propone con una calidad moderada de la masa, ya que la
9 presencia de los Alelos *Glu-B3g* y *Glu-B3c*, que se señalan con calidad moderada, como también
10 se sugiere para la combinación en RSM-Norman F2008 (*GluA3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*).
11 Finalmente, Marchet F2011 mostró la combinación *Glu-A3d*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*, de la cual,
12 todos los alelos han sido citados con una alta calidad o de gran fuerza para la masa,
13 especialmente, el alelo *Glu-B3h*, que se relaciona como un mejorador en la calidad del trigo
14 (Izadi *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2013; Jin *et al.*, 2013; Gulia y Khatkar, 2014; Bellil *et al.*, 2014;
15 Gao *et al.*, 2016). Por lo tanto, de acuerdo a la clasificación de los trigos en México por tipo de
16 gluten (CANIMOLT, 2014) y los resultados del presente trabajo, los materiales estudiados
17 podrían colocarse dentro del Grupo 1, para trigos de gluten fuerte y extensible (muy elástico)
18 para uso dentro de la industria mecanizada, elaboración de pan de caja y como correctores de
19 trigos con fuerza inferior. En cuanto a las Puntuaciones de Calidad de Payne (1987) y Gupta *et al.*
20 (1990), las variantes alélicas de *Glu-1*, obtuvieron un puntaje de 9 al 10, para las tres variedades.
21 Las variantes de las GBPM de *Glu-3*, obtuvieron puntajes de calidad moderada para RSM-
22 Norman F2008 y Cal Blanco F2011, y de alta para Marchet F2011, con una alta frecuencia
23 alélica para la subunidad *Glu-D1d*, junto con un una distribución genética homogénea dentro de
24 esta población, al estar presente en las tres variedades. Por lo que los materiales estudiados,

1 pueden clasificarse con una calidad panadera de moderada a alta, en base a la distribución alélica
2 de sus GAPM y GBPM.

3 CONCLUSIONES

4 La identificación de los alelos de GAPM, GBPM y gliadinas, junto con su análisis de
5 distribución, permitió clasificar a las variedades RSM-Norman F2008, Cal Blanco F2011 con una
6 calidad moderada-alta y a Marchet F2011 con alta. Las variedades presentan gluten fuerte y
7 pueden mejorar la masa.

8 AGRADECIMIENTOS

9 A la Empresa Resource Seeds International y al CIMMYT por proporcionar los materiales
10 vegetativos. El primer autor, agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
11 (CONACyT), México por la beca otorgada para realizar sus estudios de Doctorado. Esta
12 investigación fue financiada por el proyecto de investigación de "Estudios moleculares para la
13 calidad de genotipos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) cultivados en el Estado de México" del
14 Programa de Apoyo para la incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo de
15 PRODEP, SEP.

16 LITERATURA CITADA

17
18 Battenfield S. D., C. Guzmán, R. C. Gaynor, R. P. Singh, R. J. Peña, S. Dreisigacker, A.
19 K. Fritz and A. J. Poland. 2016. Genomic Selection for Processing and End-Use Quality Traits in
20 the CIMMYT Spring Bread Wheat Breeding Program. *The plant genome*. 9: 12.

21 Bellil I., O. Hamdi, and D. Khelifi. 2014. Allelic variation in Glu-1 and Glu-3 loci of
22 bread wheat (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L. em. Thell.) germplasm cultivated in algeria.
23 *Cereal Res. Commun.* 42: 648-657.

- 1 Branlard G., M. Dardevet, N Amieur, and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and
2 LMW glutenin subunits and omega gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genet.*
3 *Res. Crop. Evol.* 50: 669-679.
- 4 CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo), 2014, Reporte
5 Estadístico al 2014, Sinnergia Diseño Ayuntamiento 7-2ª Col. Cd. Adolfo López Mateos, Edo. de
6 México, México, pp: 98-100.
- 7 Cassidy B., G. J. Dvorak, and D. O. Anderson. 1998. The wheat low molecular weight
8 glutenin genes: characterization of six new genes and progress in understanding gene family
9 structure. *Teor. Appl. Genet.* 96: 743–750.
- 10 Chaudhary N., P. Dangi, and S. B. Khatkar. 2016. Effect of Gliadin Addition on Dough
11 Mixing Properties of Wheat Varieties. *Int. J. of Innovative Res. in Sci., En. and Tech.* 5: 1942-
12 1947.
- 13 Cornish G., B. Bekes, F. H. M. Allen, and J. D. Martin. 2001. Flour proteins link to
14 quality traits in an Australian doubled haploid wheat population. *Aust. J. Agr. Res.* 52: 1339–
15 1348.
- 16 Dong L., X. Zhang, D. Liu, H. Fan, J. Sun, Z. Zhang, H. Qin, B. Li, S. Hao, Z. Li, D.
17 Wang, A. Zhang, and H. Q. Ling. 2010. New insights into the organization, recombination,
18 expression and functional mechanism of low molecular weight glutenin subunit genes in bread
19 wheat. *PLoS ONE* 5: e13548.
- 20 Gao X., T. J. Liu, L. Yu, Y. F. Li, and X. Li. 2016. Influence of high-molecular-weight
21 glutenin subunit composition at *Glu-B1* locus on secondary and micro structures of gluten in
22 wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Chem.* 197: 1184-1190.

- 1 Gulia N., and S. B. Khatkar. 2014. Quantitative and qualitative assessment of wheat
2 gluten proteins and their contribution to instant noodle quality. *Int. J. of Food Prop.* 18: 1648-
3 1663.
- 4 Gupta R. B., and W. K. Shepherd. 1990. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis
5 of LMW subunits of glutelin *1. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid
6 wheats. *Theor. Appl. Genet.* 80: 65-74.
- 7 Ibrahim A., I. 2013. Gene stacking of high molecular weight glutenin genes in bread
8 wheat using molecular markers. *In: ASA CSSA SSSA International Annual Meetings* (ed).
9 *Fundamental for life: Soil, Crop and Environmental Science.* San Antonio, Texas, USA. pp: 25.
- 10 Islas R. A., F. MacRitchie, S. Gandikota, y G. Hou. 2005. Relaciones de la composición
11 proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Rev.*
12 *Fitotec. Mex.* 28: 243-251.
- 13
- 14 Izadi A., B. Yazdi, A. A: Shanejata, and M. Mohammadi. 2010. Allelic variations in *Glu-*
15 *1* and *Glu-3* loci of historical and modern Iranian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *J.*
16 *Genet.* 89, 193–199.
- 17 Jackson E., A. M. Morel, H. T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky, and R.
18 Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3*
19 loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Genet. and Breed.* 50: 321-336.
- 20 Jin H., Y. Zhang, G. Li, P. Mu, Z. Fan, X. Xia, and Z. He. 2013. Effects of allelic
21 variation of HMW-GS and LMW-GS on mixograph properties and Chinese noodle and steamed
22 bread qualities in a set of Aroona near-isogenic wheat lines. *J of Cereal Sci.* 57: 146-152.

- 1 Li X., T. Liu, L. Song, H. Zhang, L. Li, and X. Gao. 2016. Influence of high-molecular-
2 weight glutenin subunit composition at *Glu-A1* and *Glu-D1* loci on secondary and micro
3 structures of gluten in wheat (*Triticum aestivum* L.), Food Chem. 213: 728-734.
- 4 Liang X., S. Zhen, C. Han, C. Wang, X. Li, W. Ma, and Y. Yan. 2015. Molecular
5 characterization and marker development for hexaploid wheat-specific HMW glutenin subunit
6 *1By18* gene. Mol. Breed. 35: 221.
- 7 Liu L., Z. H. He, W. J. Ma, J. J. Liu, X. C. Xia, and R. J. Peña. (2009). Allelic variation at
8 the *Glu-D3* locus in Chinese bread wheat and effects on dough properties, pan bread and Noodle
9 qualities. Cereal Res. Comm. 37: 57-64.
- 10 Martínez E., R. Espitia, H. E. Villaseñor, J. D. Molina, I. Benítez, A. Santacruz, y R. J.
11 Peña. 2010. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes II. Relación con
12 combinaciones de los loci *Glu-1* y *Glu-3*. Agrociencia. 44:187-195.
- 13 Martínez C. E., R. Espitia, H. E. Villaseñor M., R. Hortelano S. R., M. F. Rodríguez G., y
14 R. J. Peña B. 2014. La calidad industrial de la masa y su relación con diferentes loci de gluteninas
15 en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), Agrociencia. 48: 403-411.
- 16 Martínez C. E., E. Espitia R., H. E. Villaseñor M., y R. J. Peña B. 2012. Contribución de
17 los loci *Glu-B1*, *Glu-D1* y *Glu-B3* a la calidad de la masa del trigo harinero. Rev. Fitotec. Mex.
18 35: 135-142.
- 19 Nei, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. National
20 Academy of Sciences of the United States of America. 70: 3321-3323.
- 21 Payne P. I. 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on
22 breadmaking quality. Annu. Rev. of Plant Physiol. 38:141-153.
- 23 Payne P. I., and O. K. Corfield. 1979. Subunit composition of wheat glutenin proteins,
24 isolated by gel filtration in a dissociating medium. Planta. 145: 83-88.

- 1 Payne P. I., and J. G. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*,
2 *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high molecular weight subunits of glutenin in hexaploid
3 wheat. *Cereal Res. Comm.* 11: 29-35.
- 4 Peña R. J., H. S. González, and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3*
5 allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat
6 breeding. *In: Masci, S., and D. Lafiandra (eds). Proceedings of the 8th International Gluten*
7 *Workshop*. Viterbo, Italy. pp: 156-157.
- 8 Peña B. R. J., R. Trethowan, W. H. Pfeiffer, and M. V. Ginkel. 2002. Quality
9 improvement in wheat. Compositional, genetic, and environmental factors. *J. Crop. Prod.* 5: 1-
10 37.
- 11 Rasheed A., T. Safdar, A. Gul-Kazi, T. Mahmood, Z. Akram, and A. Mujeeb-Kazi. 2012.
12 Characterization of HMW-GS and evaluation of their diversity in morphologically elite synthetic
13 hexploid wheats. *Breed. Sci.* 62: 365-370.
- 14 Shewry P. R., and N. G. Halford. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties
15 and role in gran utilization. *J. Exp. Bot.* 53: 947-958.
- 16 Shewry P. R., N. G. Halford, and D. Lafiandra. 2003. Genetics of wheat gluten proteins.
17 *Adv. in Genet.* 49: 111-184.
- 18 SAGARPA, 2015, 3er Informe de labores 2014-2015, Ed. Grupo Gerzec, S. A. de C. V.
19 México, D. F., pp: 92-124.
- 20 Singh N. K., K. W. Shepherd, and B. G. Cornish. 1991. A simplified SDS PAGE
21 procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- 22 Tanaka H., R. Shimizu, and H. Tsujimoto. 2005. Genetical analysis of contribution of low
23 molecular weight glutenin subunits to dough strength in common wheat (*Triticum aestivum* L.).
24 *Euphytica.* 141: 157-162.

1 Wang X., R. Appels, X. Zhang, F. Bekes, K. Torok, S. Tomoskozi, D. Diepeveen, M.
2 Wujum, and S. Islam. 2016. Protein-transitions in and out of the dough matrix in wheat flour
3 mixing. *Food Chem.* 217: 542-551.

4 Zhang X., D. Liu, J. Zhang, W. Jiang, W. Yang, J. Sun, Y. Tong, D. Cui, and A. Zhang.
5 2013. Novel insights into the composition, variation, organization and expression of the low-
6 molecular-weight-glutenin subunit gene family in common wheat. *J. Exp. Bot.* 64: 2027-2040.

7 Zheng S., P. F. Byrne, G. Bai, X. Shan, S. D. Reid, S. D. Haley, and B. W. Seabourn.
8 2009. Association analysis reveals effects of wheat glutenin alleles and rye translocations on
9 dough-mixing properties. *J. Cereal Sci.* 50: 283-290.

10

7.2. Resultados no publicados

7.2.1. Marcador molecular Bx7

Los resultados de la PCR (Figura 6) confirmaron la presencia del alelo Bx7 en la variedad RSM-Norman F2008. Lo cual, afirmó su identificación mediante SDS-PAGE. Esta subunidad está relacionada con calidad panadera regular (Ibrahim, 2013), sin embargo, en combinación con los alelos *Gli-A1* (2), *Gli-B1* (7+9) y *Gli-D1* (5+10) ha sido relacionada como gluten fuerte y de excelente extensibilidad. Por lo tanto, se sugirió a la variedad RSM-Norman F2008 como apta para panificación (Martínez *et al.*, 2012).

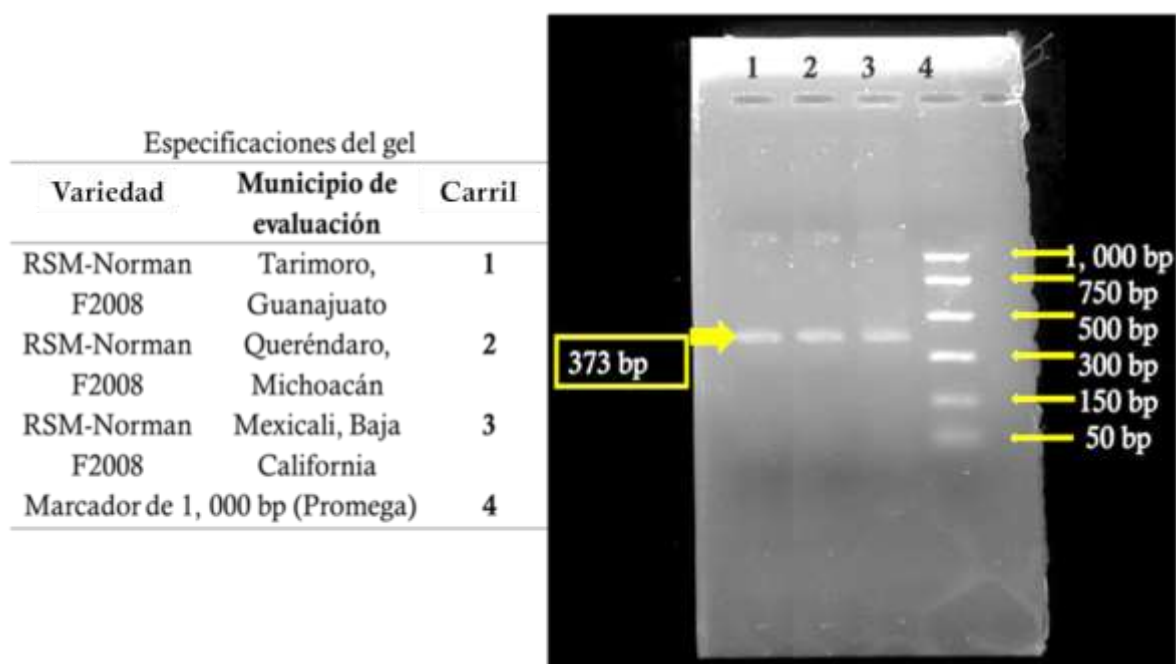


Figura 6. Gel de agarosa al 2,0% de la variedad RSM-Norman F2008 evaluada en tres Localidades de México.

7.2.2. Calidad panadera de harinas de grano entero de trigo

7.2.2.1. Variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.

En el Tabla 11, se muestra el cuadrado medio del análisis de varianza para las variables bromatológicas (HUM y PRO), mixograma y prueba de Kieffer Rig. De las cuales, casi todas las variables presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$). La variedad Cal Blanco destacó por su mayor contenido de proteína (14,33%), lo cual, concuerda con lo que se ha reportado en otras HGE (Tabla 12) con cifras superiores a las de harinas refinadas (9,4-13,2%) (Espitia *et al.*, 2003). Esto se ha sugerido debido a que las HGE contienen el germen, que tal cual, este es rico en éstas biomoléculas (Pomeranz, 1987; Zanoni *et al.*, 1993; Bassandorj *et al.*, 2015; Bressiani *et al.*, 2017). La variedad RSM-Norman F-2008 (Tabla 12) obtuvo valores de proteína de 10,17% en el mismo plano, que las harinas integrales y refinadas, aunque tales valores son inferiores a los reportados por Liu *et al.* (2016) y Bressiani *et al.* (2017) para HGE. Las presentes HGE tuvieron valores de proteína que se han descrito como aptos para panificación (Barak *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2015; Cerda-Cova y Vázquez-Chávez, 2017). En cuanto al contenido de humedad los resultados de las HGE, mostraron valores más bajos de humedad que la harina Testigo 1, posiblemente por el contenido de humedad del grano al momento de la molienda. Por lo que las características tecnológicas y funcionales de las muestras evaluadas pueden resultar favorables para la elaboración de pan, como es el caso de las harinas refinadas e integrales, ya que tales variables dictan estas características (Matos *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2015).

Tabla 11. Cuadrado medio del análisis de varianza para las variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.

FV	Cuadrado medio del tratamiento	Cuadrado medio del error	Total correcto
GL	4	10	14
HUM	3.440*	0.029	
PRO	5.117*	0.162	
TOA	0.531*	0.000	
CAA	0.650*	0.000	
EST ₄₅	432.192*	6.961	
FMA ₄₅	0.095*	0.004	
EXT ₄₅	971.830*	14.772	
REM ₄₅	10.158 ^{NS}	3.370	
EST ₉₀	313.561*	6.049	
FMA ₉₀	0.036*	0.003	
EXT ₉₀	826.128*	10.58	
REM ₉₀	0.00003 ^{NS}	0.00003	

(* = $P \leq 0.05$; NS = No significativo); NS = No significativo; FV= fuente de variación; GL = Grados de libertad; HUM= humedad; PRO= proteína; TOA= tiempo óptimo de amasado; CAA=cantidad de agua absorbida; EST₄₅= trabajo de deformación de la masa a 45 min de fermentación; FMA₄₅= fuerza máxima de la masa a 45 min de fermentación; EXT₄₅= extensibilidad de la masa a 45 min de fermentación; REM₄₅= tiempo de resistencia máxima de la masa a 45 min de fermentación; EST₉₀= trabajo de deformación de la masa a 90 min de fermentación; FMA₉₀= fuerza máxima de la masa a 90 min de fermentación; EXT₉₀= extensibilidad de la masa a 90 min de fermentación; REM₉₀= tiempo de resistencia máxima de la masa a 90 min de fermentación.

Tabla 12. Prueba de diferencia mínima significativa de las variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.

Variable [†]	Harinas de grano entero			Harinas testigo		DMS (0.05)
	RSM-Norman F-2008	Mattchet F-2011	Cal Blanco F-2011	Harina integral	Harina refinada	
HUM (%)	10.17 c	10.26 c	10.87 b	12.61 a	10.01 c	0.3106
PRO (%)	10.94 b	10.97c	14.33 a	13.29 b	13.13 b	0.7328
TOA (min)	4.50 b	4.50 b	4.50 b	4.80 a	3.68 c	0.0215
CAA (mL)	19.21 d	18.86 e	20.04 a	19.77 b	19.59 c	0.8282
EST ₄₅ (g mm)	1,048.98 d	1,531.63 c	2,063.27 b	862.24 d	3,909.18 a	4.8001
FMA ₄₅ (g)	94.90 a	76.53 b	105.10 a	58.16 c	81.63 b	0.1151
EXT ₄₅ (mm)	33.80 c	49.57 b	48.46 b	47.53 b	82.42 a	6.9921
EST ₉₀ (g mm)	1,103.06 c	1,822.45 b	2,285.71 b	1,050.00 c	3,592.86 a	5.1823
FMA ₉₀ (g)	95.92 a	73.47 c	86.73 b	68.37 c	84.69 b	0.1012
EXT ₉₀ (mm)	35.03 d	53.80 b	60.29 b	46.41 c	79.49 a	5.9187

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($DMS \leq 0.05$); [†]PRO= proteína; TOA= tiempo óptimo de amasado; CAA=cantidad de agua absorbida; EST₄₅= trabajo de deformación de la masa a 45 min de fermentación; FMA₄₅= fuerza máxima de la masa a 45 min de fermentación; EXT₄₅= extensibilidad de la masa a 45 min de fermentación; TIE₄₅= tiempo de resistencia máxima de la masa a 45 min de fermentación; EST₉₀= trabajo de deformación de la masa a 90 min de fermentación; FMA₉₀= fuerza máxima de la masa a 90 min de fermentación; EXT₉₀= extensibilidad de la masa a 90 min de fermentación; TIE₉₀= tiempo de resistencia máxima de la masa a 90 min de fermentación.

Respecto a los resultados del Mixograma, las variables REM₄₅ y REM₉₀ no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Tabla 11). El TOA (Tabla 12) depende de la cantidad y calidad de la proteína y afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo, cuanto mayor es este, mayor es la fuerza de la masa y mejor la calidad panadera de la harina utilizada para elaborarla (Vásquez-Lara *et al.*, 2009). Los TOA de las presentes HGE fluctuaron con los valores reportados (4.05-7.60 min) por Vásquez-Lara *et al.* (2009), para harinas refinadas. Por lo que se consideraron como valores intermedios y prolongados, que resultan favorables para el desarrollo de buen un volumen de pan y con una buena tolerancia al mezclado. Igualmente, estos materiales se sugieren con propiedades físicas ya reportadas para una buena influencia sobre la calidad del producto final. Ya que el TOA se relaciona directamente con la fuerza de la masa y con una mejor calidad del pan (Cauvain, 2012). Esta prueba puede

considerarse como accesible y es muy utilizada en los programas de fitomejoramiento, por requerir poca muestra (10 a 35 g) y un corto tiempo de proceso (1.8-3.8 min) (Serna-Saldívar, 1996; Morales *et al*, 2016). En cuanto a la prueba de Kieffer Rig, en el Tabla 12, se muestran los valores obtenidos del trabajo de deformación (EST₄₅ y EST₉₀), fuerza máxima (FMA₄₅ y FMA₉₀) y el de extensibilidad de las masas (EXT₄₅ y EXT₉₀) a 45 y 90 min de fermentación. El trabajo de deformación de la masa requerido (EST) fue mayor (2,285.71 g mm) en HCB que en las otras HGE (1,103.06-1,822.45 g mm), sin embargo a 90 min, la HGE de HM se comportó igual que HCB. Las HGE evaluadas mostraron valores del trabajo de deformación de las masas, más bajos que los reportados por Islas *et al.* (2005) y Vásquez-Lara *et al.* (2009), pero en este trabajo se no se fortaleció la fuerza de la masa por añadidura de sal y esta prueba, representa el contenido de proteína y la fuerza en las harinas. En cuanto a la FMA₄₅ y FMA₉₀, estas variables indicaron la resistencia a la extensión, como un indicador de la estabilidad de las masas, durante la fermentación y los valores de las presentes HGE se mostraron como fuertes, principalmente HCB y HN (105.1 y 94.9 g respectivamente). Ya que sus valores fueron por encima de las harinas testigo (58.16 para Testigo 1 y 81.63 g para Testigo 2). Las HGE fueron masas de buena calidad por la disminución en la extensibilidad (EXT) con un aumento en la resistencia a la extensión (FMA), lo cual, se ha relacionado con una mayor concentración de iones hidrógeno en la fermentación, mismos que provienen de los ácidos formados y que se unen a las proteínas. Como consecuencia, se aumentan los puentes de hidrógeno y disminuye la extensibilidad (Collar *et al.*, 1994).

7.2.2.2. Prueba de panificación

Los resultados de la prueba de panificación no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el peso de pan (Tabla 13). Los panes de las HGE mostraron buenos VOP ($>137.9 \text{ cm}^3$), VOE (2.74 g cm^3) y HAL (7.5) (Tabla 14) similares a los obtenidos en la harina comercial integral. Lo cual, se podría relacionar con el efecto de la proteína de los materiales y fuerza de sus harinas, durante la fermentación, incluso en estas harinas sin tratamientos de refinación (Cauvain, 2012). Survase *et al.* (2017) mencionaron que elevados VOE en esta prueba, se asocian con baja relación gliadina/glutenina (Dhaka y Khatkar, 2015) por lo tanto, si los valores VOE de las HGE estudiados se asemejan a las de

las harinas comerciales, sin sobrepasarlos se podría sugerir que la relación gliadina/glutenina es baja. El HAL tal como se esperaba fue mejor en la harina refinada, sin embargo, los demás materiales presentaron de regular a buen alveolado (Figura 7.). La harina integral testigo tuvo los valores más bajos de VOP, VOE y HAL (Tabla 14). Los valores de VOP, VOE y HAL de las tres HGE evaluadas mostraron parámetros de calidad iguales e incluso superiores a las harinas integrales ya comercializadas.

Tabla 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de la prueba de panificación y de fermentación.

FV	Cuadrado medio del tratamiento	Cuadrado medio del error	Total correcto
GL	4	10	14
PEP	0.912 ^{NS}	0.818	
VOP	3300.562*	52.821	
VOE	1.408*	0.023	
HAL	9.375*	0.000	
FER ₁₅	62.062*	4.232	
FER ₃₀	77.680*	6.271	
FER ₄₅	70.258*	5.908	
FER ₆₀	40.068*	0.909	
PiM	9.952*	0.166	
pHi	0.249*	0.003	
TEA	3.558*	0.167	
TEiM	1.033*	0.318	
PfM	16.419*	3.523	
pHf	0.207*	0.011	

($P \leq 0.05$; NS = No significativo); FV= fuente de variación; GL = Grados de libertad; PEP= peso de pan; VOP=volumen de pan; VOE= volumen específico de pan; HAL= homogeneidad del alveolado; FER₁₅=volumen de fermentación a los 15 min; FER₃₀=volumen de fermentación a los 30 min; FER₄₅=volumen de fermentación a los 45 min; FER₆₀=volumen de fermentación a los 60 min; PiM= peso inicial de la masa; pHi=pH inicial de la masa; TEA= temperatura del agua; TEiM= temperatura de la masa; PfM =peso final de la masa; pHf=pH final de la masa.

Tabla 14. Prueba de diferencia mínima significativa de las variables en la prueba de panificación y fermentación.

Variable [†]	Harinas de grano entero			Harinas testigo		DMS (0.05)
	RSM-Norman F-2008	Mattchet F-2011	Cal Blanco F-2011	Harina integral	Harina refinada	
VOP (cm ³)	139.50 c	138.04 c	169.33 b	137.90 c	214.07 a	13.222
VOE (g cm ³)	2.77 c	2.79 c	3.35 b	2.74 c	4.33 a	0.2459
HAL	7.50 b	5.00 c	7.50 b	7.50 b	10.00 a	0
PiM (g)	83.22 c	84.34 b	82.67 c	87.00 a	82.67 c	0.7411
pHi	6.04 a	6.07 a	6.08 a	5.43 c	5.72 b	0.1046
TEA (°C)	24.83 c	27.67 a	26.83 b	27.00 b	27.17 ab	0.7427
TEiM (°C)	24.02 b	24.22 b	24.63 b	24.30 b	25.51 a	1.0262
PfM (g)	82.45 b	83.34 b	85.00 ab	88.00 a	82.47 b	3.4148
pHf	4.55 c	4.96 b	4.93 b	4.90 b	5.29 a	0.1925

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS≤0.05); [†]PEP= peso de pan; VOP=volumen de pan; VOE= volumen específico de pan; HAL= homogeneidad del alveolado; FER₁₅=volumen de fermentación a los 15 min; FER₃₀=volumen de fermentación a los 30 min; FER₄₅=volumen de fermentación a los 45 min; FER₆₀=volumen de fermentación a los 60 min; PiM= peso inicial de la masa; pHi=pH inicial de la masa; TEA= temperatura del agua; TEiM= temperatura de la masa; PfM =peso final de la masa; pHf=pH final de la masa.



Figura 7. Panes elaborados con harina refinada marca “Los gallos” (HGRSA), harina integral marca “Los gallos” (HGISA) y con las harinas de grano entero de Cal Blanco F2011 (HCB), Mattchet F2011 (HM) y RSM-Norman F2008 (HN).

7.2.2.3. Prueba de volumen de fermentación en cilindro

Los resultados de esta prueba (Tabla 13) indicaron que existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las HGE y las dos harinas comerciales, en todas las variables analizadas. Las masas de las HGE de Cal Blanco F2011 (HCB) y Matychet F2011 (HM), mostraron valores de pH_f próximos a 4.5 y se proponen, como masas de buena calidad durante la fermentación, como las comerciales. Ya que dichos valores de pH son favorables para la actividad de la levadura y por lo tanto, en la mejora de las características físicas del gluten dentro de la masa. Por debajo de este pH la actividad de la levadura puede disminuir, y las masas hacerse más viscosas y difíciles de trabajar (Cerde-Cova y Vázquez-Chávez, 2017). La levadura aporta CO₂ durante la fermentación primordialmente alcohólica, la cual, es característica importante para un mejor control de la fermentación. La acidificación producida por bacterias ácido lácticas inhibe la actividad amilolítica de la levadura, siendo un factor muy importante, en la gelatinización del almidón. También, un pH adecuado en las masas es de 4.9 y en éste, se mejora la capacidad de absorción de agua, valor nutricional, favorece la presencia de aromas y sabores, reduce el enranciamiento, provee elasticidad y volumen de pan y se previene, una mala fermentación y mal desarrollo de la masa (Wood, 1998).

Tabla 15. Prueba de comparación de medias por diferencia mínima significativa para las harinas y tiempos en la prueba de fermentación.

††Volumen de fermentación a diferentes tiempos	†Harinas					
	Harina refinada testigo	Harina integral testigo	Cal Blanco F-2011	Matychet F-2011	RSM-Norman F-2008	DMS (0.05)
FER ₁₅ (cm ³)	25.73 az	18.71 bz	15.22 cz	16.67 bcy	23.78 ay	3.48
FER ₃₀ (cm ³)	52.67 ay	34.80 bcy	35.00 bcy	31.33 cx	38.45 bx	5.45
FER ₄₅ (cm ³)	69.73 ax	52.47 bx	41.22 cx	44.22 cw	45.33 cw	5.84
FER ₆₀ (cm ³)	75.60 aw	61.63 bw	43.67 cw	47.00 cw	43.67 cw	5.75
DMS (0.05)	3.96	5.27	1.85	4.19	3.81	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($DMS \leq 0.05$); Literales de la a-c se leen por filas; Literales de w-z se leen por columnas; †Harinas evaluadas; ††Volumen de fermentación a diferentes tiempos: FER₁₅=volumen de fermentación a los 15 min; FER₃₀=volumen de fermentación a los 30 min; FER₄₅=volumen de fermentación a los 45 min; FER₆₀=volumen de fermentación a los 60 min.

El volumen de fermentación de todas las HGE a los 30 min (FER₃₀) fue similar a la harina integral testigo. A los 60 min de fermentación (FER₆₀) las masas de las HGE se expandieron en un menor volumen probablemente, debido a que no tienen un proceso de refinación (Tabla 15). Así, al tomar en cuenta los resultados de calidad panadera, se sugieren como aptas para fermentaciones no mayores a 45 min para obtener buenos productos de panificación, y sin la necesidad, de añadir hidrocoloides, con mayor aporte de fibra, incluso sin un control del tamaño de partícula directamente (Cauvin *et al.*, 2015; Survase *et al.*, 2017). Finalmente, esta estimación pudo visualizarse mediante los volúmenes de fermentación en este tipo de pruebas menos costosas y más factibles, junto a pruebas de calidad panadera convencionales, puesto que el comportamiento de la composición del gluten se reflejó indirectamente, en los volúmenes de fermentación y en los parámetros de calidad panadera (Dhaka y Khatkar, 2015; Survase *et al.*, 2017).

7.2.2.4. Análisis de correlación

El análisis de correlación de las variables bromatológicas, mixograma, prueba de Kieffer Rig, calidad panadera y prueba de fermentación en cilindro mostraron resultados con diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Principalmente, en la correlación en calidad panadera con PRO, TOA y pH_f. Vázquez-Lara *et al.* (2009) afirmaron que en panificación, el contenido de PRO, afecta más la funcionalidad y calidad de los productos finales. Esto se debe a que factores como la CAA que correlacionaron positivamente con PRO ($R^2 = 0.8456^*$), dependieron de la cantidad y calidad de la proteína (Pomeranz, 1987). El pH_f de la prueba de fermentación en cilindro, se encontró correlacionado de manera negativa con TOA ($R^2 = -0.87145^*$) indicando que a medida que aumenta el pH_f el TOA disminuye y viceversa. Para VOP ($R^2 = 0.74164^*$) y EXT₉₀ ($R^2 = 0.60238^*$) el pH_f tuvo una correlación positiva indicando que a medida que aumenta una de estas variables la otra de igual forma aumenta. Lo anterior, ha sido reportado para los valores de pH alrededor de 4.5, como favorables para la actividad metabólica de la levadura en el gluten y por resultado, sobre la estructura de la masa y en la gelatinización del almidón (Cerde-Cova y Vázquez-Chávez, 2017).

VIII. CONCLUSIÓN GENERAL

La calidad panadera de las HGE de las variedades Cal Blanco F2011, Matchett F2011 y RSM-N Norman F2008, cultivadas en diferentes ambientes en México, resultó adecuada para panificación, con una calidad de moderada-alta a alta, mediante la evaluación con marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas, reológicas y con la adaptación de una prueba de volumen de fermentación en cilindro (no convencional) menos costosa y más factible, que las metodologías reológicas de mayor complejidad.

IX. RECOMENDACIONES

- Caracterizar la actividad enzimática de la levadura y como influye en la calidad final de las masas de HGE.
- Estudiar el comportamiento reológico de las harinas de grano entero, pues es poca la información que existe de su comportamiento según el tamaño de partícula y diversos metodos de molienda en el proceso de panificación.
- Analizar la calidad panadera mediante pruebas de panificación con mezclas de HGE con harinas refinadas e integrales.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1995. Approved Methods of the AACC, 9th Ed. The Association: St. Paul, MN. Methods 10.05, 10-10B, 44-19, 46-13, 54-10, 50-40, 54-40A.

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1976. Approved Methods of the AACC. Method 76-11.

Antolín, D. S. 2001. Evaluación de la Calidad de Harina de Trigo (*Triticum vulgare*) para la industria de panificación. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Industrial. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1999. Official Methods of Analysis of the AOAC. 16th 247 ed. Washington, D.C., USA. [en línea] USA [Consulta: 15 julio 2016]. Disponible en http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AOAC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48. Methods 925.09, 954.01, 942.05, 996.11.

Avendaño, C. M. 2002. Avance genético en parámetros de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.) combinando mejoramiento convencional y selección asistida por marcadores moleculares en poblaciones segregantes. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.

Baasandorj, T., Ohm, J. B. Manthey, F. and Simsek, S. 2015. Effect of kernel size and mill type on protein, milling yield and baking quality of hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*. 92 (1): 81-87.

Barak, S., Mudgil, D. and Khatkar, B. S. 2013. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT – Food Science and Technology*. 51 (1): 211-217.

- Barak, S., Mudgil, D. and Khatkar, B. S. 2015. Biochemical and functional properties of wheat gliadins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55: 357-368.
- Barrera, G. N. 2014. Efecto del almidón dañado sobre las propiedades de las masas panarias y la calidad de los panificados. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Tesis licenciatura. Córdoba, Argentina.
- Battenfield S. D., C. Guzmán, R. C. Gaynor, R. P. Singh, R. J. Peña, S. Dreisigacker, A. K. Fritz and Poland, A. J. 2016. Genomic Selection for Processing and End-Use Quality Traits in the CIMMYT Spring Bread Wheat Breeding Program. *The plant genome*. 9: 1-12.
- Beccari, J. B. 1745. *De Frumento. De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii II. Part I: 122–127.*
- Bellil, I., Hamdi, O. and Khelifi, D. 2014. Allelic variation in *Glu-1* and *Glu-3* loci of bread wheat (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L. em. Thell.) germplasm cultivated in Algeria. *Cereal Research Communications*. 42: 648-657.
- Bonafede, M. D., Tranquilli, G., Pflüger, L. A., Peña, R. J. and Dubcovsky J. 2015. Effect of allelic variation at the *Glu-3/Gli-1* loci on bread making quality parameters in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*. 62: 143-150.
- Branlard, G., Dardevet, M., Amiour, N. and Igrejas, G. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50: 669-679.
- Bressiani J., Oro, T., Santetti, G. S., Almeida, J. L., Bertolin, T. E., Gómez, M. and Gutkoski, L. C. 2017. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*. 75: 269-277.
- Butow, B., Gale, K., Ikea, J., Juhasz, A., Bedö, Z., Tamas, L. and Gianibelli, M. 2004. Dissemination of the highly expressed Bx7 glutenin subunit (*Glu-B1* allele) in wheat as revealed by novel PCR markers and RP-HPLC. *Theoretical and Applied Genetics*. 109: 1525-1535.

CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2017. Reporte Estadístico 2015 con información al 2016, Sinergia Diseño Ayuntamiento 7-2ª Col. Cd. Adolfo López Mateos, Edo. de México, México, 136 p.

Castro, N., Domínguez, R. y Paccapelo, H. 2011. Análisis del rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (Triceptiros y Triticales). Revista de la Facultad de Agronomía-UNLPam. 22: 13-21.

Cauvain, S. P. 2012. Breadmaking, Improving quality. Second edition. Woodhead Publishing Limited. United Kingdom. 802 p.

Caviglia, O. P., Sadras, V. O. and Andrade, F. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat soybean. Field Crops Research. 87: 117-121.

Centrodecorredores. 2017. Estructura del grano de trigo [en línea]. [Consulta: 6 de Junio 2017]. www.centrodecorredores.com.ar/trigoestructuradelgrano.asp?nom=estructura.

Cerda-Cova, V. and Vázquez-Chávez, L. 2017. Diferentes masas de trigo prefermentadas usadas para mejorar la calidad del pan. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 2: 60-64.

Chaudhary, N., Dangi, P., and Khatkar, S. B. 2016. Effect of Gliadin Addition on Dough Mixing Properties of Wheat Varieties. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 5: 1942-1947.

CIMMYT (Centro Internacional de Maiz y Trigo). 2015. Distribución alélica de las variedades Pavón 76, Ópata M85 y Pitic 62.

Collar, C., Benedito de Barber, C. and Martínez Anaya, M. A. 1994. Microbial sour doughs influence acidification properties and breadmaking potential of wheat dough. Journal of Food Science. 59 (3): 629-663.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia [en línea]. México [Consulta: 15 de Agosto 2016]. Disponible en:

<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resúmenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.

De Bustos, A., Rubio, P. and Jouve, N. 2000. Molecular characterisation of the inactive allele of the gene *Glu-A1* and the development of a set of AS-PCR markers for HMW glutenins of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 100: 1085-1094.

de la Horra, A. E., Seghezzo, M. L., Molfese, E., Ribotta, P. D. y León, A. E. 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*. 29: 81-89.

De la O' Olán, M., Espitia, R. E., Molina, J. D. y Villaseñor H. E. 2010. Estabilidad a través de ambientes de las propiedades reológicas de trigos harineros en función de sus gluteninas de alto peso molecular. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33: 125-131.

De la Vega, A. J. y De la Fuente, E. 2003. Elección de variedades. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA. Cap. 14: 318-349.

Delcour, J. A. and Hoseney, R. C. 2009. *Principles of Cereal Science and Technology*. AACC International. 280 p.

Dendy, D. A. y Dobraszczyk, B. J. 2004. *Cereales y Productos Derivados*. Química y Tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Dendy, D. A. V. y Dobraszczyk, B. J. *Cereales y productos derivados, Química y Tecnología*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. p 403-421.

Dexter, J. E., Wood, P. J. y FAO. 1996. Aplicaciones recientes de la desramificación del trigo antes de la molienda. Rome (Italy). Food Policy and Nutrition Div. [Corporate Author] Canadian Grain Commission, Grain Research Laboratory, Winnipeg, Manitoba R3C 3G8 (Canadá).

Dhaka, V. and Khatkar, B. S. 2015. Effects of gliadin/glutenin and HMW-GS/LMW-GS ratio on dough rheological properties and bread-making potential of wheat varieties. *Journal of Food Quality*. 38: 71-82.

Dong, L., Zhang, X., Liu, D., Fan, H., Sun, J., Zhang, Z., Qin, H., Li, B., Hao, S. and Li, Z. 2010. New insights into the organization, recombination, expression and functional mechanism of low molecular weight glutenin subunit genes in bread wheat. PLoS One 5: 135-148.

D'Ovidio, R. and Masci, S. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. Journal of Cereal Science. 39: 321-339.

D'Ovidio, R., Masci, S., Porceddu, E. and Kasarda, D. 1997. Duplication of the Bx7 high-molecular weight glutenin subunit gene in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar 'Red River 68'. Plant breed. 116: 525-531.

Dreamstime. 2017. Anatomy of a grain [en línea]. [Consulta: 6 de Junio 2017]. www.dreamstime.com/stock-illustration-grain-anatomy-cross-section-endosperm-germ-bran-layer-hairs-brush-image66289253.

Dreisigacker, S., Peña, R. J., Hernández, N., Guzmán, C. y Villaseñor-Mir, H. E. 2014. Uso de marcadores moleculares en el mejoramiento de la calidad de trigo. México, D.F.: CIMMYT. 10 p.

Espí, A., Giraldo, P., Rodríguez-Quijano, M. and Carrillo, J. M. 2012. A PCR-based method for discriminating between high molecular weight glutenin subunits Bx7 and Bx7* in *Triticum aestivum* L. Plant breeding. 131 (5): 571-573.

Espí, P. A. 2013. Estudio molecular de gluteninas de alto y bajo peso molecular en *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L. y su relación con la calidad panadera. Tesis. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.

Espitia, R. E., Peña B. R. J., Villaseñor M. H. E., Huerta E. J. y Limón O. A. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. Revista Fitotecnia Mexicana. 26 (4): 249-256.

Ferruzzi, M. G., Jonnalagadda, S. S., Liu, S., Marquart, L., McKeown, N., Reicks, M., Riccardi, G., Chris Seal, C., Slavin, J., Thielecke, F., van der Kamp, J-W., and Webb, D.

2014. Developing a Standard Definition of Whole-Grain Foods for Dietary Recommendations: Summary Report of a Multidisciplinary Expert Roundtable Discussion. Review. American Society for Nutrition. *Advances of Nutrition*. 5: 164-176.

Finney, K. F., Yamazaki, W. T., Youngs, V. L., and Ruben-Thaler, G. L. 1987. Quality of hard, soft and *durum* wheats. Chap 10 in: *Wheat and Wheat Improvement*. Agronomy Monogr. 13, 2nd ed. E. G. Heyne, ed. American Society of Agronomy: Madison, WI.

Gao, X., Liu, T. J., Yu, L., Li, Y. F. and Li, X. 2016. Influence of high-molecular-weight glutenin subunit composition at *Glu-B1* locus on secondary and micro structures of gluten in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Chemistry*. 197: 1184-1190

García, M. R. 2014. Conferencia. Las leyes de la herencia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C.

Gianibelli, M., Larroque, O., MacRitchie, F. and Wrigley, C. 2001. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chemistry Journal*. 78: 635-646.

Giraldo, P., Rodriguez-Quijano, M., Simon, C., Vazquez, J. F. and Carrillo, J. M. 2010. Allelic variation in HMW glutenins in Spanish wheat landraces and their relationship with bread quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8 (4): 1012-1023.

Griffiths, J. F., Gelbart, W. M., Lewontin, R. C., Wessler, S. R., Suzuki, D. T. and Miller, J. H. 2005. *Introduction to Genetic Analysis*. Nueva York: W.H. Freeman and Co. p 34-40, 473-476, 626-629. ISBN 0-7167-4939-4.

Gulia, N., and Khatkar, S. B. 2014. Quantitative and qualitative assessment of wheat gluten proteins and their contribution to instant noodle quality. *International Journal of Food Properties*. 18: 1648-1663.

Gupta, R. and Shepherd, K. 1990. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutelin. *Theoretical and Applied Genetics*. 80: 65-74.

Guzmán, C., Posadas-Romano, G., Hernández-Espinosa, N., Morales-Dorantes, A. and Peña, R. J. 2015. A new standard water absorption criteria based on solvent retention capacity (SRC) to determine dough mixing properties, viscoelasticity and bread-making quality. *Journal of Cereal Science*. 66: 59-65.

Hernández, P. R., Gaspar, R. y Guillen, D. 2007. Detección de fitoplasma en nopal (*Opuntia ficus-indica Mill*), en el Estado de México. Provedora Fitozoosanitaria S.A. de C.V. 9 p.

Hewstone, M. C. 2003. Rediseño de componentes de rendimiento y su interacción con el manejo. In: Seminario Internacional sobre estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo: Un enfoque Multidisciplinario. M. Mohan K., M. Díaz A., M. Castro. CIMMYT-INIA: La Estancuela, Uruguay. 1: 25-35.

Hoseney, R. 1994. Principles of cereal science and technology. St. Paul, MN: AACC International.

Hoseney, R. C. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia, 75 p.

Hruškova, M. and Faměra, O. 2003. Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. *Czech Journal of Food Sciences*. 21: 91-96.

Hruškova, M., Skodova, V. and Blazek, J. 2004. Wheat sedimentation values and falling number. *Czech Journal of Food Sciences*. 22: 51-57.

Hugo, W. y Godiño, M. 2000. Tecnología de almacenamiento de granos de trigo Montevideo (Uruguay): INIA. (INIA Serie Técnica; 107). 131 p.

HunterLab. 2015. Measurement Methods. [Consulta: 7 de diciembre de 2016]. 4 p. www.hunterlab.com.

Ibrahim A., I. 2013. Gene stacking of high molecular weight glutenin genes in bread wheat using molecular markers. In: ASA CSSA SSSA International Annual Meetings (ed). Fundamental for life: Soil, Crop and Environmental Science. San Antonio, Texas, USA. 25 p.

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

Jackson, E., Morel, A. M., Sontag-Strohm, H. T., Branlard, G., Metakovsky, E. V., and Redaelli, R. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics and Breeding*. 50: 321-336.

Jin, H., Zhang, Y., Li, G., Mu, P., Fan, Z., Xia, X. and He, Z. 2013. Effects of allelic variation of HMW-GS and LMW-GS on mixograph properties and Chinese noodle and steamed bread qualities in a set of Aroona near-isogenic wheat lines. *Journal of Cereal Science*. 57: 146-152.

Juárez, Z. N., Bárcenas-Pozos, M. E. and Hernández L. R. 2014. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 8 (1): 79-93.

Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., and Risvik, E. 2004. Sensory qualities of whole wheat a bread e influence of farming system, milling, and baking technique. *Journal of Cereal Science*. 39: 67-84.

Kulp, K. and Ponte, J. G. 2000. *Handbook of Cereal Science and Technology*. 2nd Edition. Revised and expanded. Marcel Dekker, Inc., New York, 790 p.

León, A. E y Rosell, C. M. 2007. *De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Capítulo 1: Trigo*. 1a edición, Cyted y Báez Ediciones. Córdoba, Argentina. 480 p.

Li, X., Liu, T., Song, L., Zhang, H., Li, L., and Gao, X. 2016. Influence of high-molecular-weight glutenin subunit composition at *Glu-A1* and *Glu-D1* loci on secondary and micro structures of gluten in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Chemistry*. 213: 728-734.

Liang, X., Zhen, S., Han, C., Wang, C., Li, X., Ma, W. and Yan, Y. 2015. Molecular characterization and marker development for hexaploid wheat-specific HMW glutenin subunit *1By18* gene. *Molecular Breeding*. 35:221.

Liu, Y., Xiong, Z., He, Y., Shewry, P. R, and He, G. 2007. Diversidad genética de la subunidad de glutenina HMW en variedades locales de trigo chino (*Triticum aestivum* L.) de la provincia de Hubei. *Recursos genéticos y evolución de los cultivos*, 54 (4): 865-874.

Liu, L., Wang, A., Appels, R., Ma, J., Xia, X., Lan, P., He, Z., Bekes, F., Yan, Y. and Ma, W. 2009. A MALDI-TOF based analysis of high molecular weight glutenin subunits for wheat breeding. *Journal of Cereal Science*. 50: 295-301.

Liu, Y., He, Z., Appels, R. and Xia, X. 2012. Functional markers in wheat: current status and future prospects. *Theoretical and Applied Genetics*. 125: 1-10.

Liu, T., Hou, G. G., Lee, B., Marquart, L. and Dubat, A. 2016. Effects of particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and tortillas made from it. *Journal of Cereal Science*. doi: 10.1016/j.jcs.2016.08.013.

Ma, W., Zhang, W. and Gale, K. R. 2003. Multiplex-PCR typing of high molecular weight glutenin alleles in wheat. *Euphytica*. 134: 51-60.

Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Platt-Lucero, L. C., López-Ahumada, G. A., Torres, P. I. y Sánchez-Machado, D. I. 2009. Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología, Ciencia, Educación*. 24 (1): 12-22

Manfreda, V. T. y Acosta, M. C. 2014. Variables de tamaño y forma de granos y embriones de trigo (*Triticum aestivum* L.): análisis y propuestas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 47 (7): 43-58.

Martínez, C. E., Espitia, R., Villaseñor, H. E., Molina, J. D., Benítez, I., Santacruz, A. y Peña, R. J. 2010. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes II. Relación con combinaciones de los loci *Glu-1* y *Glu-3*. *Agrociencia*. 44: 187-195.

Martínez, C. E., Espitia, R. E., Villaseñor, M. H. E. y Peña, B. R. J. 2012. Contribución de los loci *Glu-B1*, *Glu-D1* y *Glu-B3* a la calidad de la masa del trigo harinero. Revista Fitotecnia Mexicana. 35:135-142.

Martínez, C. E., Espitia, R., Villaseñor M. H. E., Hortelano R. S. R., Rodríguez G. M. F., y Peña B. R. J. 2014. La calidad industrial de la masa y su relación con diferentes loci de gluteninas en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). Agrociencia. 48: 403-411.

Matos S. P., de Francisco, A., de Zavariz, M. M. and Limberger, V. M. 2011. Review-Trigo: Características e utilização na panificação. Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande. 13 (2): 211-222.

Minitab 17 Statistical Software. 2010. [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc (www. Minitab.com).

Morales, V., Martínez, E., Espitia, E. y Rosas, M. R. 2016. Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 3 (8): 17-23.

Munteanu, M. G., Voicu, G., Ungureanu, N., Zăbavă, B. Ş., Ionescu, M., Constantin, G. and Istrate, I. 2016. Methods for determining the characteristics of flour and dough. p 349-354.

Nei, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. National Academy of Sciences of the United States of America. 70: 3321-3323.

NMX-F-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. 7 p.

NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* desf.). Especificaciones y métodos de prueba. Normas mexicanas. Dirección general de normas. 14 p.

Norma-NTE INEN-ISO 5529.2013. Wheat. Determination of the sedimentation index. Seleny test. Número de referencia ISO 5529:2007 (E). First Edition. Quito, Ecuador. 13 p.

Oliveira, L. C., Rosell, C. M. and Steel, C. J. 2015. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science and Technology*. 50 (6): 1504-1514.

Olmedo, G. F. 1964. El papel de la fermentación en la fabricación del pan. *Cereales*. 173: 13-15.

Ortíz, D. A. y Ojeda, M. M. 2006. Evaluación de la calidad molinera y dimensiones de los granos de dos variedades de arroz y sus varietales de arroz maleza. *Agronomía Tropical*. 56 (3): 18.

Osborne, T. B. 1924. *The vegetable proteins*. London: Longmans, Green and Co. 154 p.

Payne, P. I. and Lawrence, J. G. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high molecular weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Research Communications*. 11: 29-35.

Payne, P. I., and Corfield, O. K. 1979. Subunit composition of wheat glutenin proteins, isolated by gel filtration in a dissociating medium. *The Plant Journal*. 145: 83-88.

Peña, B. R. J., Hernández, E. N., Pérez, H. P., Villaseñor, M. E., Gómez, V. M. M. y Mendoza, L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. *Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO*. Mexico, D.F. 28 p.

Peña, B. R. J., Trethowan, R., Pfeiffer, W. H., and Ginkel, M. V. 2002. Quality improvement in wheat. Compositional, genetic and environmental factors. *Journal of Crop Production*. 5: 1-37.

Peña, R. J., González, H. S. and Cervantes, F. 2004. Relationship between *Glu-D1/Glu-B3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. In: Masci, S., and D. Lafiandra (eds). *Proceedings of the 8th International Gluten Workshop*. Viterbo, Italy. p 156-157.

Pomeranz, Y. 1987. *Modern Cereal Science and Technology*. VCH Publishers. New York. 486 p.

Radovanovic, N. and Cloutier, S. 2003. Gene-assisted selection for high molecular weight glutenin subunits in wheat doubled haploid breeding programs. *Molecular Breeding*. 12:51-59.

Ríos-Sánchez, E., Calleros, E., González-Zamora, A., Rubio, J., Martínez, A., Hernández, S. y Pérez-Morales, R. 2016. Análisis comparativo de diferentes métodos de extracción de DNA y su eficiencia de genotipificación en población mexicana. *Acta Universitaria*. 26 (4): 56-65.

Rodríguez-González, R. E., Ponce-Medina, J. F., Rueda-Puente, E. O., Avendaño-Reyes, L., Paz-Hernández, J. J., Santillano-Cazares, J. y Cruz-Villegas, M. 2011. Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14 (2): 21p.

Rodríguez-Quijano, M., Lucas, R., Ruiz, M., Giraldo, P., Espí, A. and Carrillo, J. M. 2010. Allelic variation and geographical patterns of prolamins in the USDA-ARS Khorasan wheat germplasm collection. *Crop Science*. 50: 2383-2391.

Rondanini, D., Borrás, L. and Savin R. 2012. Grain quality in oil and cereal crops. *Encyclopedia of sustainability science and technology*. R Meyer Editor. 16: 4550-4563.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. El cultivo del trigo (en línea). [Consulta: Mayo de 2013]. Disponible en <http://www.oidruss-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/ElCultivoTrigo.pdf>.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. 3er Informe de labores 2014-2015, Ed. Grupo Gerzec, S. A. de C. V. México, D. F., p 92-124.

Saint Pierre, C., Peterson, C. J., Ross, A., Ohm, J. B., Verhoeven, M. C., Larson, M. and Hofer, B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Agronomy journal*. 100: 414-420.

Salvagiotti, F. 2009. Manejo de soja de alta producción. Para Mejorar la Producción N° 42 EEA Oliveros INTA. Italia. p 57-62.

SAS. 2002. The Statical Analisis System for Windows. Versión 9.0. SAS Institute Inc. (ed.). Cary, N.C., U.S.A.

Sauceda, A. C., Villaseñor, M. H., Lugo, G. G., Partida, R. L., González, H. V. y Reyes, O. Á. 2017. Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8 (3): 517-529.

Seghezzo, M. R. 2014. Calidad en trigo candeal. INTA. 72p.

Serna-Saldívar, S. R. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México, D.F. 521 p.

Serna-Saldívar, S. R. 2010. Cereal Grains. Properties, Processing, and Nutritional Attributes. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ratón, FL, USA, D.F. 747 p.

Shewry, P. R., Halford, N. G. and Lafandra, D. 2003. Genetics of wheat gluten proteins. Advances in Genetics. 49: 111-184.

Siddiqi, R. A., Dalbir, S. S. and Sehajpal, P. K. 2016. Effect of short-term sour dough fermentation on wheat protein. Cogent Food & Agriculture. 2: 1132983

Singh, M., and Khatkar, B. 2005. Structural and functional properties of wheat storage proteins: a review. Journal of Food Science and Technology. 42: 455.

Singh, N., Shepherd, K. and Cornish, G. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. Journal of Cereal Science. 14: 203-208.

Slack, J. M. W. 2014. Genes-A Very Short Introduction. Oxford University Press. 152p.

Slafer, G. A. y Calderini, D. F. 2003. Herramientas fisiológicas para el mejoramiento de rendimiento en trigo. Seminario Internacional sobre Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. CIMMYT, INIA. p 14-21.

Survase, A., Furtado, A., Thengane, R., Fox, G., Taylor, T. and Henry, R. 2017. Comparison of chapatti and breadmaking quality of wheat genotypes. *Cereal Chemistry* 94 (3): 409-416.

Švec, I. and Hrušková M. 2014. The Mixolab parameters of composite wheat/hemp flour and their relation to quality features. *LWT-Food Science and Technology*. 30: 1-7.

Švec, I. and Hrušková, M. 2015. Characteristics of Wheat, Barley and Hemp Model Composites. *Czech Journal of Food Sciences*. 33: 66-71.

Thanhaeuser, S. M., Wieser, H. and Koehler P. 2014. Correlation of quality parameters with the baking performance of wheat flours. *Cereal Chemistry*. 91 (4): 333-341.

Tomás, G. D. 2003. Interacción genotipo por ambiente sobre caracteres de calidad comercial e industrial en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

USW (USWheat). 2013. Crop quality. Leaflet. 42 p.

Vásquez-Lara, F., Camacho-Casas, M. A., Granados-Nevárez, M. C., Silva-Espinoza, B. and Islas-Rubio, A. R. 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *BIOtecnia*. 11 (2): 9-36.

Vázquez, M. M., 2013. Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. *Ciencia y Tecnología*. 13: 117-132.

Vega Castro, Ó. A., De Marco, R. y Di Risio, C. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. *Revista EIA*, 12 (24): 87-100.

Villanueva, F. R. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*. 32: 231-246.

Villaseñor, M. H. y Espitia, E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *El Trigo de Temporal en México*. SAGAR, INIFAP, CEVAMEX. Chapingo, Edo. de México, México. p 85-98.

Wang, X., Appels, R., Zhang, X., Bekes, F., Torok, K., Tomoskozi, S., Diepeveen, D., Wujum, M., and Islam, S. 2016. Protein-transitions in and out of the dough matrix in wheat flour mixing. *Food Chemistry*. 217: 542-551.

Wood, J. B. B. 1998. *Microbiology of fermented foods*. Volume 1. Second edition. Ed. Blackie Academic and Professional. pp.198-395.

Zanoni, B., Peri, C. and Pierucci, S. 1993. A study of the bread-baking process. I: A phenomenological model. [https://dx.doi.org/10.1016/0260-8774\(93\)90027-H](https://dx.doi.org/10.1016/0260-8774(93)90027-H).

Zeleny, L. 1947. Sedimentation value as an index of dough-mixing characteristics in early-generation wheat selections. *Cereal Chemistry Journal*. 24: 465-475.

Zhang, P., He, Z., Chen, D., Zhang, Y., Larroque, O. and Xia, X. 2007. Contribution of common wheat protein fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *Journal of Cereal Science*. 46 (1): 10.

Zhang, X., Liu, D., Zhang, J., Jiang, W., Luo, G., Yang, W., Sun, J., Tong, Y., Cui, D. and Zhang, A. 2013. Novel insights into the composition, variation, organization, and expression of the lowmolecular-weight glutenin subunit gene family in common wheat. *Journal of Experimental Botany*. 64: 2027-2040.

Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D. and Therdthai, N. 2014. *Bakery Products Science and Technology*. Second Edition. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. Hoboken, NJ 07030-5774, USA. 783 p.