



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

*“CALIDAD BROMATOLÓGICA DE LÍNEAS AVANZADAS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EVALUADAS EN TRES LOCALIDADES DEL VALLE DE TOLUCA”*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

PRESENTAN:

DIEGO CORONA GONZÁLEZ
FERNANDO GARDUÑO ROBLES

ASESORAS:

DRA. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN
DRA. DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ



“CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS”

TOLUCA, MÉXICO, NOVIEMBRE 2016.

	ÍNDICE	Pág
ÍNDICE DE FIGURAS		8
ÍNDICE DE CUADROS		9
RESUMEN		11
ABSTRACT		12
I. INTRODUCCIÓN		1
II. JUSTIFICACIÓN		3
III. REVISIÓN DE LITERATURA		4
3.1	IMPORTANCIA DEL TRIGO	4
3.2	PRODUCCIÓN MUNDIAL DEL TRIGO	5
3.3	MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DEL TRIGO. LAS PARTES DE LA PLANTA DE TRIGO SE PUEDEN DESCRIBIR DE LA SIGUIENTE MANERA (SAGARPA, 2010).	6
3.3.1	<i>Raíz</i>	6
3.3.2	<i>Tallo</i>	6
3.3.3	<i>Hojas</i>	6
3.3.4	<i>Inflorescencia</i>	6
3.3.5	<i>Granos</i>	6
3.4	INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE	9
3.5	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA DEL GRANO DE TRIGO	11
3.6	CONTENIDO DE PROTEÍNA	12
3.7	PESO HECTOLÍTRICO DEL GRANO	14
3.8	CONTENIDO DE FIBRA	14
3.8.1	DETERMINACIÓN DE FIBRA	16
3.8.2	DETERMINACIÓN DE LA FIBRA POR DETERGENTE ÁCIDO	16
3.8.3	DETERMINACIÓN DE FIBRA POR DETERGENTE NEUTRO	16
3.9	HUMEDAD EN GRANO	17
3.9.1	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN GRANO	17
3.10	DETERMINACIÓN DE CENIZAS	18
3.11	CLASIFICACIÓN DE LOS TRIGOS	19
IV. OBJETIVOS		21
1.1.	OBJETIVO GENERAL	21
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS		22
5.1	SITIO DE COLECTA DE MATERIAL GEOLÓGICO	22
1.3.	MATERIAL GENÉTICO	24
1.4.	MANEJO AGRONÓMICO DEL MATERIAL VEGETATIVO	26
1.5.	VARIABLES REGISTRADAS	28
1.5.1.	<i>Materia Seca</i>	28

1.5.2.	Humedad	28
1.5.3.	Cenizas	28
1.5.4.	Grasa	29
1.5.5.	Proteína	29
1.5.6.	Determinación de fibra	30
1.5.7.	Determinación de fibra ácido detergente	31
1.5.8.	Determinación de fibra neutro detergente	31
1.5.9.	Determinación de lignina	32
1.5.10.	Análisis estadístico	32
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1.1	Materia seca	35
6.1.2	Proteína	35
6.1.3	Fibra neutro detergente (Insoluble)	37
6.1.4	Fibra ácido detergente	38
6.1.5	Lignina	39
6.1.6	Cenizas	40
6.1.7	Grasa	41
6.2	CALIDAD BROMATOLÓGICA POR LOCALIDAD	42
6.2.1	Fibra Ácido Detergente (FAD)	42
6.2.2	Cenizas	43
6.2.3	Grasa	44
6.3	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN	44
VII.	CONCLUSIONES	46
VIII.	LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Morfología y composición de un grano de trigo
.....14

2. Ubicación de Jocotitlán, San Mateo Oztzacatipan y Metepec, Valle de
Toluca,
México.....26

ÍNDICE DE CUADROS

1. Composición de aminoácidos del grano de trigo	18
2. Composición bromatológica del grano de trigo.....	19
3. Clasificación de grupos de trigo harinero utilizados en la industria alimentaria.....	27
4. Material genético usado en éste estudio.....	31
5. Cuadros Medios y Significancia estadística de los valores de F para materia seca (MS), proteína (P), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), lignina (L), cenizas (C) y grasa (G).....	40
6. Comparación de medias entre líneas avanzadas de trigo para las variables de calidad bromatológica (DMS, $P=0.05$).....	41
7. Comparación de medias entre localidades sembradas de trigo para las variables de calidad bromatológica (DMS, $P=0.05$).....	43
8. Análisis de correlación lineal simple entre las variables de calidad bromatológica y su significancia estadística.....	51

Resumen

CALIDAD BROMATOLÓGICA DE LÍNEAS AVANZADAS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EVALUADAS EN TRES LOCALIDADES DEL VALLE DE TOLUCA

Diego Corona González y Fernando Garduño Robles, dieg_8813@hotmail.com, ing_agroindustrial_fgr@hotmail.com. Ingeniero Agrónomo Industrial. Facultad de Ciencias Agrícolas

Asesores: Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain, Dra. Dora Luz Pinzón Martínez. nekkane@hotmail.com, dora_lpm@hotmail.com.

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario el Cerrillo Piedras Blancas Mpio. De Toluca, México. Código Postal 50200. Tel. (Fax) 29-65-529 ext. 192.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal analizar 10 líneas avanzadas (LA) de trigo del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) para identificar las más sobresalientes para procesos de producción industrial con base en su calidad bromatológica. Las LA fueron sembradas en tres localidades del Valle de Toluca (San Mateo Otzacatipan, Jocotitlán y Metepec). A los granos se les realizaron análisis bromatológicos para determinar materia seca, humedad, ceniza, grasa, proteína, fibra (fibra ácido detergente y fibra neutro detergente) y lignina. El análisis de varianza mostró que entre líneas avanzadas existieron diferencias significativas en todas las variables, con excepción de lignina. Entre las localidades, también se encontraron diferencias significativas, excepto en materia seca, proteína, fibra neutro detergente y lignina, y en la interacción línea avanzada por localidad hubo diferencias significativas para materia seca, proteína y lignina. Las líneas identificadas como cuatro y seis, se recomiendan para su uso en panadería, debido a su mejor calidad bromatológica, particularmente en el contenido de proteína, ceniza y grasa.

Palabras Clave: Trigo, Calidad Panadera, Calidad Bromatológica.

Abstract

(Triticum aestivum L.) ADVANCED LINES BROMATOLOGICAL QUALITY GROWN ON THREE TOLUCA VALLEY LOCALITIES.

Diego Corona González y Fernando Garduño Robles, dieg_8813@hotmail.com, ing_agroindustrial_fgr@hotmail.com. Ingeniero Agrónomo Industrial. Facultad de Ciencias Agrícolas

Asesores: Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain, Dra. Dora Luz Pinzón Martínez. nekkane@hotmail.com, dora_lpm@hotmail.com.

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario el Cerrillo Piedras Blancas Mpio. De Toluca, México. Código Postal 50200. Tel. (Fax) 29-65-529 ext. 192.

The main objective for this project was to analyse 10 CIMMYT International Maize and Wheat Improvement Centre advanced lines (AL) in order to identify the most industrial processes promises materials based on their bromatological quality. AL were sown on three Toluca Valley Localities (San Mateo, Oztacatipan and Metepec). Dried material, moisture, fat, protein, fiber (Neutral detergent fiber and Acid detergent fiber) and lignin bromatological analyses were made to the wheat grains. Variance analyse showed statistical significant between advanced lines for the variables, except for lignin. Statistical significant differences were found between localities, except for dried material, protein, neutral detergent fiber and lignin. There were significant differences for the advanced line per locality interaction for dried material, protein and lignin variables. Advanced lines four and six are recommended for bakery uses because of their protein, ashes and fat content bromatological quality.

Key words: Wheat, Bread quality, Bromatological quality.

I. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es muy importante para la alimentación humana, ya que se produce extensivamente en el mundo por su importancia social y económica, e igualmente, es fundamental en la población mexicana (Mondragón, 2006). Dicho cereal, es el segundo grano más importante para la alimentación del pueblo mexicano (SAGARPA, 2010). Actualmente, sólo una pequeña porción del trigo que se cultiva en México cumple satisfactoriamente con los requerimientos de la industria panadera mecanizada y semi-mecanizada. Paralelamente, la demanda de este cereal, debe afrontar diferentes consideraciones para cubrir las necesidades de la industria, tal es el caso de la heterogeneidad de los ambientes donde se cultiva y el hallazgo de nuevos cultivares, con el fin de ofrecer trigos con calidad panadera o agroindustrial aceptable (CIMMYT, 2008).

Existen factores genotípicos y ambientales que determinan la calidad del grano de trigo, y por este motivo, es necesario incrementar las investigaciones para disponer de una mayor información, que al implementarse en la siembra de este cereal, pudiera disminuir los efectos de los factores adversos (las amenazas del cambio climático), con el fin de abastecer del alimento a la sociedad (Slafer y Calderini, 2003). Por lo tanto, el realizar investigaciones que complementen a las evaluaciones agronómicas, para identificar aquellos genotipos sobresalientes de trigo, se sugiere como una buena estrategia, para asegurar su mejoramiento genético. Lo anterior con el fin de obtener un mayor rendimiento del grano y mejor calidad, a su vez aumentar la producción para satisfacer la demanda de empresas que lo adquieren (Hewstone, 2003).

El consumo humano de éste cereal no puede realizarse directamente, pues requiere acondicionamiento previo a su transformación, la cual comienza con molienda con la que se obtiene la harina. Así, se ubica a la industria harinera como un eslabón estratégico de la cadena de producción y consumo, que se presenta como el principal demandante del grano. La harina cruda no es digerible

por el sistema digestivo humano, por eso, para su consumo se requiere de cocción, generalmente por horneado o hervido (Slafer y Calderini, 2003).

El Estado de México, es un lugar altamente agrícola, sin embargo, las condiciones ecofisiológicas del lugar no permiten el desarrollo adecuado de todos los cultivos. En el caso del trigo, la presencia de heladas y la altitud afectan la investigación que realizan algunos centros, como el CIMMYT. Estos se interesan en generar las posibles líneas avanzadas que pudieran ser adaptadas a diferentes condiciones agroclimáticas. Debido a que este cereal, es muy utilizado para desarrollar procesos de panificación ya que en la última década se sugiere una tendencia a disminuir el consumo de tortillas y aumentar el consumo del pan provocado por la influencia mediterránea en nuestro país, el trigo para elaborar pan tiene características específicas y definidas, como es el caso de la cantidad y calidad de la proteína, entre otras (Antolín, 2001), situación por la cual se están probando a nivel industrial líneas avanzadas de trigo de reciente creación con la finalidad de definir su vocación agroindustrial.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar cuáles serían los genotipos más sobresalientes con base en análisis bromatológicos de los granos provenientes de tres localidades del Estado de México (San Mateo Otzacatipan, Jocotitlán y Metepec).

II. JUSTIFICACIÓN

Realizar investigaciones para identificar líneas avanzadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sobresalientes, en una estrategia relevante para abatir la hambruna en la República Mexicana. Este cereal, representa una fuente importante de carbohidratos y proteínas (Slafer y Calderini, 2003) y juega un papel esencial en la economía y alimentación mexiquense. Lo anterior persigue el identificar líneas avanzadas promisorias para dicha región, para cubrir las necesidades económicas y alimentarias humanas y fortalecer la agroindustria.

En el contexto anterior, existen pocos antecedentes sobre las líneas avanzadas proporcionadas por CIMMYT en relación a su calidad del grano. Para peso hectolítrico del grano los valores son mayores a 70 kg hL⁻¹. Este hecho sugiere que los granos podrían tener altos rendimientos de harina. Sin embargo, además de conocer este indicador para harinas panaderas es indispensable analizar la calidad bromatológica, relacionada con contenido de proteína, materia seca, grasa, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, cenizas y lignina. Estos estudios permitirán complementar las evaluaciones agronómicas y agroindustriales realizadas a líneas avanzadas promisoras.

El CIMMYT proporcionó la semilla de las líneas avanzadas para esta investigación; es un centro de investigación en el que se desarrollan trigos y maíces (*Zea maiz* L.) para México y otros países. Para ello, siembran los mismos materiales en diferentes zonas para que expresen sus mejores características, bajo diferentes ambientes y comparten recursos genéticos, innovación e información entre investigadores. Lo que ha permitido un rápido desarrollo y disseminación de variedades con mayor rendimiento y calidad de grano que se traduce en beneficios a favor de la población. Así, si se complementan las evaluaciones agronómicas con el estudio de la calidad bromatológica de los granos de trigo, se pueden sugerir variedades que al sembrarse en Valles Altos, como el Valle de Toluca, se identifiquen y exploten los mejores atributos de

calidad agroindustrial. Lo cual, tentativamente puede ampliar la cantidad de trigo a sembrar en dicha región y disminuir la importación del mismo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Todas las especies de trigo, ya sea cultivadas o silvestres pertenecen al género *Triticum* (Hordeae) de las familias *Festucoideae* y *Poaceae* (Gramíneas). Este género está constituido por especies diploides, tetraploides y hexaploides, dependiendo del número de genomas que constituyen su número básico duplicado de siete cromosomas (Villaseñor y Espitia, 2000).

T. aestivum especie hexaploide, también conocida como trigo harinero, es la más cultivada en el mundo y su harina es la más apropiada para la elaboración de pan. El trigo harinero comprende miles de variedades que son adaptadas a una gran amplitud de ambientes agroecológicos (Villaseñor y Espitia, 2000; Espitia *et al.*, 2003; De la O *et al.*, 2010).

3.1 Importancia del trigo

Durante siglos, el trigo ha sido sustento de una gran parte de la población del mundo, ya que le provee de nutrientes como: proteínas, fibra dietética, vitaminas y minerales (Saldivar, 1996). Desde los tiempos prehistóricos, este cultivo es producido por pueblos de regiones frías y templadas, desde los 60° latitud norte y 27-40° latitud sur. Crece en suelos con buen drenaje, con precipitación de 37.5-87.5 cm y desde el nivel del mar hasta 3000 m; su temperatura óptima para siembras comerciales es de 10-25 °C.

Triticum aestivum L, es la especie más cultivada e importante económicamente; su cultivo se extiende alrededor del mundo, porque se produce en diferentes regiones geográficas, y se siembra en cerca de 75 países. En el mercado internacional se registra la producción en 121 países (Villaseñor y Espitia, 2000).

Su principal productor a nivel mundial, es China siguiéndole la India, Estados Unidos de Norte América, Rusia, Francia y Canadá. Dentro de los países

latinoamericanos, su producción es destacada en Argentina y México (Antolín, 2001).

Además, el trigo provee de 500 kcal *per cápita* por día a los dos países más poblados del mundo, China e India, y cerca de 1,400 kcal a Irán y Turquía. En los países en vías de desarrollo, el 16% del total de las calorías consumidas por su población proviene del trigo (Crouch y Braun, 2008).

3.2 Producción mundial del trigo

La FAO pronosticó una producción mundial de cereales para el 2016, en torno a los **2, 543 t** 0,6% más que en el año anterior. Dicha producción se menciona como consecuencia de las revisiones al alza de las producciones de trigo de Argentina, Estados Unidos y la Federación de Rusia, así como también por las producciones de maíz por países como Argentina y Canadá, entre otros. La FAO menciona que no habrá problemas de abastecimiento de trigo en los mercados mundiales para el 2016/17. Igualmente, reporta que la producción total de trigo, para 2016 se cifre en alrededor **723 millones de toneladas** lo que supone un descenso de un 1,4 por ciento (10 millones de toneladas) con respecto a la cosecha récord de 2015, a originarse por un descenso en la producción de Estados Unidos, Marruecos, Unión Europea y Ucrania. La utilización de trigo reportada para dicho periodo, se estima con una disminución marginal con respecto al periodo 2015/16. Sin embargo, el consumo humano de este cereal propone arrojar un aumento moderado que mantenga su crecimiento con respecto al ritmo del crecimiento demográfico. Las existencias mundiales de trigo al cierre de las campañas agrícolas 2017, en base a las citadas perspectivas aumenten por cuarto año consecutivo, utilizándose **215 millones** de t más con respecto a la apertura (FAOSTAT, 2015). Los mayores aumentos, en cuanto al consumo de trigo se registrarán en China y Estados Unidos, quienes aumentarán la existencia de toneladas de trigo. El comercio mundial de este cultivo en 2017/17, deberá aumentar ligeramente (**155 millones de**

toneladas). Lo cual, se pueda deber al aumento de las importaciones por países como Marruecos. Entre los países sugeridos como mayores exportadores de trigo, aparecen Argentina, Australia, Canadá y Estados Unidos (FAO, 2015b).

3.3 Morfología de la planta del trigo. Las partes de la planta de trigo se pueden describir de la siguiente manera (SAGARPA, 2010).

3.3.1 Raíz

El trigo posee una raíz fasciculada con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan una profundidad desde 25 hasta 100 cm (SAGARPA, 2010).

3.3.2 Tallo

Es una caña hueca con seis nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 y 2.0 m de altura, es poco ramificado (SAGARPA, 2010).

3.3.3 Hojas

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

3.3.4 Inflorescencia

Es una espiga compuesta por raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna, laxa o compacta, llevando cada una nueve flores (la mayoría de las cuales abortan), rodeadas por glumas, glumillas o glúmelas (SAGARPA, 2010).

3.3.5 Granos

Son cariósides ovalados con sus extremos redondos. El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de reservas para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. El pericarpio y la testa, juntamente con la

aleurona, conforman el salvado del trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína llamada gluten. El gluten facilita el desarrollo de levaduras de alta calidad, necesarias para la panificación de calidad (SAGARPA, 2010).

El cariopside se subdivide en tres partes fundamentales: el salvado o parte externa, el endospermo, y el germen o embrión (Figura 1). La proporción de cada uno de los componentes del grano es del 14, 82 y 2,5 a 3,5 %, respectivamente (Saldivar, 1996). Los granos de trigo miden en promedio 8 mm y pesan 35 mg. Cada uno de los componentes del trigo comprende dos o más tejidos con diferencias anatómicas (Hoseney, 1991).

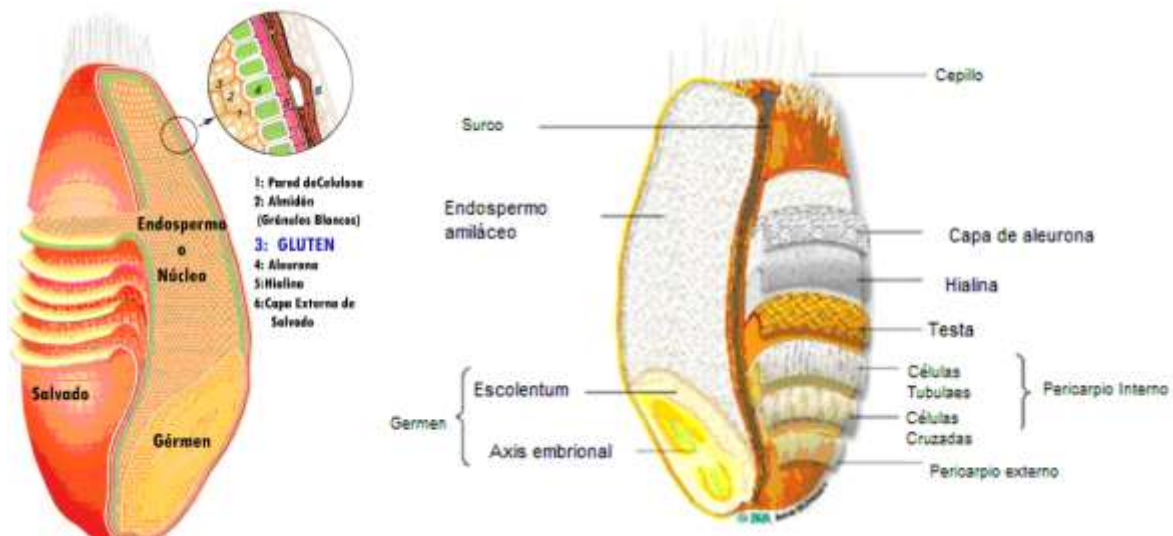


Figura 1. Morfología y composición de un grano de trigo (Edel, 2007).

La capa de aleurona, epidermis nuclear, la cubierta de la semilla o testa y el pericarpio constituyen el salvado. Las capas del salvado tienen una alta proporción en proteína, celulosa, vitaminas, hemicelulosa y minerales; tienen una función de protección a la semilla cuando ésta germina (Delcour y Hoseney, 2009).

De acuerdo a Saldivar (1996), el pericarpio rodea toda la semilla y está constituido por varias capas; el pericarpio exterior se constituye de varias capas de células (epicarpio, mesocarpio, endocarpio); el pericarpio interior (endocarpio) está

formado por células intermedias, células cruzadas y células tubulares. El pericarpio comprende el 5% del grano y está formado aproximadamente por un 6.0% de proteína, 2% de cenizas, 20% de celulosa y 0,5% de aceite.

La testa se une finamente a las células tubulares por el exterior y a la epidermis nucelar por el interior, básicamente se constituye de tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada (en los trigos coloreados) y una cutícula interior fina. El espesor de la cubierta de la semilla varía de 5 a 8 μm . La epidermis nucelar o capa hialina tiene 7 μm de espesor y se une estrechamente a la cubierta de la semilla y a la capa de la aleurona (Saldívar, 1996).

La capa de aleurona tiene el espesor de una célula, rodea al grano por completo incluyendo al endospermo feculento y al germen, esta capa es la parte exterior del endospermo. Las células de aleurona carecen de almidón y cuentan con una pared gruesa; su composición es de celulosa, además es rica en cenizas, proteína, fósforo, grasa y otras vitaminas como niacina, tiamina y riboflavina (Saldívar, 1996).

El endospermo representa el 83% del peso del grano y tiene tres componentes: el endospermo periférico se caracteriza por su alto contenido proteico y unidades pequeñas de almidón; el endospermo vítreo contiene, las paredes celulares donde se encuentra la fibra insoluble [celulosa y β -glucanos] y soluble [pentosanas], gránulos de almidón, matriz y cuerpos proteicos; el endospermo almidonoso, se encuentra en la parte más céntrica del grano y sus unidades de almidón son de mayor tamaño, la asociación entre gránulos de almidón y matriz proteica es más débil, las unidades de almidón tienen menos incrustaciones de cuerpos proteicos, las paredes celulares son más delgadas y tienen menor contenido de proteína. La proporción entre ambos endospermos determina la dureza y la densidad de grano (Saldívar, 1996).

El embrión (germen) constituye el 3% del grano, se encuentra adherido al endospermo por medio del escutelo. Consiste de dos partes principales: el eje embrionario (raíz y tallo rudimentario) y escutelo (sirve como órgano para la

absorción de nutrientes). El germen tiene un alto contenido de proteína (25%), azúcar (18%), aceite (16%) en el embrión y 32% del escutelum es aceite y cenizas 5%. También contiene vitaminas E y B, así como una gran cantidad de enzimas (Delcour y Hosenev, 2009).

3.4 Interacción genotipo x ambiente

El contenido de proteína del grano y otros parámetros reológicos, están determinadas principalmente por la altura, por el ambiente y por su interacción. Se han confirmado tras evaluaciones de trigos rojos, en donde la interacción genotipo por ambiente tuvo una significativa influencia en la calidad. Así, ésta interacción contribuyó a la variabilidad, en menor o mayor proporción que el efecto ambiental o el del genotipo por separado, y los parámetros de calidad panadera variaron más por efecto de las condiciones ambientales que por la de los cultivares (Tomás, 2003).

El cultivo de trigo cumple un papel importante en la rotación de los sistemas productivos. Este cereal aporta un rastrojo de buena calidad y de lenta descomposición otorgando beneficios al suelo como: una mayor cobertura, favorece el balance de materia orgánica y mejora la estructuración del suelo (Gerster y Bacigaluppo, 2007). Caviglia *et al.* (2004), mencionaron que es importante hacer un manejo estratégico para que el cultivo se aproveche al máximo y que de manera eficiente los recursos que el ambiente le ofrece. El comportamiento agronómico del trigo y sus características como planta, hacen una nueva elección del genotipo (G) que resulta de relevancia, para aprovechar de manera óptima la oferta de recursos del ambiente (A) de producción y tolerar cada vez más las líneas sobresalientes, mediante los efectos de la interacción genotipo por ambiente (G x A) involucrados en la expresión fenotípica (De la Vega y De la Fuente, 2003). Lo cual, se refleja en las diferencias tanto agronómicas como en la calidad bromatológica. Cuando se evalúa el cultivo por pruebas experimentales en ambientes diferentes, las interacciones G x A se detectan como diferencias significativas en el comportamiento relativo de los genotipos a través de los

ambientes. La identificación de los genotipos sobresalientes de trigo con base en rendimiento de grano, aún en ambientes heterogéneos, ha sido y es una estrategia importante en el mejoramiento genético y en la generación de nuevas tecnologías (Hewstone, 2003; Slafer y Calderini, 2003).

Diversos autores han confirmado que los máximos rendimientos en cuanto a los parámetros agronómicos del trigo, se relacionan con la oferta y la demanda de los recursos (agua, nutrientes, radiación) y por el ambiente (temperatura). Lo cual, determina su producción, ya que los diferentes factores ambientales tienen inferencia sobre la expresión o no, de ciertas partes del genoma del cultivo. Lo cual, se refleja con variaciones en las diferentes características físicas y químicas del grano, tales como porcentaje de fibra, porcentaje de proteína, perfil proteico del gluten, entre otras. Situación que conlleva, al desarrollo de un mayor número de destinos reproductivos del cultivo, ya que se afecta la duración de las etapas de crecimiento, se presentan fluctuaciones del rendimiento que desencadenan en pequeños o grandes cambios en algunos casos, en los parámetros agronómicos (Tomás, 2003; Zhang *et al.*, 2007; Salvagiotti, 2009).

Zhang *et al.* (2004) en un estudio realizado en China, determinaron que el rendimiento de harina, test de sedimentación, los parámetros del mixograma y la viscosidad de almidón, estuvieron mayormente influenciados por el genotipo que por el ambiente. El ambiente tuvo una importante contribución a la variación en caracteres agronómicos como peso de mil granos, peso hectolítrico del grano y en la actividad de la alfa amilasa, mientras que la interacción genotipo x ambiente generó una importante variación en el peso hectolítrico del grano y en algunos parámetros industriales como el tiempo de desarrollo de la masa y algunas características del almidón. Paralelamente, Mortarini *et al.* (2004) determinaron que el ambiente es el factor más importante que influye sobre los parámetros de calidad industrial, como contenido de proteína en grano y gluten húmedo, entre otras y que el genotipo tuvo mayor influencia sobre las características de viscosidad de la masa. De este modo, los autores concluyen que el uso industrial

de un genotipo de trigo depende de los efectos de la interacción genotipo ambiente, sobre los parámetros industriales, mismos que se encuentran relacionados con la calidad bromatológica del producto (Tomás, 2003).

3.5 Composición bromatológica del grano de trigo

El grano de trigo es como un almacén de nutrientes, necesarios para el hombre y que han sido utilizados desde el inicio de las civilizaciones. El valor nutritivo que aportan los cereales es más de 50% del total de la energía requerida por la población humana (Cuadros 1 y 2) debido a su aporte de proteínas, principalmente (Antolín, 2001).

Cuadro 1. Composición de aminoácidos del grano de trigo

Componente	Endospermo %	Salvado %	Germen %
Proteína	70–75	19	8
Ácido pantoténico	43	50	7
Riboflavina	32	42	26
Niacina	12	86	2
Piridoxina	6	73	21
Tiamina	3	33	64

Fuente: Antolín, (2001).

3.6 Contenido de proteína

Este es un criterio relevante en la clasificación y comercialización de las variedades de trigo para panificación, como criterio importante de la calidad de los granos de este cereal. El grano de trigo tiene sobre el 13% de proteína de su composición total; en la definición de la calidad de las harinas, la principal proteína del trigo es el gluten. Las proteínas son compuestos orgánicos constituidas por polímeros de aminoácidos (≥ 100 aminoácidos) unidos por enlaces peptídicos. Su determinación se realiza mediante el método de Kjeldahl, en el cual se estima la cantidad de nitrógeno mediante un proceso de digestión de la muestra y se multiplican los resultados por un factor. Aproximadamente, el 80% de las proteínas del trigo

Cuadro 2. Composición bromatológica del grano de trigo

Componente	%
Carbohidratos	70,2
Fibra	2,3
Cenizas	1,8
Humedad	11,0
Proteína	12,6
Grasa	2,1

Fuente: Antolín, (2001).

constituyen el gluten, mismo que también se define como las proteínas insolubles que tienen la capacidad de formar masa, cuando la harina entra en contacto con el agua. Como resultado se forma una masa continua de una red de proteínas del gluten que ligan las proteínas de almidón, que resultan en una masa cohesiva o elástica. Según la composición proteica del gluten serán las variaciones de las propiedades visco elásticas de la masa de trigo (Rubianes, 2007).

Anteriormente se pensaba que el gluten estaba compuesto de dos tipos de proteínas bien establecidas, gliadinas y gluteninas, pero investigaciones

posteriores han revelado que ambas se conforman, a su vez, de diversas proteínas, éstas son conocidas como prolaminas por su gran contenido en prolina y glutamina (Rubianes, 2007). Las gluteninas son la porción a la que se asigna el papel de dar firmeza y fuerza, en tanto que las gliadinas actúan como adhesivo que mantiene unidas las partículas de glutenina. La calidad del gluten esta fundamentalmente bajo el control genético, pero la expresión de sus genes es afectada por factores externos como las condiciones del clima, el manejo del cultivo y las enfermedades (Mira, 2003; Rubianes, 2007; Izadi-Darbandi y Bahman, 2012).

La cantidad y calidad de las proteínas son factores importantes en el uso potencial de una harina, razón por la cual las evaluaciones de las características fisicoquímicas de los componentes formadores del gluten son realizadas. En el trigo, existe así una alta correlación entre la cantidad de proteína y la cantidad de gluten. Tradicionalmente, el contenido de proteína se obtiene de la medición del contenido de nitrógeno proteico por métodos químicos que varían no sólo en su procedimiento, sino también en su complejidad y rapidez. Tanto la calidad como la cantidad de las proteínas presentes en la harina, influyen en la calidad de la masa. El contenido de las mismas, va de 9 a 12,6 % y los niveles proteicos varían según el cultivar, las condiciones climáticas y la fertilización (Mira, 2003; Izadi-Darbandi y Bahman, 2012).

La mayor parte de las proteínas del trigo se encuentran en el endospermo y han sido clasificadas tradicionalmente en función de su solubilidad en:

- Albúminas, solubles en agua (15% del total).
- Globulinas, solubles en soluciones salinas (5% del total).
- Gliadinas, solubles en soluciones de alcohol diluido (40% del total)
- Gluteninas, solubles en soluciones ácidas, álcalis o agentes reductores (40% del total).

Las albúminas y globulinas minoritarias son proteínas citoplasmáticas con actividades enzimáticas.

Estas proteínas son sintetizadas en el retículo endoplasmático y almacenadas en cuerpos proteicos de las células del endospermo, sirviendo de reserva alimenticia en los primeros estadios de germinación de la semilla (Rubianes, 2007). Las proteínas de reserva del grano de trigo, conocidas en su conjunto como gluten, interactúan y contribuyen con importantes propiedades viscoelásticas como fuerza y extensibilidad de masa, haciendo posible la elaboración de diversos alimentos bajo diferentes condiciones de manufactura (Hernández *et al.*, 2011; Izadi-Darbandi y Bahman, 2012).

3.7 Peso hectolítrico del grano

El peso hectolítrico indica la densidad y/o el grado del llenado del grano. Este parámetro se define principalmente por la morfología del grano, característico de la variedad. La morfología puede ser alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia de agua, y en el llenado de grano por temperaturas altas (exceso de calor en riego) o bajas (heladas tempranas en temporal). Cuando el grano no está completamente lleno los valores son bajos (CIMMYT, 2005).

Al peso hectolítrico suele considerarse como un indicador del potencial de rendimiento harinero que posee un lote de trigo durante la molienda. Así, los lotes con valores menores a 70 kg hL⁻¹ en temporal suelen mostrar bajos rendimientos de harina. Por esta razón durante la comercialización, el peso hectolítrico es un factor decisivo para determinar el precio (CIMMYT, 2005).

3.8 Contenido de fibra

La determinación de fibra en los alimentos ha cobrado auge en las últimas décadas, por su relación con diferentes patologías crónico degenerativas cada vez más presentes en los países desarrollados y en desarrollo, como cáncer de colon, diabetes, diverticulosis y enfermedades cardiovasculares, entre otras (Vázquez, 2013).

Entre las metodologías más comunes para la determinación de fibra, ésta se divide en dos fracciones, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno. La Fibra dietética se define como los componentes de la dieta que son resistentes a las enzimas digestivas del humano. A nivel químico se refiere a la suma de polisacáridos, que no son almidones o ligninas. Los compuestos que forman parte de la fibra dietética (FD) forman las paredes celulares vegetales, como son la celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, lignina, así como otros compuestos no estructurales como gomas mucílagos, entre otros. De acuerdo con su solubilidad, se puede clasificar a la FD en fibra insoluble (celulosa, gran parte de las hemicelulosas y lignina) y fibra soluble (pectinas, gomas y mucílagos, ciertas hemicelulosas, entre otras). Así, entre las metodologías que se utilizan para determinar los diferentes componentes de la FD, se encuentran los métodos gravimétricos y los métodos enzimático-químicos. Los métodos gravimétricos son más comunes debido a que son más sencillos y rápidos. Se limitan al cálculo de las fibras totales o de las fibras solubles e insolubles y proporcionan la cantidad de los azúcares neutros y ácidos, estiman por separado la lignina y si ésta se añade a la suma de los carbohidratos totales, estima el contenido de fibra total (Vázquez, 2013).

La determinación de fibra cruda se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis, para subvalorar el contenido de FD, ya que gran parte de la hemicelulosa es disuelta, así como la lignina y ciertas cantidades de celulosa junto con toda la fibra soluble (Vázquez, 2013).

Para la fibra ácido detergente, la muestra se somete a tratamiento en medios ácidos, con el fin de obtener una estimación de celulosa y lignina. En dicho residuo, se puede analizar los dos componentes mencionados. Para la fibra neutro detergente, su extracción se lleva a cabo en medios neutros y es una estimación muy buena de la fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina). Su evaluación, es referida para evaluar los alimentos de consumo humano (Vázquez, 2013).

3.8.1 Determinación de fibra

Este análisis se basa en el método de digestión ácida y alcalina de la muestra, para obtener un residuo de fibra cruda y sales. Los cuales, con una calcinación posterior, se someterán a la determinación de la fibra cruda presente en la muestra analizada (Vázquez, 2013).

3.8.2 Determinación de la fibra por detergente ácido

Su determinación permite tener una aproximación del grado de no digestibilidad de las fibras en un alimento. La muestra es sometida a una digestión por Cetil-trimetilamonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible, bajo los siguientes cálculos (FAO, 2015c):

$$\% \text{ fibra} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

Donde:

W1= Peso de la muestra (g)

W2= Peso del residuo (g)

3.8.3 Determinación de fibra por detergente neutro

Esta variable, se considera una buena estimación para la evaluación del contenido de fibra insoluble en los alimentos, ya que la fibra neutro detergente (FND) estima los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, considerados como componentes de dicho tipo de fibra. El cual, es cada vez más estudiado, demandado y requerido para el consumo de la población mexicana, en especial por la comunidad mexiquense. Lo anterior debido a los efectos de esta fibra sobre el intestino, como laxante y en la disminución del tránsito intestinal. La estimación de la FND, se realiza mediante metodologías que son útiles para la determinación de fibras vegetales en alimentos. Aparentemente tiene la capacidad de separar los componentes nutricionales solubles de aquellos que no son totalmente

aprovechables o que dependen de la fermentación biológica para su aprovechamiento. El método tiene limitaciones en su precisión cuando los valores de proteína son muy altos y los valores de fibra son bajos. En el caso de granos y subproductos de molinos, es posible que se forme un material gelatinoso derivado de los almidones y la proteína, el cual obstruye el filtro e impide el lavado. Para mejorar la filtración se hace pasar aire en el sentido inverso en el crisol (FAO, 2015c).

3.9 Humedad en grano

El principal factor a controlar durante el almacenado del grano de trigo es su porcentaje de humedad, mismo que debe variar entre 11 y 14%. A tal porcentaje se evita la presencia de microorganismos, como hongos y se evita la germinación del grano. El nivel máximo para trigo es 14.5% m/m. Para determinados destinos por razones de clima, duración del transporte y almacenamiento, deberían requerirse límites de humedad más bajos (CODEX STAN 199-1995; Vázquez, 2013).

3.9.1 Determinación de humedad en grano

Este análisis se determina mediante la cuantificación de la materia seca que permanece en el grano de trigo después de la eliminación del agua, conociéndose como sólidos totales. Este valor analítico, es un factor de calidad importante para la conservación y manipulación del grano que en la etapa posterior, será manipulado para obtención de harina. Se entiende como harina de trigo, al producto que se obtiene por molienda y tamizado de granos de trigo, sanos limpios, enteros o quebrados y sin cáscara. El contenido de humedad es expresado como el peso perdido, entre el peso inicial (P_i) y el peso final (P_f) de la muestra, durante el secado bajo la siguiente fórmula (Antolín, 2001):

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

3.10 Determinación de cenizas

Las cenizas en los alimentos corresponden a un término analítico, que se refiere al residuo orgánico que queda posterior a la calcinación de la materia orgánica, que estima el contenido de los minerales en un alimento. En ocasiones, no son las mismas sustancias que se encontraban antes de dicho proceso, debido a las pérdidas por volatilización o reacciones químicas entre los componentes. El valor de la determinación de cenizas va relacionado directamente con la calidad del alimento, ya que el contenido de cenizas en los alimentos comprende determinados valores para cada grupo de alimentos. La determinación de estos compuestos, se realiza por un método gravimétrico que determina el residuo inorgánico posterior a la calcinación de la muestra (quemando en su totalidad). Se determina el % del contenido de ceniza contenida en cada muestra en el estudio a través del cálculo de porcentaje, como se indica a continuación (Vázquez, 2013). Si el contenido de cenizas (minerales) en el grano de trigo es alto, sobre todo si el peso hectolítrico es bajo, puede contaminar significativamente la sémola y la harina durante la molienda. En el caso de los trigos cristalinos, si los valores de ceniza son altos, estas partículas obscurecerán la sémola o, incluso, hasta las pastas formadas. Por lo tanto, el contenido de cenizas en los granos de trigo se considera deseable por debajo del 2% (CIMMYT, 2005):

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{M}$$

Donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa del crisol vacío en gramos.

m= Masa de la muestra en gramos.

3.11 Clasificación de los trigos

Esta clasificación define a los trigos con base a diferentes criterios, como la dureza del grano en: duro, semiduro y suave, y mediante el periodo de crecimiento en: invierno y primavera. El CIMMYT lo clasifica de acuerdo a la funcionalidad de las harinas, en: panaderas, galletas y pastelería y pastas. Así mismo, por el color del salvado en: ámbar, blanco y rojo en cuanto a su lugar en: oeste, pradera y este. Su grado en: 1, 2, 3, 4 y 5 corresponde, al % de impurezas y mezcla de otras variedades y en México, sus grupos son: 1-fuerte, 2-medianamente fuerte, 3-suave, 4-tenaz y 5-cristalino. Finalmente, mediante el % de proteína en: alta (15-18), media (10-14), baja (6-9), como se ilustra en el Cuadro 3 (CIMMYT, 2005).

Uno de los parámetros más importantes para la comercialización del trigo harinero es la dureza del grano. Bajo la cual, se clasifica al trigo en base a la fuerza del gluten en 5 grupos. Dentro de los cuales se describe: el uso industrial, así como la requerida textura del grano (Avendaño, 2002).

Cuadro 3. Clasificación de grupos de trigo harinero utilizados en la industria alimentaria

Clasificación del trigo/ Grupo	Tipo y características del gluten	Usos industriales	Características	Observaciones
I	Fuerte y elástico	Industria mecanizada de panificación. Se usa como mejorador de trigos suaves	Produce harina panificable	Endospermo duro o semiduro
II	Medio fuerte y elástico	Industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado. Se usa como mejorador de trigos suaves	Produce harina panificable	Endospermo duro o semiduro

III	Suave y extensible	Industria galletera y elaboración de tortillas y frituras	No producen harinas panificables por sí solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes y medio fuertes	Endospermo suave (blando)
IV	Corto y tenaz	Industria pastelera y elaboración de galletas	No producen harinas panificables por sí solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes	Endospermo duro o semiduro (no panificable)
V	Tenaz, corto y cristalino con contenido de caroteno	Industria de pastas, espaguetis y macarrones	No es panificable	Endospermo muy duro y cristalino (no panificable)

Fuente: CIMMYT, (2005).

IV. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluar 10 líneas avanzadas de trigo por su calidad bromatológica considerando granos provenientes de tres localidades del Valle de Toluca

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar la calidad bromatológica de 10 líneas avanzadas provenientes del CIMMYT
- ❖ Analizar el efecto de la interacción genotipo X ambiente sobre la calidad bromatológica de material genético
- ❖ Identificar líneas avanzadas sobresalientes con potencial para la industria panadera, con énfasis en contenido de proteína, cenizas y grasa

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitio de colecta de material geológico

El grano que se utilizó en el presente proyecto fue colectado en tres sitios del valle de Toluca-Atlacomulco: Jocotitlán, San Mateo Otzacatipan y Metepec (Figura 2). En estas tres localidades fueron evaluadas 10 líneas de trigo harinero en ensayos uniformes.

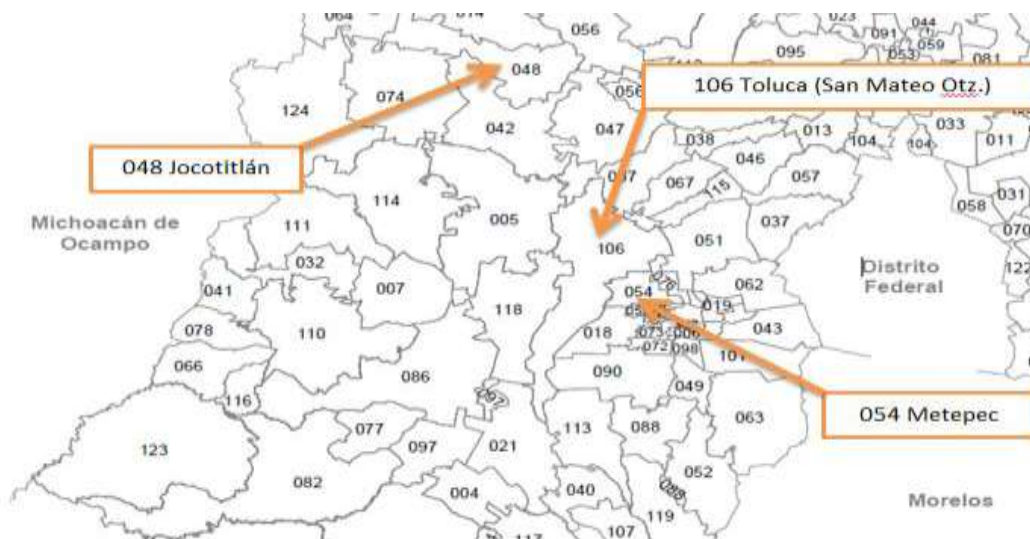


Figura 2. Ubicación de Jocotitlán, San Mateo Otzacatipan y Metepec, Valle de Toluca Estado de México.

5.1.1 San Mateo Otzacatipan

San Mateo Otzacatipan (“En el camino del zacatal”) es una población del Estado de México, prácticamente conurbada con su capital. Se localiza a 7 km al noroeste de la ciudad de Toluca y tiene la categoría de Delegación (Sánchez y García, 2015; Orihuela, 2015). El clima del Municipio está clasificado como templado subhúmedo, su temperatura media anual es de 13,7 °C, con precipitación media anual entre 1,000 y 1,200 mm³ y con heladas de 80 a 140 días en la época fría, su altitud es de 2, 600 m. También presenta suelos andosol, litosol y regosol,

característicos de las zonas volcánicas y susceptibles a la erosión; la porción centro norte, presenta suelos feozem, vertisol y planosol, de mediana fertilidad agrícola, susceptibles de agrietamiento e inundación (Sánchez y García, 2015; Orihuela, 2015).

5.1.2 Jocotitlán

Está localizado en la parte noroeste del Estado de México y ocupa parte del valle de Ixtlahuaca. La villa de Jocotitlán es un lugar reclinado en la falda del cerro llamado Xocotépetl, que es uno de los más altos de esta entidad. Tiene una superficie de 276,77 km² y se localiza a 54 km al norte de la ciudad de Toluca, cuenta con una altitud de 2,650 m. El clima predominante es templado subhúmedo (CW) con lluvias en verano, su temperatura media anual es de 13,2 °C, una máxima de 31 °C y una mínima de 4 °C, con una precipitación pluvial promedio anual de 1008,52 mm³. Se registran heladas y nevadas en los últimos meses del año (Orihuela, 2015). El suelo es planosol y tiene una capa superficial arcillosa y subhorizontal, albacos ácidos, presenta duripanes y fragipanes (tepetates). El suelo predominante es el planosol mólico que es muy fértil, de color oscuro y rico en materia orgánica. Con menos frecuencia hay mezcla vertisol y feozem (Rodríguez y García, 2014).

5.1.3 Metepec

Ésta se ubicado en el Valle de Toluca, a 6 km de la capital Mexiquense. Sus límites son: al oriente con San Mateo Atenco y Santiago Tianguistenco; al poniente y al norte con Toluca; al sur con Chapultepec, Mexicaltzingo y Calimaya.

Metepec tiene una altitud de 2,670 m, está a de 19° 15' de Latitud Norte y su longitud oeste del meridiano de Greenwich es 99° 36' 10"; su extensión territorial de 70,43 km² y predomina al clima templado en primavera, el templado húmedo con lluvias en verano; el semifrío con ligeras lluvias en otoño y frío en invierno. La temperatura media fluctúa entre los 14 °C, la máxima entre los 28 °C y la mínima

entre los 3,5 °C. La temporada de heladas de invierno en ocasiones se prolonga hasta marzo y abril. Tiene un clima templado en primavera; templado húmedo con lluvias en verano; semifrío con ligeras lluvias en otoño y el frío en invierno, su temperatura media es de 14 °C. Su tipo de suelo predominante es el phaeozem, háplico, lúvico, con una acumulación de materia orgánica (Sánchez y García 2015; Orihuela, 2015).

1.3. Material genético

En terrenos de agricultores cooperantes fueron evaluadas nueve líneas avanzadas de trigo harinero provenientes del programa de mejoramiento genético del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), y una variedad comercial utilizada como testigo (cv. Tollocán).

Cuadro 4. Material genético usado en este estudio.

Núm. Líneas avanzadas (Genotipo)	
1	TOLLOCAN F2005
2	OK98G507W
3	OK91P648.41
4	KS90HW53/90IWWSN88
5	SAULESKUL43
6	BURBOT
7	KS91WGRC11
8	U1254.4.7.2/3TX81V6603//SXL/AU
9	KS831374/OR300764
10	COUGAR

1.4. Manejo Agronómico del material vegetativo

1.4.1. Diseño experimental y tamaño de la parcela

Los diez genotipos de trigo considerados en este estudio fueron evaluados en campo en diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis a través de las tres localidades se hizo como una serie de experimentos en espacio. Las parcelas, constaron de dos surcos en doble hilera de 5 m de longitud. Cada parcela constó de 6.40 m²; se eliminaron 0.50 m en cada orilla, para evitar los efectos de bordo.

1.4.2. Preparación del suelo

Esta actividad consto de dos pasos de rastra efectuados antes de la siembra. Se prepararon camas de siembra e inmediatamente se marcaron las dos hileras.

1.4.3. Siembra

La siembra se realizó manualmente. Se depositaron las semillas en cada parcela de cuerdo a la aleatorización de las líneas avanzadas. La densidad de siembra fue de 100 kg ha⁻¹

1.4.4. Fertilización

Esta se realizó en dos etapas con el tratamiento 80N-75P-60K. Las fuentes de fertilizantes fueron: urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio. La mitad del nitrógeno se aplicó al sembrar con todo el fósforo e igual el potasio. El nitrógeno restante se aplicó en amacollamiento.

1.4.5. Control de maleza

Esta actividad se hizo como a continuación se indica:

- a) Control manual: con jornales.
- b) Control químico: la maleza de hoja ancha se eliminó con Amber (Triasulfuron), Harmony (Tifensulfuron) y Allai (Metsulfuron Metil) cuando éstas tenían 3 cm de altura, con una dosis de 1 L ha⁻¹, mezclados en 200 L ha⁻¹ de agua. La maleza de hoja angosta se controló con Topik (Clodinafop-propargil).

1.4.6. Cosecha

Fue realizada manualmente, Después que el material genético alcanzó la madurez fisiológica. En cada parcela se cortó y recogió todas las espigas. Se etiquetaron por línea avanzada y por repetición. Antes de la cosecha, se cortó al azar 10 espigas de cada parcela experimental, para toma de datos.

1.4.7. Trilla

Las espigas de cada una de las parcelas experimentales fueron trilladas mecánicamente y los granos fueron colocados en bolsas para la aireación y secado (14% de humedad).

1.4.8. Análisis de laboratorio

Con el grano de cada una de las líneas de trigo fueron registradas las siguientes variables usando un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones, aplicado a un experimento bifactorial de diez por tres. Se hace la aclaración que en campo la aleatorización del material genético se basó en un diseño de bloques completos al azar en una serie de experimentos en espacio, el cual permitió controlar eficientemente la heterogeneidad en los tres sitios que dieron origen a la semilla empleada en los análisis en laboratorio.

De lado a que en laboratorio se controla con mayor eficiencia la heterogeneidad ambiental, en relación a terrenos de agricultores cooperantes, no se justifica el

empleo de un diseño de bloques al azar; en este caso el completamente al azar proporciona más grados de libertad al error experimental y las pruebas de hipótesis de interés fueron más precisas.

1.5. VARIABLES REGISTRADAS

1.5.1. Materia Seca

Se usó el método tradicional de estufa con aire forzado de acuerdo a Acero (2007), que se basa en la evaporación total del agua entre 100-105 °C. Dos submuestras de 250 g de materia húmeda cada una, se secaron durante 72 h en estufa con circulación forzada de aire. Finalizado este período, se pesó nuevamente la muestra y se estimó el % MS por diferencia de peso antes y después de la colocación en estufa. Las dos repeticiones de cada muestra se promediaron para obtener un solo (Mesa y Fierro, 2008).

1.5.2. Humedad

Se manejó el Método oficial de la AOAC 900.15 (2012). Con 10 g de cada muestra colocados en crisoles, sometidos a 105 °C en una estufa durante 16 h. Se introdujeron en un desecador casi 30 min hasta alcanzar temperatura ambiente y se registró el peso. El análisis fue realizado por duplicado y la humedad se determinó con la siguiente fórmula:

$$materia\ seca = \frac{peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (g)}{peso\ de\ la\ muestra\ húmeda\ (g)} \times 100$$

$$\% \text{ humedad} = 100\% - \% \text{ Materia seca}$$

1.5.3. Cenizas

Se aplicó el método de la AOAC 900.02 (2012). Se utilizó 1,5 g de muestra, colocado en crisoles previamente tratados y se calentó en una mufla a 550 °C por

12 h hasta que las cenizas fueron completamente blancas. Posteriormente, se pasó a una estufa a 105 °C por 1 h. Se enfrió en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se registró el peso constante. Los análisis se realizaron por duplicado.

1.5.4. Grasa

Se determinó con la técnica de extracción tipo Soxhlet (AOAC 991.36, 2012), utilizando hexanos. Las muestras de granos de trigo fueron secadas a 103-105 °C en una estufa de aire forzado, posteriormente fueron molidas para tomar porciones de 10 g de la muestra seca. Se realizó por duplicado; las muestras fueron acomodadas cada una en un matraz de extracción del sistema Soxhlet en dedales de extracción previamente pesados (M1) y se adicionó el solvente al matraz. Los matraces de extracción se dejan por espacio de 6 h, después se extrajo la muestra con el solvente. Una vez determinada la extracción y eliminado el solvente, para obtener la grasa libre de hexanos, se pesó nuevamente el matraz (M2). El porcentaje de grasa cruda se calculó como:

$$\% G. C. = \frac{(Muestra\ 2 - Muestra\ 1)}{Muestra\ (g)} \times 100$$

1.5.5. Proteína

Se usó el Método de Kjeldahl (AOAC 976.05, 2012), 0,1g de muestra fue pesada por duplicado (muestras secas provenientes de análisis de humedad) se registró su peso. Se colocó la muestra en un tubo de digestión con 1,5 a 2 g de la mezcla catalizadora (sulfato sódico, sulfato de cobre hidratado y dióxido de selenio) y 5 ml de H₂SO₄ concentrado, con ello inició la digestión a 420 °C, dentro de una campana de extracción, hasta obtener un color verde-azul traslúcido que indicó una destrucción total de la materia orgánica. Al finalizar la digestión, se dejaron enfriar las muestras, para proceder a la destilación recuperando el líquido en matraces Erlenmeyer con 50 ml de NaOH al 40% y 50 ml de indicador ácido bórico

al 4 %. El destilado se tituló con una solución de HCl 0,1 N. Se registraron los ml de HCL gastados y se calculó el porcentaje de proteína, utilizando el factor 4,5 correspondiente para proteína en granos.

1.5.6. Determinación de fibra

Este análisis se basó en el método de digestión ácida y alcalina de la muestra. A 2.0 g de muestra se le extrae la grasa; si es menor del 1,0%, puede ser omitida. Transferir a un vaso de 600 ml y evitar la contaminación con la fibra de papel. Agregar 1 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1,25% hirviendo. Colocar el vaso en el aparato sobre la placa caliente preajustada para que hierva 30 min. Girar el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes. Quitar el vaso y filtrar a través de papel o tela de lino. Enjuagar el vaso con 50-70 ml de agua hirviendo y verterla sobre el papel satinado o el lino. Lavar el residuo tantas veces como sea necesario, hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual a la del agua destilada. Transferir el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 1,25% hirviendo y calentar a ebullición exactamente 30 min. Quitar el vaso y filtrar en buckner con papel filtro de masa cocida y cenizas conocidas. Lavar con agua hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual a la del agua destilada. Transferir el residuo a un crisol a masa constante y secar a 130 °C durante 2 h. Enfriar y determinar su masa. Calcinar a 600 °C durante 30 min. Enfriar y determinar su masa (Mesa y Fierro, 2008), como:

$$\% \text{ fibra} = \frac{(Ps - Pc - Pcp)}{M} \times 100$$

Donde:

Ps = masa en (g) del residuo seco a 130 °C.

Pp = masa en (g) de papel filtro.

Pcp = masa en (g) de las cenizas del papel.

M = masa de la muestra en (g).

Pc = masa en (g) de las cenizas.

1.5.7. Determinación de fibra ácido detergente

Se molió la muestra con un molino de martillos y se pasó en la malla de 1 mm, se tomó una submuestra y secó durante 12-13 h en un horno a 105 °C. Posteriormente, se enfrió la muestra en desecador. Y se tomó un gramo de la muestra seca colocada en un matraz Erlenmayer de 500 ml. Se adicionó el detergente ácido y el antiespumante, para llevar a ebullición por 3 min y calentar, por 2 h. Se filtró el contenido del matraz, se enjuagó con agua destilada caliente, se filtró nuevamente. Posteriormente, se enjuagó con acetona, se dejó secar y se colocó el crisol a 105 °C durante 12 h. Se enfrió en un desecador la muestra e inmediatamente se determinó el peso (Mesa y Fierro, 2008).

1.5.8. Determinación de fibra neutro detergente

Se tomó 1 g de muestra molida para pasar el tamiz de 1mm y se depositó en un matraz de fondo redondo para iniciar el reflujo. A lo cual, se agregó 100 ml de detergente neutro a temperatura ambiente y 2 ml de amilasa por muestra. Posteriormente, se calentó para que la solución hirviera de 5 a 10 min. Al iniciar la ebullición se redujo la temperatura para evitar la formación de espuma. Se agitó la preparación para que hirviera y se mantuvo el reflujo por 60 min, a partir del instante en que empezó a hervir. Se agitó el matraz y se decantó la muestra en un crisol previamente pesado y preparado para succión al vacío. Se pasó toda la muestra al crisol utilizando un mínimo de agua caliente (80 °C) para el lavado del matraz (FAO, 2015c).

El vacío fue eliminado y finalmente, se lavó con acetona sin remover la muestra del filtro y se secó al vacío a 105 °C durante 12 h. Se enfriaron los crisoles en un

deseCADador que contenía pentóxido de fósforo (P_2O_5). El residuo de fibra recuperado se registró en términos de paredes celulares. Se calculó el contenido celular (material soluble) restando su valor de 100 (FAO, 2015c).

1.5.9. Determinación de lignina

Se colocaron las bolsas con muestra obtenida del procedimiento anterior (fibra ácido detergente), nuevamente en solución detergente ácido dentro de un vaso de precipitado de 1 L y se agregó 250 ml de H_2SO_4 al 72 %. Se agitó 30 veces cada 30 min, manteniendo sumergida la muestra en la solución de 500 ml. Después de 3 h, se sacó del ácido sulfúrico y se enjuagó con agua destilada (90-100 °C) para remover los restos del ácido. Se repitió este procedimiento hasta que el pH fue neutro. La muestra se enjuagó con acetona (3 min) para luego dejar secar las bolsas a temperatura ambiente. Se completó el secado a 105 °C durante 4 h para ser enfriado en un desecador y se pesó la bolsa. Seguido a lo anterior, se colocó la bolsa en una cápsula previamente pesada y se llevó a 525 °C en una mufla por 3 h y se pesó (Jaurena y Wawrzklewitz, 2009).

1.5.10. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y evaluando sus valores de R fueron significativos, se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) al nivel de significancia del 5% para comparar las medias de cada una de las fuentes de variación de interés. Además, se hizo un análisis de correlación lineal simple entre cada una de las parejas de variedades diferentes. Los procedimientos algebraicos están descritos en Martínez (1988). Las salidas del análisis estadístico se obtuvieron con el sistema SAS (Statistical Analysis System) versión para Windows, 6.03.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del Análisis de varianza (ANOVA) para las variables analizadas en el experimento bifactorial 10X3, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cuadrados Medios y Significancia estadística de los valores de F para materia seca (MS), proteína (P), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), lignina (I), cenizas (C) y grasa (G)

FV	GL	MS	P	FND	FAD	LI	CE	GR
Línea avanzada (LA)	9	5,85**	19,63**	204,41**	2,70**	0,83ns	0,69*	135,5**
Localidad	2	0,51ns	2,76ns	83,90ns	2,48*	1,90ns	1,80*	81,4**
Interacción (LA X Localidad)	18	0,87ns	6,06*	203,22**	3,75**	2,71*	0,50*	17,86**
Error	30	1,68	2,44	34,37	0,46	0,98	0,26	6,75
Total	59							

Las Fuentes de Variación (FV) analizadas fueron el tratamiento (línea avanzada), Localidad y la interacción de ambas. Diferencia significativa; $P=0.05$; GL=Grados de libertad, MS=Materia seca, P=Proteína, FND=Fibra neutro detergente, FAD=Fibra ácido detergente, LI=Lignina, CE=Cenizas, GR=Grasa, C.V.=Coeficiente de variación. *Significativo al 5%, **Significativo al 1%, los valores sin marca no presentaron significancia estadística.

En el Cuadro 5, se muestran los Cuadrados Medios junto con la significancia estadística de F, en él se ve como para las líneas avanzadas se encontraron diferencias significativas ($P=0.05$) para todas las variables de estudio excepto para LI, en relación a las tres localidades se encontraron de igual forma diferencias significativas ($P\leq 0.05$) para las variables excepto para MS, P, FND, LI; y para la combinación línea avanzada X localidad finalmente se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P\leq 0.05$) para todas las variables menos para MS. Al encontrar diferencias estadísticamente significativas ($P\leq 0.05$) para las variables de estudio en las líneas avanzadas, localidades y líneas avanzadas X localidad, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de DMS al 5%. Los resultados para las líneas avanzadas se presentan en el Cuadro 6.

En relación a las localidades, se estima que los microclimas de las regiones estudiadas, no afectaron la principal variable de estudio (proteína), relacionada con el Valor Nutricional de cereal (Orihuela, 2015).

6.1 Resultados para líneas avanzadas

Cuadro 6. Comparación entre líneas avanzadas de trigo de las variables de calidad bromatológica (DMS, P=0.05)

LA	MS (%)	P (%)	FND (g/100g)	FAD (g/100g)	LI (%)	CE (%)	GR (%)
1	99,82a	16,71 ^a	23,02e	5,23a	2,07a	1,58bc	0,48e
2	96,81d	13,30cd	28,82de	5,26a	2,91a	1,93ab	0,55e
3	99,29ab	14,61bc	31,48cd	5,48a	3,23a	2,03ab	1,16cd
4	98,53abc	13,72bc	31,19cd	5,74a	2,60a	2,24a	1,34cbd
5	98,93ab	11,51d	40,21a	5,05ab	2,08a	1,88abc	1,32cbd
6	97,27cd	13,05cd	32,62bcd	4,30bc	2,56a	2,35a	1,39cb
7	98,45abc	16,97a	23,83e	5,71a	2,59a	1,86abd	1,53b
8	97,91bcd	14,79bc	39,40ab	3,74c	2,26a	1,57bc	2,15a
9	99,64a	15,34ab	35,18abdc	4,25bc	2,57a	1,50c	1,04d
10	99,14ab	16,71a	35,98abc	5,15a	2,91a	1,28c	1,12cd
DMS	1,53	1,84	6,91	0,80	1,17	0,60	3,06

P=0.05= DMS, LA: Línea avanzada, Materia seca, P=Proteína, FND=Fibra detergente neutro, FAD=Fibra ácido detergente, LI=Lignina, CE=Cenizas, GR=Grasa, CV=Coeficiente de variación, a, b, c, d y e literales para indicar los grupos estadísticamente diferentes entre líneas avanzadas.

6.1.1 Materia seca

Esta variable, define la cantidad del alimento menos el agua contenida en este mismo, en otras palabras, si un alimento “X” se somete a un calor moderado de tal modo que el agua evapore, lo que queda es MS. Bajo esta determinación, lo que se estima es el agua que se pierde y que, bajo su composición química, ésta no aporta energía. El rango de valores obtenidos para MS en el presente trabajo, se encontró entre 96,81 y 99,82% (Cuadro 6). Al aplicar el ANOVA, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las líneas avanzadas y como consecuencia se formaron varios grupos con diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, todos los valores encontrados de MS en el presente trabajo, sobrepasaron los valores reportados por Mesa y Fierro (2008), los cuales, mencionaron valores de 94%, así como lo reportado por las Normativas Mexicanas. Otros estudios, también reportaron valores de MS más bajos en Trigos Argentinos, alrededor del 87% (Cuniberti *et al.*, 2011). En cuanto a las Normatividades Mexicanas, la NMX-F-007-1982, que indica los valores máximos de MS en harinas de panificación y elaboración de galletas de 86%. Por lo tanto, se sugiere que los presentes valores se direccionen a nuevas revisiones, que abarquen desde el manejo agronómico hasta el almacenamiento, en especial en ésta última etapa ya que podría ser un área de oportunidad para continuar el presente trabajo.

6.1.2 Proteína

El rango de valores obtenidos para la variable proteína en la presente investigación fue entre 10,8-14,2% (Cuadro 6). Al aplicar el ANOVA ($P=0,05$), los resultados indicaron que existieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) por lo que se realizó la correspondiente comparación de medias de DMS, derivado de lo cual se formaron cinco grupos estadísticamente diferentes. En el grupo con el valor de proteína más bajo estuvo la LA 5, con 11,5%. La cual, fue sucedida por las LA 6 y 2 con 13,05 y 13,3%, respectivamente. El siguiente grupo comprendió valores

entre 13,7 y 14,7%, para los materiales 4, 3 y 8. A continuación siguió la LA 9 con un valor de 15.3%. Así, el grupo con los valores más elevados para proteína contenía los materiales 1, 7 y 10, con resultados entre 16,7-16,9%. Todos los valores observados se encontraron dentro de los reportados por otros autores como Fraschina *et al.*, (2010) y Cunebirti *et al.*, (2011), de los cuales, el primero evaluó la adaptabilidad de diferentes variedades de trigo en condiciones el manejo de productor en diferentes localidades en Colombia. En donde, los resultados reportados se hallaron entre 10,3-14,4%, valores similares a la presente investigación, y algunos incluso más bajos. Sin embargo, de acuerdo con la FAO este parámetro se reporta de 11,6%, por lo que la LA 5, es la que se observan cumpliendo con tal cifra. Rodríguez y García (2014), mencionaron valores de proteína por debajo de los valores presentados en este trabajo (8,7%). Otro aspecto, que se sugiere relevante, son las condiciones de lluvia reportadas durante el cultivo del material biológico estudiado, fueron favorables para el llenado del grano y que tal situación, pudo haber originado ligeras diferencias en los porcentajes de proteína observados y por encima de lo reportado por la FAO. Ya que algunas de las localidades trabajadas, tienen periodos de precipitaciones pluviales más extensos que las otras, como es en el caso del Municipio de Metepec. Otro aspecto relevante, puede mencionarse en la fertilización, ya que en otros estudios similares en el Valle de Toluca (Mismos Municipios con otras líneas avanzadas de Trigo), con Tratamientos de 80-75-60, con Urea, Superfosfato con triple calcio y KCl, reportaron pesos Hectolítricos muy estables (Rodríguez y García, 2014).

De la Vega y De la Fuente (2009), menciona los tipos de proteínas presentes en el grano e indicaron que albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas son las más importantes, estas dos últimas provienen del gluten, y proveen en general viscosidad (extensibilidad) y elasticidad (tenacidad) a la masa. En el presente proyecto no se realizó el perfil de aminoácidos, ni la caracterización de proteínas (alto y bajo peso molecular) que se encontraron en las LA, sino solamente la

cantidad. Por lo que se sugiere, que en nuevos estudios se determine el perfil proteico de al menos las LA promisorias, en cuanto a sus valores agronómicos, ya que todas mostraron porcentajes de este parámetro dentro de los rangos señalados por la FAO. Finalmente, se sugiere que posiblemente el manejo agronómico o las condiciones hídricas a las que las LA estuvieron sometidas, permitieron que la cantidad de proteína para las tres localidades estudiadas para las 10 LA, mostraran ciertas oscilaciones en cuanto al porcentaje de esta variable. Igualmente, se propone a las LA 5, como aquellas que pudieran ser promisorias en cuanto al contenido de Proteína mencionado por la FAO, aunque algunas otras de las LA, como ya se mencionó, mostraron resultados superiores y semejantes a los de otras investigaciones. Sin embargo, el estudio del perfil proteico podría ofrecer datos más precisos para la Calidad Nutricional de los materiales (Rodríguez y García 2014; Orihuela 2015; FAO, 2015b).

6.1.3 Fibra neutro detergente (Insoluble)

El rango de valores encontrado para FND fue entre 23,02 y 40,21g/100g encontrándose diferencias significativas en el ANOVA ($P=0,05$) por lo tanto, se aplicó una prueba de comparación de medias de DMS ($P=0,05$), la cual indicó que se formaron varios grupos estadísticamente diferentes (Cuadro 5). Entre los cuales, en el grupo con los valores más bajos se encontró a la LA 1 y con los valores más elevados, a la LA 5. El resto de las líneas avanzadas, mostraron valores de FND entre 28,82-39,4g/100 g. Éste parámetro, ha sido reportado en valores entre 40,30 a 42,35g por 100 g en otros estudios, así que en el presente estudio solamente la LA 5 se encuentra entre en el rango (Cancela, 2015). Esposito *et al.* (2005), reportaron contenidos de fibra en el grano diferentes en un rango entre 21 a 64 g/100 g. Situación que permite incluir a las 10 LA entre los contenidos de fibra sugeridos. Esta variable, como ya se mencionó, refiere una buena estimación del contenido de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y

lignina) para la alimentación humana. La cual, debido al marcado aumento de las enfermedades no infecciosas crónicas degenerativas en la población mexiquense, resulta ser un aspecto de importante consideración para la alimentación de dicho sector, debido a los efectos de dicha fibra en el intestino, como laxante y en la disminución del tiempo del tránsito intestinal. Así, la FND puede proporcionar una considerable estimación de fibra insoluble y este tipo de fibra, es considerada relevante en los cereales, que son parte muy importante de la alimentación mexicana, que requiere contenidos de fibra por sus beneficios hipoglucemiantes y el alto número de mexicanos con patologías relacionadas con el metabolismo de los Carbohidratos, como menciona ENSANUT 2012 (Gutiérrez *et al.*, 2014). Cabe recordar, que los resultados proporcionados en el presente trabajo, parten del grano entero, del cual el salvado, es la parte más importante de fibra insoluble. Sánchez (2014), indicó que conforme más salvado tenga la masa, el volumen del pan disminuye, la miga es más dura y presenta sabores poco agradables y que un máximo de salvado en el producto, tiene buena aceptación sensorial y ofrece los beneficios mencionados. Asimismo, se sugiere que algunas de las LA en el presente trabajo, puedan utilizarse para la producción de harinas integrales para elaboración de pan. A lo cual, se propone que se realice un análisis sensorial de los panes de las harinas de las líneas avanzadas estudiadas, se sugiere que preferentemente las LA 1 a la 9, cultivadas en cualquiera de las 3 localidades estudiadas, ofrecerían productos con una buena estimación de fibra insoluble con menos probabilidades de problemas en la calidad de la miga (Kuklinski *et al.*, 2003; Orihuela, 2015).

6.1.4 Fibra ácido detergente

El contenido de esta variable para el presente proyecto, arrojó valores desde 3,74g/100g hasta 5,74g/100g, encontrándose diferencias significativas en el ANOVA ($P=0,05$) por lo que al aplicarse la Prueba de comparación de medias de DMS ($P=0,05$), se encontraron 4 grupos con diferencias estadísticamente

significativas. La línea avanzada 8 (Cuadro 6), conformó el grupo con los valores más bajos (3,74g/100g), mientras que dentro de los grupos con cifras intermedias (4,25-5,05g/100g) figuraron los materiales 9, 6 y 5, y finalmente, con los valores más altos se encontraron las LA 10, 1, 2, 3, 7 y 4, con contenidos de FDA que oscilaron en 5,15 y 5,74/100g. En cuanto, a los valores reportados para FDA, Esposito *et al.* (2005) mencionaron contenidos de Fibra Soluble en grano entre 0,9-4,1g/100g, por lo que solo la LA 8 se encuentran dentro de dicho rango. Aunque, otros autores mencionan valores aceptables para esta variable, en promedio de 8g/100g en granos de trigo (Mesa y Fierro, 2008) y bajo dicho reporte, ninguna de las líneas avanzadas cultivadas en cualquiera de las 3 localidades mencionadas, cumplen con el contenido FDA recomendado. La Fibra ácido detergente es mencionada por la FAO como parte de la fibra dietética y que la deficiencia de ésta segunda, se relaciona con la existencia de una serie de padecimientos (Enfermedades no infecciosas crónico degenerativas), tales como Cáncer de Colon, Diabetes Mellitus Tipo 2, Obesidad, entre otras. Igualmente, la FAO menciona que FAD, arroja una buena estimación de celulosas y ligninas (Morón *et al.*, 2015). Por lo que, en el presente trabajo, se propone que el contenido de FAD que las LA 4, 3, 2, 1 y 10 en las localidades estudiadas, podrían ofrecer trigos con importantes contenidos de fibra, sin ser afectado por la elección entre cualquiera de las localidades estudiadas en el presente trabajo. Debido a que en las 3 localidades los niveles de FAD se mostraron dentro del rango sugerido por la FAO (5,15g/100g aproximadamente) (Morón *et al.*, 2015).

6.1.5 Lignina

Los valores de Lignina (LI) obtenidos en las líneas avanzadas abarcaron desde 2,07 hasta 3,23%(Cuadro 6) y no presentó diferencia estadísticamente significativa ($P=0,05$) entre las líneas avanzadas. Tales resultados, al compararse con los resultados de FND y FAD, que sí presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las LA, sugieren que estas variables sufrieron cambios, pero no

por el contenido de Lignina. El cual, no varió entre el material vegetativo estudiado en ninguna de las localidades analizadas. Por lo que también, podría estimarse que el contenido de celulosa y hemicelulosa fuese la diferencia entre el contenido de FND y de FAD, ya que el contenido de LI no presentó variaciones estadísticamente significativas ($P=0,05$). Lo anterior, puede resultar como un aspecto benéfico, ya que los 10 materiales estudiados se encontraron con valores de LI más bajos a los reportados por Prinsen (2010) 8,6% y por Kuklinski (2003) 4,7-8,4%, respectivamente y debido a que la LI, es uno de los componentes de las paredes celulares que resulta muy irritante a la mucosa intestinal (Kuklinski, 2003). La FAO apunta a la Lignina, como parte de la FAD y FND, por lo que el comportamiento observado en la presente investigación, sustenta que, en los materiales estudiados, los niveles de LI no sufrieron afectaciones en las tres localidades trabajadas y que los niveles de esta variable, no pudieran ser un factor para desarrollar posibles afectaciones al tracto intestinal. Así, la harina a obtenerse de la línea avanzada 5, puede presentar niveles de fibra (soluble e insoluble) recomendados en la panificación (Hernández y Sastre 1999; Sánchez 2014).

6.1.6 Cenizas

El contenido de Cenizas (CE) observado para las 10 líneas avanzadas estudiadas fue entre 1,28 y 2,35% (Cuadro 6) encontrándose diferencias significativas al aplicar el ANOVA y tras la prueba de Comparación de Medias de DMS ($P=0,05$), se formaron 5 grupos estadísticamente diferentes. El primer grupo, correspondió a la línea avanzada que mostró los valores de CE más bajos, la LA 10 con 1,28%, en el segundo grupo están las LA 9, 8 y 1 (1,50 a 1,58%), el tercer grupo está integrado por las LA 7 y 5 (1,88% y 1,93%, respectivamente). El contenido de CE con valores intermedios (1,93% y 2,03%), se observó en las líneas 2, 3; y finalmente, los valores más elevados de cenizas se presentaron en las LA 4 y 6 (2,24-2,35%, respectivamente). Los valores reportados por la FAO para el

contenido de cenizas son de 1,6%, por lo que a dicho rango el contenido de CE aceptable se presentó en casi todas las líneas avanzadas con excepción de las líneas 4 y 6, con valores superiores. Sin embargo, otros autores han mencionado valores del contenido de CE de 2,6 %, incluso por encima del grano de maíz (1,6%) o entre 1,8-2,0% (Mesa y Fierro, 2008). Lo que sugiere, que todos los materiales analizados se encontraron en valores alrededor de los mencionados como recomendables en la literatura. Dendy (2004) menciona que un alto contenido de CE ($\geq 3\%$) se considera generalmente como un factor no apto o recomendado para panadería, ya que tanto el propio salvado como sus componentes, afectan la calidad panadera. Es por tal motivo, que el mijo entre otros cereales, como el sorgo, con contenidos más altos de CE y fibra, se menciona con baja aceptabilidad por los consumidores. Por lo tanto, si se presentan valores de CE más bajos en grano y harina, resulta favorable para la extracción de la harina durante la molienda (1,55-1,76% en grano). Así, con excepción de las líneas 4 y 6, el resto de los materiales analizados y cultivados en cualquiera de las 3 localidades estudiadas se presentaron en dicho rango, por lo que se recomienda realizar pruebas de panificación para determinar si es factible su uso en dicho sector industrial (Cuniberti *et al.*, 2011).

6.1.7 Grasa

El contenido de Grasa (GR) para las 10 líneas avanzadas osciló entre 0,48-2,15% y al realizar el ANOVA se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P=0,05$). Por lo que al aplicarse la prueba de Comparación de Medias de DMS, se formaron 7 grupos estadísticamente diferentes ($P=0,05$), como se muestra en el Cuadro 6. De los cuales, con los valores de GR más bajos se encontraron las LA 1 y 2 (0,48-0,56%), el siguiente grupo corresponde a las LA 9 con 1.04%, enseguida en tercero fue las LA 10 y 3 con 1.12 y 1.16%, el cuarto a las LA 5 y 4, ambos con 1.32%, el quinto grupo fue para la LA 6 con 1.39%, el penúltimo grupo fue para la LA 7 con 1.5% y el último grupo y con porcentaje de grasa más alto fue para la LA

8. Con un valor de 2.1%. De lo anterior se resume que la LA 8, supera ligeramente a los valores mencionados por la FAO (2015a, 2015b), para el grano de éste cereal (1,8-2,0%), y que el resto de las LA se encuentran muy por debajo de dicho valor lo que sugiere que no presentarían o tardarían en presentar problemas de enranciamiento de la grasa durante su almacenamiento.

6.2 Calidad bromatológica por localidad

Los resultados de análisis de varianza ($P \leq 0,05$) indicaron que no existieron diferencias significativas para todas las variables, en las tres localidades estudiadas para los presentes materiales vegetativos. En el resto de las variables, que sí mostraron diferencias estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de comparación de medias estadísticas de DMS ($P \leq 0,05$). Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación de medias entre localidades sembradas de trigo para las variables de variables de calidad bromatológica (DMS, $P \leq 0.05$)

Localidad	MS	P	FND	FAD	LI	CE	GR
1	98,47a	14,35 ^a	29,84b	4,87b	2,30a	1,59b	1,05b
2	98,50a	15,08 ^a	33,69a	4,72b	2,53a	1,72b	1,13b
3	98,76a	14,58 ^a	32,99ab	5,30a	2,91a	2,16 ^a	1,43a
DMS	0,83	1,00	3,78	0,44	0,64	0,33	0,16

MS: Materia Seca, P=Proteína, FND=Fibra Neutro Detergente, FAD=Fibra ácido Detergente, LI=Lignina, CE: Cenizas, GR=Grasa, DMS= $P \leq 0.05$, Localidad 1=San Mateo Oztzacatipan, Localidad 2=Jocotitlán, Localidad 3= Metepec, a y b, literales para indicar los grupos estadísticamente diferentes por Localidad

Del Cuadro anterior los valores más relevantes que se comentaran son los siguientes:

6.2.1 Fibra Ácido Detergente (FAD)

Para la variable FAD, se formaron 2 grupos estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$), el grupo de medias más bajo fue para las localidades 1 y 2 con 4,87 y 4,72g, respectivamente. La más alta fue para la localidad Metepec con 5,30g/100g. Los cuales, resultan elevados en comparación con lo reportado por otros autores,

quienes mencionan contenidos de fibra soluble de incluso 4,1 g. Aunque, Mesa y Fierro, reportaron un promedio de FAD, de 8g para los granos de este cereal. Finalmente, el mayor contenido de FAD, es un área de oportunidad para evaluar tanto la Calidad Bromatológica y Forrajera de los trigos que puedan sembrarse en dichas localidades. Aunque también el contenido de FAD, puede aumentarse por la edad de la planta, al ser una estimación de la pared celular. La cual, al avanzar la edad del cultivo, su porcentaje aumenta, por lo que dichos aspectos pudieron haber sucedido durante la etapa de la cosecha (Morón, 2015).

6.2.2 Cenizas

Para la variable Cenizas, se formaron 2 grupos estadísticamente diferentes, el grupo con las medias con valores más bajos, fue para las localidades de Jocotitlán y San Mateo Oztzacatipan con 1,59 y 1,72%, respectivamente (Cuadro 6). Los valores de CE más altos, por lo tanto, se observaron en la Localidad 3 (2,16%). Los valores de la FAO para esta variable se reportan en 1,6%, por lo tanto, los valores de esta variable obtenidos en las localidades 1 y 2 se encontraron cercanos a dicho valor. Mientras que la tercera localidad (Meteppec), con 2,16% se encontró por encima del valor de referencia. Los factores genéticos desempeñan la principal razón para la composición del grano, aunque los factores ambientales también pueden modificarla, como se ha reportado para los granos de otros cereales. La FAO reporta una determinada relación entre el contenido de CE y proteína, para el sorgo, la cual no se observó en el trigo estudiado en el presente trabajo (FAO, 2015b). Por lo tanto, en el presente trabajo, los cultivos cosechados en las localidades Jocotitlán y San Mateo Oztzacatipan, se proponen con buenos valores de CE para la mejora de la extracción de la harina, durante la molienda. En la presente investigación, la localidad de Meteppec mostró valores diferentes de esta variable, por lo que se sugiere que las condiciones climáticas de dicha región alteran parte de la morfología o de la composición química del grano (Mesa y Fierro, 2008).

6.2.3 Grasa

En cuanto al contenido de GR, el efecto de la localidad sobre esta variable mostró diferencias significativas ($P=0,05$) con 2 grupos estadísticamente diferentes. De los cuales, los valores de GR más altos se encontraron en la localidad Metepec (1,43%) y los valores más bajos para las localidades L1 y L2, con 1,05 y 1,13%, respectivamente. Consecuentemente, los valores de esta variable resultaron ligeramente por debajo de los rangos mencionados tanto por la FAO (1,8–2, 0%), como por otros autores, por lo que se recomiendan estudios continuos de la presente variable (Surco y Alvarado, 2010).

6.3 Análisis de Correlación

Se realizó un Análisis de Correlación ($P\leq 0,05$) entre las variables para saber si existía o no entre ellas esta condición. Los resultados se enlistaron en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de Correlación lineal simple entre las variables de calidad bromatológica y su significancia estadística.

	P	FND	FAD	LI	CE	GR
MS	0,10 (0,44)	-0,12 (0,33)	-0,02 (0,84)	-0,07 (0,55)	-0,13 (0,31)	-0,08 (0,50)
P		-0,00 (0,99)	-0,10 (0,41)	0,00 (0,98)	-0,12 (0,34)	-0,13 (0,29)
FND			0,10 (0,44)	0,35** (0,00)	0,16 (0,19)	0,31** (0,01)
FAD				0,33** (0,00)	0,12 (0,32)	-0,04 (0,72)

LI	0,060	0,121
	(0,64)	(0,35)
CE		0.060
		(0.64)

MS: Materia seca, P: Proteína, FND: Fibra neutro detergente, FAD: Fibra ácido detergente, LI: Lignina, CE: Cenizas, GR: Grasa. $P \leq 0.05$: Análisis de correlación. * ò **=Significativo o altamente significativo al 5% y al 1%, respectivamente.

Las variables (Cuadro 11) que presentaron correlación, fueron:

1.- FND y FAD con LI (positiva). Se sugiere que los valores de FAD y FND, se aumentaron con el aumento de los valores de LI. Dicha relación propone que las variaciones tanto de FAD y FND, no se debe únicamente al contenido de LI, puesto que este último, no mostró diferencias, sino más bien, en cuanto al contenido de las otras biomoléculas de conforman las fibras vegetales, como pudiera ser celulosa y hemicelulosa, como principales componentes de las paredes celulares vegetales.

VII. CONCLUSIONES

- La Calidad Bromatológica de las líneas avanzadas (CIMMYT) cultivadas en tres Municipios del Valle de Toluca (San Mateo Otzacatipan, Jocotitlán y Metepec) resultó ser suficiente en cuanto al contenido de Cenizas, Grasa y Humedad.
- La Calidad bromatológica y el manejo agronómico de la mayoría de las líneas avanzadas estudiadas, resultó como adecuado, en cuanto al contenido de proteína.
- Se identificó a las líneas avanzadas 4 y 6, debido a sus resultados de Proteína, Cenizas y Grasa principalmente, como materiales promisorios para ser sometidas a otros estudios más detallados para evaluar la producción de buenas harinas panaderas.

VIII. LITERATURA CITADA

1. Acero G. M. G. 2007. Manual de Prácticas de Bromatología. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
2. 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. Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México.
3. Avedaño, C. M. E. 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.
4. Cámara Nacional de la Industria molinera de Trigo en México, 2009. Tipos de Trigo. En: <http://www.harina.org/trigo.php>(s.f.). Consultado en 10 de Enero del 2009.
5. Cancela, M. del P. 2015. Tabla de alimentos ricos en fibra soluble e insoluble. Disponible en <http://www.abajarcolesterol.com/tabla-de-alimentos-ricos-en-fibra-soluble-e-insoluble/>. Consultado el 15 de Febrero de 2015.
6. Caviglia O.P., Sadras V.O y 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 Res.* 87:117-121.
7. CIMMYT, 2005. Calidad de la cosecha en México. Ciclo Otoño Inverno 2005/06. <http://libcatalog.cimmyt.org/download/cim/89918.pdf>. Consultado en agosto, 2016.
8. CIMMYT, 2008; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. En: <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chromeinstant&ion=1&espv=2&ie=UTF8#q=3.+CIMMYT%2C+2006%3B+Centro+Internacional+de+Mejor>

- amiento+de+Ma%C3%ADz+y+Trigo Plan rector del sistema producto trigo. Consultado en Junio 2015.
9. CODEX-STAN-199-1995. NORMA DEL CODEX PARA EL TRIGO Y EL TRIGO DURO.
 10. Crouch, J. D., J. Braun, 2008. Science week: Wheat facts and features. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, Texcoco, p.p 10–21.
 11. Cuniberti M., Mir L., Berra O., Macagno S. 2011. Calidad del Trigo de la Región Central del País. Campaña 2010/11. Instituto Nacional de Tecnología. Argentina.
 12. De la O, O. M., Espitia R. E. Villaseñor M. H. E., Molina G. J. Do., López S. H., Santacruz V. A., Peña B. R. J. 2010. Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
 13. De la Vega A. J. y De la Fuente. E. 2003. Elección de genotipos. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA. Cap. 14: 318 – 349.
 14. Delcour and Cand R. C. Hosenev. 2009. Principles of Cereal Science and Technology. AACC International, pages 580-590.
 15. Dendy, D. A. V. 2004. Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología, p.p. 156
 16. Edel, R., 2007. De tales panes, tales harinas: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Hugo Báez.
 17. Espitia, R. E., Peña B. R. J., Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Limón O. A. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. Revista Fitotecnia Mexicana.

18. Esposito, F., Arlotti G., Bonifati, A. M., Napolitano, A.; Vitalie, D.; Fogliano V. 2005. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. Elsevier. Food Research International. V. 38- 10, p.p. 1167-1173.
19. FAO, 2015A. Depósito de documentos de la FAO. Análisis Especiales. En: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/ab489s04.htm>. Consultado en Junio 2016.
20. FAO, 2015b. Sistema mundial de información y alerta sobre alimentos y la agricultura, FAO. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. No. 2, junio 2016. En : <http://www.fao.org/3/a-i5710s.pdf>
21. FAO. 2015c. Manual de Técnicas para Laboratorios de Nutrición de Peces. Programa Cooperativo Gubernamental FAO – Italia. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S04.htm> (En línea). Consultado en Enero 2016.
22. FAOSTAT, 2015. FAO. Statistics división en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>. Consultado en Agosto, 2016.
23. FAO 2016, <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/ah833s16.html>. Consultado en Agosto 2016.
24. Fraschina J., Salines J., Bainotti C., Gómez D., Donaire G., Cuniberti M., Mir L. y Alberione E. 2010. Evaluación de variedades de trigo en campo de productores durante el año 2010. EEA INTA. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-variedades-de-trigo-en-campo-de-productores-2010/at_multi_download/file/INTA_Evaluaci%C3%B3n%20de%20variedades%20de%20trigo%202010.pdf. Consultado en Mayo 2016.
25. Gerster, G., y Bacigaluppo, S., 2007. Aportes del trigo a la sustentabilidad del sistema. Para Mejorar la Producción. N° 34. EEA Oliveros INTA, España, pág.8-11.
26. Gutiérrez, J. P., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M.,

- Hernández-Ávila, M. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados nacionales. 2a. ed. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública (MX), 2013.
27. Hernández R. M., y Sastre G. A. 1999. Tratado de Nutrición. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. p.p. 406-407.
28. Hernández E., N., Romano G. P., López F. C., Santoyo H. I. G., Varela A. S., Benítez I. 2011. Contribución de combinaciones de Gluteninas a las características del Gluten en poblaciones recombinantes de Trigo. Rev. Fitotecnia Mexicana. México. 36 (1): 45 – 51.
29. 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.
30. Hosney, R. C. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acibia, p.p. 75.
31. Izadi-Darbandi, A., Bahman Y. S., 2012. Marker-assisted selection of high molecular weight glutenin alleles related to bread-making quality in Iranian common wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of genetics 91 (2):193–198.
32. Jaurena G., y M. Wawrzkievicz, 2009. Guía de procedimientos analíticos. PROMEFA, Programa para el Mejoramiento de la Evaluación de Forrajes y Alimentos Centro de Investigación y Servicios en Nutrición Animal (CISNA) Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, p.p 20- 22.
33. Kuklinski, C. 2003. Nutrición y Bromatología. Editorial Omega. p.p. 1-3, 21-24.
34. Mesa A. y Fierro S. 2008. Curso Posgrado Alimentos en Ruminantes. Consultado el 17 de Junio de 2016. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~nutanimal/Fierro.%20Messa.SUBTRIGO.pdf>
35. Método AOAC 44.1.05 Oficial 900.02 de Ceniza 2012.

36. Método AOAC Ed19, 2012 991.36 de Grasa.
37. Método AOAC Ed.19, 2012 976.05 de Proteína.
38. Método oficial de la AOAC 900.15 de Humedad.
39. Mira, R. A. 2003. Calidad Fisicoquímica del grano de 20 genotipos de *Triticale* y 3 de Trigo, en 6 Localidades del Valle de Toluca. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista Universidad Autónoma del Estado de México. Cerrillo Piedras Blancas, Toluca.
40. Mondragón, S, L. 2006. Parámetros de estabilidad para evaluar trigo cristalino en el Estado de México. Tesis de licenciatura de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista Universidad Autónoma del Estado de México. 73 p.
41. Mortarini, M., Perelman, S. y Miralles, D. 2004. Calidad industrial del trigo: interacción genotipo x ambiente. Actas del VI Congreso Nacional de trigo pp 304-305. Bahía Blanca, Argentina. Octubre 2004.
42. Morón C., Zacarías I., De Pablo S. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Chile. Departamento de Agricultura. Consultado en Junio de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/ah833s18.htm>
43. NMX-F-007-1982. ALIMENTO PARA HUMANOS. HARINA DE TRIGO. Foods for humans. wheat flour. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
44. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 19th Editon, 2012.
45. Orihuela, P. 2015. Calidad Bromatológica de líneas avanzadas de trigo cultivadas en tres localidades del estado de México. Tesis de ingeniero agrónomo industrial. Universidad Autónoma del Estado de México. Cerrillo Piedras Blancas, Toluca.
46. Prinsen, P. 2010. Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis de ligninas. Tesis de Maestría. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. España.

47. Rodríguez A. J. A.; García O. A. 2014. Selección de Genotipos de Trigo Harinero sobresalientes por su Comportamiento Agronómico y Calidad Industrial. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
48. Rubianes M. J. 2007. Prolaminas y Marcadores Moleculares relacionados con la calidad del Trigo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.
49. SAGARPA, 2010. El cultivo del trigo (en línea). Disponible en <http://www.oeidruss-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/EICultivoTrigo.pdf>. Consultado en Mayo 2013.
50. Saldívar. R. 1996 Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor.
51. Salvagiotti, F., 2009. Manejo de soja de alta producción. Para Mejorar la Producción N° 42 EEA Oliveros INTA. Italia .pág. 57-62.
52. 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.
53. Sánchez A. A y García G. F. 2015. Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. H. Ayuntamiento de Toluca de Lerdo. Consultado en Julio 2016. Disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15106a.html>
54. Sánchez, A. E. 2014. Aspectos Tecnológicos involucrados en la adición de fibra en pan. Universidad Iberoamericana.
55. Surco A. J. C. y Alvarado A. J. A. 2010. Harinas Compuestas de Sorgo-Trigo para Panificación. Revista Boliviana de Química. 27:1.
56. 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.

57. Vázquez, M. M. 2013. Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. *Ciencia y Tecnología*, 13, 2013, pp. 117-132, 1850-0870.
58. Villaseñor M. H. y E. Espitia 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *El Trigo de Temporal en México*. Villaseñor M H E y E Espitia (eds). SAGAR, INIFAP, CEVAMEX. Chapingo, Edo. de México, México. pp:85-98
59. Zhang P; He Z; Chen D; Zhang Y; Larroque O; 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.
60. Zhang, Y., He Z., Guoyou Y, Zhang A. & Van Ginke M. 2004. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Journal of Cereal Science* 139: 75–8.