

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



**MEJORAMIENTO GENÉTICO DE TRIGOS DE GLUTEN FUERTE PARA
RENDIMIENTO DE GRANO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

PRESENTA:

JUAN JOSÉ PAZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR

DR. JUAN FRANCISCO PONCE MEDINA

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California

Diciembre de 2013

**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO
PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y
ACEPTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. Diciembre de 2013

COMITÉ PARTICULAR

Director: _____

Dr. Juan Francisco Ponce Medina

Asesor _____

Dra. Rosario Esmeralda Rodríguez González

Asesor: _____

Dr. Alejandro Manelik García López

Asesor: _____

Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba

Asesor: _____

Dr. Manuel Cruz Villegas

PENSAMIENTO

Cuando el hombre nace lo hace del vientre de su madre quien lo expulsa a este mundo para abrirse camino, crecer y aprender de la vida...La naturaleza es sabia y tiene mucho que ofrecer al desarrollo intelectual del hombre. Lo cierto es que el hombre sigue naciendo una y otra vez a lo largo de su vida y a través de diferentes circunstancias que dejan huella en él.

En lo particular, ésta es una de esas ocasiones en las que el hombre nace de nuevo expulsado al mundo a través del conocimiento. Fuente inagotable de conocimientos que se logran adquirir a lo largo de años de trabajo, paciencia determinación y perseverancia.

Agradecimientos

Doy gracias ante todo a Dios por darme la oportunidad de experimentar un sueño, sueño de todo profesional en lograr los objetivos que me propuse en la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Por darme el apoyo para la realización de
mis estudios de doctorado..

Al Instituto de Ciencias Agrícolas
Por brindarme la oportunidad de continuar con mi estudios de doctorado,
gracias por apoyarme durante mis estudios y brindarme recursos humanos
con excelencia académica a mis maestros, parte importante para mi
formación profesional, gracias.

Al Dr. Juan Francisco Ponce Medina

Un profundo agradecimiento por haber aceptado ser director de tesis y ser el guía y consejero de este posgrado que hoy concluye con éxito gracias a su apoyo incondicional y que siempre estuvo pendiente de mi formación, Gracias Maestro.

Al Dra. Rosario Esmeralda Rodríguez

Por su paciencia su apoyo en la elaboración de esta tesis y que siempre tuvo el tiempo disponible para mis consultas y dudas, gracias Dra.

A mis Maestros

Que contribuyeron en mi formación académica, por su dedicación y entrega al impartir sus cátedras, que llenaron todas mis expectativas de alumno, y que lograron crear una conciencia del conocimiento científico en mi, junto a la necesidad de prepararse cada día y poder enfrentarse a los nuevos retos que nos presenta la vida. Y por supuesto para orgullo propio y para ser un mejor profesional y digno egresado de este Instituto del cual me siento muy orgulloso.

También a todas aquellas personas que de alguna u otra manera participaron en mi formación personal y así mismo por brindarme su amistad.

Al Ing. Héctor Manuel Gallego Pérez

Especial agradecimiento por su gran apoyo, confianza que siempre me ha brindado y en especial en la realización de este proyecto personal.

Al Personal del Laboratorio del Molinera Del Valle

Ing. Ramón Ayón, Juan Villicana, Ing. Alberto Mejía, y a la T.A. Rosa A. Verdugo, por su colaboración en el desarrollo este trabajo.

Personal de Campo

Al Ing. Javier Porras Medrano, mi buen amigo y compañero por su apoyo en el campo y conocimientos, los cuales fueron de gran ayuda para el desarrollo de mi proyecto. Gracias Javier.

DEDICATORIA

A mi esposa

Patricia (Patty), por su apoyo y comprensión durante este cansado camino y que gracias a su ánimo y amor llevamos a buen término este proyecto de vida y que sea un pequeño ejemplo para mis hijos: de deseo, coraje y ante todo el deseo de superación y que no hay edad para seguir aprendiendo los retos que uno se propone. Gracias a Dios y tu apoyo damos buenas cuentas.

A mis hijos

A mis hijos Juan José, Aimeé, y Luciana, que son mi orgullo y la fuente de energía de todos mis proyectos.

A mis padres

Ramiro (Q.P.D), e Isabel a quienes que con su ejemplo supieron forjar en mí la tenacidad del hombre que lucha responsable y dignamente para alcanzar las metas, también me enseñaron que ante las adversidades de la vida no hay imposibles cuando se tiene a Dios como guía.

Para ellos, para los cuales no tengo palabras para expresarles toda mi gratitud, solo les puedo decir los AMO.

A mis hermanos

Guillermo (Q.P.D), Cruz, Ramiro, Elva Beatriz, Pedro, Isabel.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1.INTRODUCCIÓN	12
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2 HIPÓTESIS	13
2. RESUMEN	14
2.1 ABSTRACT	15
3. REVISIÓN DE LITERATURA	16
3.1 TRIGO EN EL MUNDO	16
3.2 TRIGO EN MÉXICO	17
3.2.1 Zonas productoras de trigo en México	18
3.2.2 Trigo en el Noroeste de México	18
3.2.3 Valle de Mexicali, Baja California.....	18
3.3 TIPOS DE TRIGOS	19
3.3.1 Grupo I	19
3.3.2 Grupo V.....	19
3.4 ORIGEN Y CLASIFICACION BOTÁNICA DEL TRIGO	20
3.4.1. Morfología	21
3.4.1.1 Sistema radical	21
3.4.1.2. Sistema aéreo.	22
3.4.1.3. Tallos.	22
3.4.1.4. Hojas.....	22
3.4.1.5 Inflorescencia.....	23
3.4.1.6 Semilla o grano	23
3.5 CICLO DE DESARROLLO DEL TRIGO	25
3.5.1 vegetativo	25
3.5.1.1 Germinación y emergencia	25
3.5.1.2 Ahijamiento	26
3.5.2 Periodo reproductivo.	28
3.5.2.1 Encañado.....	28
3.5.2.2 Espigado.....	29
3.5.3.1 Multiplicación celular activa	30
3.5.3.2 Acumulación de carbohidratos y proteínas:	30
3.5.3.3 Dsecación:.....	31
3.6 FACTORES QUE REGULAN EL DESARROLLO DEL TRIGO	32
3.6.1 Fotoperiodo.....	32
3.6.2 Temperatura	32
3.6.3 Humedad	33
3.7 RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES	34

3.7.1 Número de espigas por m ²	35
3.7.2 Peso de mil semillas	35
3.7.3 Peso específico.	36
3.8 PARÁMETROS DE CALIDAD	36
3.8.1 Proteínas	37
3.8.2 Azúcares reductores.	38
3.8.3 Cenizas.	38
3.9 MEJORAMIENTO DE PLANTAS AUTOGAMAS	38
3.9.1 Método genealógico o pedigrí.....	39
3.9.1.1 Ventajas.....	40
3.9.1.2 Desventajas.....	40
3.9.1.3 Resultados en fitomejoramiento	41
4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FITOMEJORAMIENTO	41
4.1 FENOTIPO.....	41
4.1.1 Definición y diversidad biológica	41
4.1.2 Ambiente	41
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
5.1 METODOLOGÍA PARA LA COLECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	46
5.1.1 RENDIMIENTO DE GRANO	46
5.1.2 Rendimiento de paja.....	46
5.1.3..... Índice de cosecha.....	47
5.1.4 Peso hectolítrico.....	47
6.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	47
6.1 LÍNEAS SELECCIONADAS EN LOCALIDADES Y AÑOS CON MAYOR POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE GRANO	47
6.3. LINTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (GXA) PARA RENDIMIENTO DE GRANO	53
6.3.1. Modelo AMMI.....	55
7. CONCLUSIONES	63
8. BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de manejo agronómico realizado en cuatro ambientes en la evaluación de genotipos de trigos harineros durante el..	45
Cuadro 2. Características de manejo agronómico realizado en cuatro ambientes en la evaluación de genotipos de trigos harineros durante el.	46
Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) en genotipos de trigo y ambientes ciclo 2009/2010	48
Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) en genotipos de trigo y ambientes ciclo 2010/2011	48
Cuadro 5. Cuadrados medios estimados en líneas avanzadas y variedades comerciales de trigo harinero evaluados en localidades del valle de Mexicali 2009/2010 (rendimiento de grano)	50
Cuadro 6.- Valores medios estimados en líneas avanzadas y variedades comerciales de trigo harinero evaluados en localidades del valle de Mexicali 2010/2011 (rendimiento de grano).	50
Cuadro 7.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronómicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son. Ciclo 2009/2010	50
Cuadro 8.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronómicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son. Ciclo 2010/2011	50
Cuadro 10.- Rendimiento medio de grano ($t\ ha^{-1}$) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2010/2011.	53
Cuadro 9.- Rendimiento medio de grano ($t\ ha^{-1}$) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2009/2010.	52
Cuadro 11.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronomicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son en el ciclo 2009/2010	54
Cuadro 12.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronomicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son en el ciclo 2010/2011	55
Cuadro 13. Análisis de varianza AMMI en trigos de gluten fuerte durante los ciclos 2009-10 y 2010-11.	57
Cuadro 14.- GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(<i>Triticum aestivum</i> L. em Thell).....	59
Cuadro 15.-GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(<i>Triticum aestivum</i> L. em Thell).....	60
Cuadro 16. - GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(<i>Triticum aestivum</i> L. em Thell) VARIEDAD: GALIA F-2011	61

**Cuadro 17. - GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS:
TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(Triticum aestivum L. em Thell).. 62**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Principales países productores de trigo en el mundo	16
Figura 2. Estados productores de trigo en México desde 1998-2008.....	17
Figura 3. Grano de trigo.....	24
Figura 4.- Método de pedigrí de –Galia F-2011.....	44
Figura 5. - Comportamiento de rendimiento medio de grano($t\ ha^{-1}$) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos 2009/2010- 2010/2011,con el modelo AMMI.....	58
Figura 5. - Comportamiento de rendimiento medio de grano($t\ ha^{-1}$) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos 2009/2010- 2010/2011,con el modelo AMMI.....	78
Figura.6 - Comportamiento de rendimiento medio de paja($t\ ha^{-1}$) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos 2009/2010- 2010/2011on el modelo AMMI.....	78
Figura 7. - Comportamiento de rendimiento medio de cosecha($t\ ha^{-1}$) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos ,con el modelo 2009/2010- 2010/2011 AMMI.	79
Figura 8. - Comportamiento medio de peso de 1000 semillas en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos ,con el m2009/2010- 2010/2011odelo AMMI.....	79

1.INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación mexicana. Con él se elaboran varios productos de consumo masivo como panes, tortillas, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles. De igual forma, este cultivo es uno de los principales en la temporada otoño –invierno en el Noroeste de México y forma parte de la cultura agrícola de los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California. El Valle de Mexicali es la zona de mayor producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) pues en los últimos 10 años se ha sembrado un promedio de 80 000 ha por año (SIAP, 2011), de las cuales 20 % corresponde a trigos harineros (grupos I y II). Sin embargo, las empresas panificadoras a nivel nacional importan grano de gluten fuerte para satisfacer la demanda y la baja calidad en la harina (proteína, fuerza de gluten y estabilidad), y han mostrado interés en variedades de trigo con alto contenido de proteína en la harina, con fuerza y estabilidad de amasado, entre otras características reológicas (Peña *et al.*, 2008). En general, los altos rendimientos y la buena calidad panadera son características deseables en el mercado actual de trigo (Luo *et al.*, 2000). Por ello, es necesario crear variedades de trigo a través del mejoramiento genético, que cumplan las expectativas del productor (de alto rendimiento) y para la industria panadera (en propiedades reológicas), que ofrezcan ventajas sobre las variedades más sembradas en el Noroeste de México.

El objetivo de esta tesis fue seleccionar, evaluar é identificar líneas de gluten fuerte con mayor potencial de rendimiento que las variedades comerciales actuales bajo diferentes ambientes.

1.1 Objetivos Específicos

- 1.1.1 Seleccionar materiales sobresalientes a partir de las poblaciones segregantes con el método de pedigree.
- 1.1.2 Evaluar las líneas seleccionadas en localidades y años con mayor potencial de rendimiento.
- 1.1.3 Estimar la interacción genotipo x ambiente de las líneas sobresalientes con potencial de rendimiento .
- 1.1.2. Elaborar descriptor varietal de la línea(as) sobresaliente(es),para iniciar el registro de nuevas variedades.

1.2 Hipótesis

- 1.2.1 Ho: La(s) líneas sobresalientes no modifican su potencial de rendimiento bajo diferentes localidades y años.
- 1.2.2 Ho: Se evalúan líneas experimentales con mayor potencial de rendimiento que las variedades comerciales sembradas actualmente.

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE TRIGOS DE GLUTEN FUERTE PARA RENDIMIENTO DE GRANO

2. RESUMEN

El trigo, es el tercer cultivo más cultivado en el mundo para consumo humano, aunque su uso industrial es también importante. Sin embargo, es necesario un aumento del rendimiento en los próximos años para lograr la demanda global del alimento. Se requiere incrementar el rendimiento en aquellos lugares donde las condiciones del desarrollo del cultivo son limitadas por condiciones adversas del tipo abiótico (sequía, frío y calor). En el Valle de Mexicali, el trigo representa el cultivo con mayor importancia en superficie establecida por abastecer la industria molinera de la región, la cual requiere de trigos que reúnan características de calidad y rendimiento. Los trigos cristalinos han sido preferidos por ser los de mayor potencial de rendimiento, lo que deja en desventaja a los trigos panificables. El objetivo de este estudio fue seleccionar y evaluar líneas avanzadas de gluten fuerte bajo 4 ambientes del Valle de Mexicali por ciclo. Se desarrollaron ensayos en el período (2009-2010 y 2011-2012), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro (4) repeticiones. La L3 fue seleccionada como línea con mayor rendimiento de grano.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, calidad industrial, producción.

BREEDING OF STRONG GLUTEN WHEATS FOR GRAIN YIELD

2.1 ABSTRACT

Wheat is the third crop most cultivated in the world for human consumption, although its industrial use is also important. However, it is necessary to increase the yield in the next years to achieve global demand food. This changes are required to increase the grain yield in those regions where the environment to crop development are limited by type of contiditons abiotics (drought, cold and heat). In the Mexicali Valley, wheat represents the most important crop in the area, as well as to the supplies the milling industry of the region, which requires wheats that has quality and performance features. The durum wheats have been favorites to be the higher yield potential of leaving disadvantage breadmaking wheats. The aim of this study was to select and evaluate advanced lines of strong gluten wheat with the best grain yield (RG) under 4 environments of Mexicali Valley for two OI cycles (2009-2010 and 2011-2012). The trial was developed under randomised completely block design with four replicates. The best grain yield was line 3.

Keywords: *Triticum aestivum*, industrial quality, production environment

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Trigo en el Mundo

El trigo (*Triticum aestivum* y *T. durum* L.) es uno de los principales cultivos a nivel mundial. En los años 2008 y 2009, fue estimada una producción de 683 millones de toneladas. Entre los principales países con mayor producción se encuentra China seguido por la India, Estados Unidos, Rusia, Francia y finalmente el resto de los demás países (entre ellos, México)(Figura 1.) (Canimolt,2008).

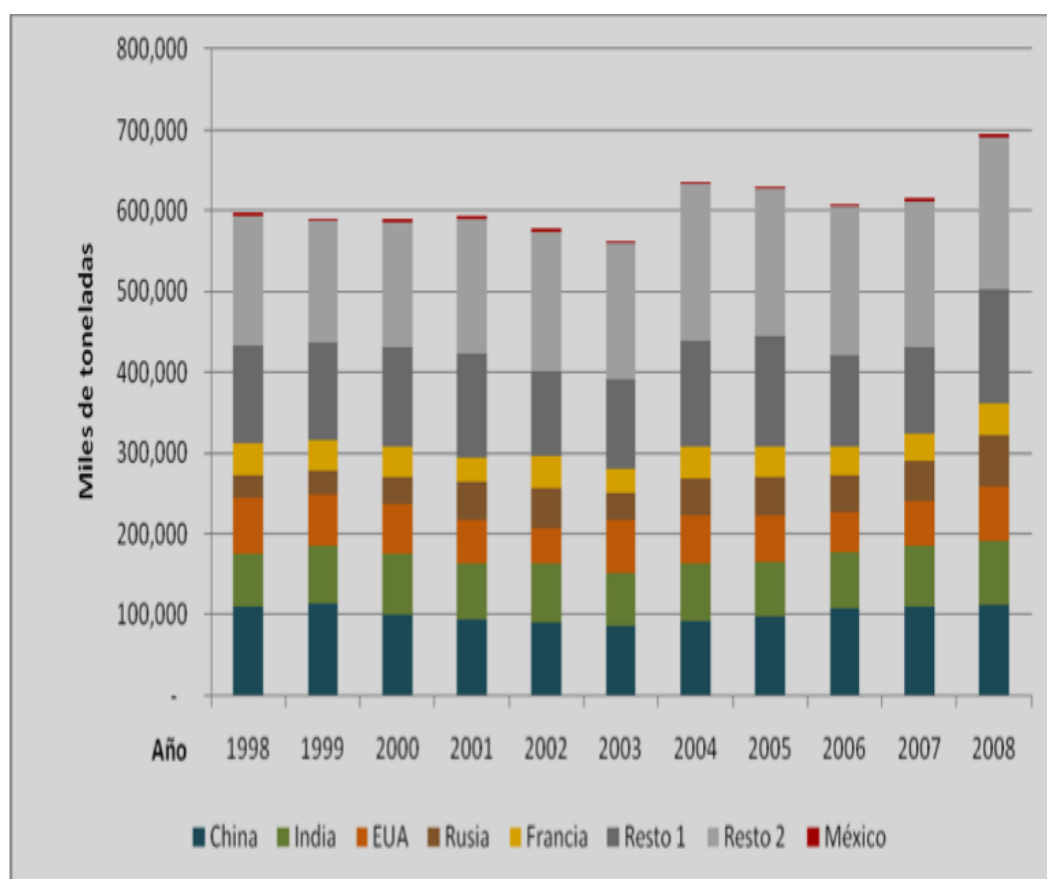


Figura 1.Principales países productores de trigo en el mundo

Fuente: Elaboración con base en información de FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2009.

3.2 TRIGO EN MÉXICO

La producción de trigo en México en el año 2008 fue de 3.3 millones de toneladas, de las cuales 1.9 millones fueron trigos cristalinos y 1.4 millones destinados para la panificación (INFORURAL, 2008). Este cultivo es uno de los principales granos para la alimentación mexicana, pues con él se elaboran varios productos de consumo masivo como panes, tortillas, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles. De igual forma, este cultivo es uno de los principales en la temporada otoño –invierno en el noroeste de México y forma parte de la cultura agrícola de los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California. En este último, el Valle de Mexicali representa la zona de mayor producción, ya que en los últimos diez años, la superficie promedio sembrada en este Valle ha sido de 80,000 ha/año, con una producción superior a las 500 mil toneladas y un rendimiento medio de 6.2 ton ha⁻¹, beneficiando a más de 2000 productores y sus familias. En el año 2008, el estado de Baja California generó una producción de 532,450 ton (Pronespre,2008)(Figura 2).

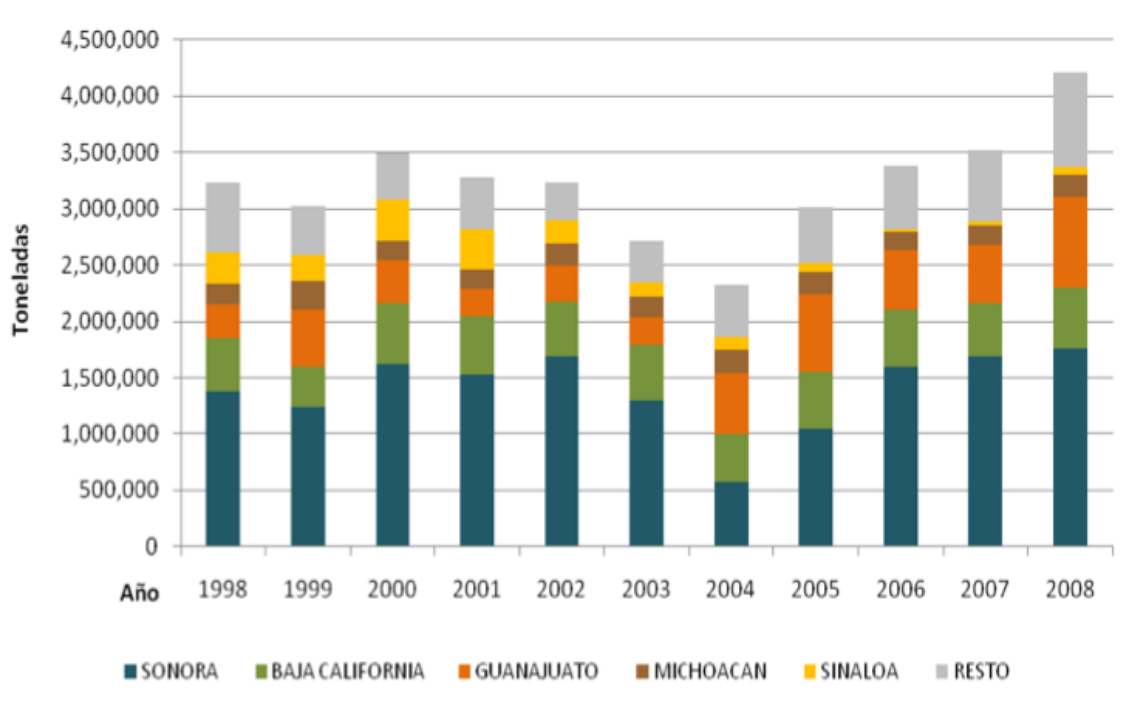


Figura 2. Estados productores de trigo en México desde 1998-2008

Fuente: Elaboración con base en información del SIACON, SAGARPA. 2009.

3.2.1 Zonas productoras de trigo en México

El trigo se producen desde los 15 a 60"de latitud norte y de 27 a 40° de latitud sur con regiones templadas y frías,no siendo un limitante para que se siembren en otras regiones. En México se siembra trigo en casi todos los Estados de la república y se adapta tanto a tierras pobres en nutrimentos, como tierras ricas, zonas húmedas, semihúmedas y secas. Existiendo en México, 6 zonas importantes en la producción de trigo: Í

- 1) Zona Noroeste: Sonora, Sinaloa y Baja California (Norte y Sur)
- 2) Zona Bajío: Querétaro ,Guanajuato,Jalisco y partes de San Luis Potosí.
- 3) Zona Región de la Laguna: Coahuila y Durango.
- 4) Zona Norte: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas
- 5) Zona Centro: Aguascalientes, Zacatecas, Durango y San Luis Potosí.
- 6) Zona valles altos de la altiplanicie mexicana: México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Oaxaca.

Estas zonas son las especializadas en la producción de trigos harineros así como semoleros (Canimolt,2008).

3.2.2 Trigo en el Noroeste de México

Este cultivo es uno de los principales en la temporada otoño–invierno en el noroeste de México y forma parte de la cultura agrícola de los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California aportando el 55% de la producción nacional (Canimolt,2008).

3.2.3 Valle de Mexicali, Baja California.

Se encuentra localizado geográficamente entre los 28° 33' de latitud norte y a 112° 42' y 117° 08 latitud Oeste. Se encuentra situada en el extremo noroeste de la Republica Mexicana, al norte de los estados de Baja California y Sonora, entre los meridianos ,entre los los meriidianos 114° 45' y 115° 40' longitud oeste del

meridiano de Greenwich y los paralelos 31° 41' a los 32° 40' latitud norte (García et al, 1985). En los últimos diez años, la superficie promedio sembrada en este Valle ha sido de 80,000 ha año⁻¹ con una producción superior a las 500 mil toneladas y un rendimiento medio de 6.2 ton ha⁻¹, beneficiando a más de 2000 productores y sus familias. En el año 2008, el estado de Baja California generó una producción de 532,450 ton (Pronespre, 2008)

3.3 TIPOS DE TRIGOS

3.3.1 Grupo I

A este grupo pertenecen todas las variedades de trigo panificables que se clasifican dentro de la especie de trigos hexaploides, espelta (2n=6x=42; AABBDD; *T. aestivum* ssp. *spelta* L. em Thell.)

Estas variedades se caracterizan tener excelentes características de molienda. El contenido de proteína en el grano varía dependiendo de la variedad, manejo agronómico, ambientales y localidad donde se sembró el trigo. La harina que se obtiene del grano de estas variedades producen masas con propiedades de gluten fuerte elástico apto para la industria de panificación mecanizada en la elaboración de pan y como mejorador de trigos de gluten débil. La fuerza general, determinada por el W del alveograma, es mayor de 300 x10⁻⁴ Joules y producen volúmenes de pan elevados con características de textura y color excelente (Canimolt, 2008).

3.3.2 Grupo V

La textura del grano muy duro y cristalino. Se utilizan en la producción de semolina y se caracterizan por tener alto contenido de pigmentos carotenoides que son los responsables de dar el color amarillo brillante a las pastas alimenticias. Las variedades poseen características de gluten fuerte aptos para la producción de pastas alimenticias (espagueti, macarrones, sopas secas, etc) con propiedades culinarias excelentes (Canimolt, 2008).

3.4 ORIGEN Y CLASIFICACION BOTÁNICA DEL TRIGO

No se tiene con exactitud cuando y donde se originó el trigo, debido a la mezcla de individuos silvestres afines, con características intermedias. De Lev-Yadun et al., 2000, lo sitúa en Mesopotamia, seguramente en el área conocida como el Creciente Fértil entre los ríos Tigris y Eufrates, y Vavilov añadiría las zonas de Turquía, Afganistán, Irán e India. La mayor variedad genética de trigos silvestres ocurrió en Irán, Israel y países limítrofes. El cereal creció con éxito en todas direcciones desde el Medio Oriente al resto del mundo (López, 1991).

La cualidad genética que unifica a todas las especies del género *Triticum*, es que su número cromosómico es múltiplo de 14. Los autores (Kimber y Sears, 1987) clasifican a los trigos de acuerdo con su número de cromosomas, agrupándolos de manera general en tres series:

- Diploides con 14 cromosomas y genoma AA ($2n=2x=14$).
- Tetraploides con 28 cromosomas y genoma AABB ($2n=4x=28$)
- Hexaploides con 42 cromosomas y genoma AABBDD ($2n=6x=42$)

Donde $x=7$ el número básico de cromosomas.

En los trigos tetraploides, el más importante es el trigo duro (*T. durum* Desf.), cuyo origen se cree que está en un cruzamiento espontáneo de un trigo diploide ($2n=14$), *T. monococcum* var. *boeoticum* (el llamado «einkorn silvestre»), cultivado en el Medio Oriente hace unos 10.000 años, con una gramínea, también silvestre, perteneciente al género *Aegilops* (tal vez *A. speltoides*, diploide), para dar un híbrido silvestre tetraploide, *T. turgidum dicoccoides* ($2n=28$) (conocido como «emmer silvestre»). Este parece ser el ancestro común de los trigos duros, siendo el *T. turgidum dicoccum* de las primeras especies cultivadas (Kimber y Sears, 1987; López, 1991).

3.4.1. Morfología

La planta de trigo presenta un aspecto herbáceo que, en la madurez, puede alcanzar hasta 150 cm de altura. En relación a su morfología, podemos distinguir el sistema radical y el sistema aéreo (López, 1991).

3.4.1.1 Sistema radical

Es tipo fascicular, está combinado por raíces primarias o seminales, que son las primeras que aparecen cuando tiene lugar la germinación, y por raíces secundarias o adventicias, que cambian a las seminales de forma progresiva. Estas nacen del nudo de ahijamiento que es, además, el origen del tallo principal y de los tallos secundarios (López, 1991).

La habilidad de elongación y ramificación de las raíces está influida por condiciones ambientales, tales como humedad, temperatura, textura y fertilidad del suelo (Lersten,1987). Un exceso de agua invernal puede disminuir su crecimiento, un déficit hídrico moderado puede activarlo. Temperaturas entre 10 a 15 °C favorecen la emisión de las raíces en los cereales de invierno, se reducen cuando la temperatura es inferior entre 6 a 8°C (Simmons,1987; Lersten,1987; López,1991).

En suelos arenosos las raíces adoptan formas más largas y finas opuesto en caso de suelos arcillosos. Igualmente, el déficit de N ó P provoca un aumento importante en el desarrollo de las mismas, aunque no una carencia de K (López, 1991).La producción de raíces secundarias cesa al iniciarse el encañado, aunque a veces puede prolongarse durante fases posteriores, coincidiendo con la diferenciación de los órganos florales sobre cada tallo (Lersten,1987). La formación precoz y abundante de raíces secundarias en los cereales, tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de tallos fértiles, existiendo una estrecha

relación entre el número de raíces desarrolladas y el número de yemas formadoras de tallo en el caso de la aparición de los hijuelos (López, 1991).

3.4.1.2. Sistema aéreo.

El sistema aéreo de los cereales está formado por tallos que parten de una zona situada en la base de la planta, que se denomina nudo de ahijamiento. Cada tallo porta las hojas, acabando su extremo en la inflorescencia. (López, 1991).

3.4.1.3. Tallos.

Están compuestos por nudos y entrenudos. Los primeros son áreas meristemáticas en donde, se alargan los entrenudos y se diferencian las hojas.

El entrenudo es la parte del tallo entre dos nudos. Los de la base del tallo son más cortos. Su longitud, la cantidad de esclerénquima, y el número de haces vasculares, condiciona la resistencia a la caída fisiológica (encamado), aunque en ello también intervengan otros factores, como los genéticos, ambientales o la propia alimentación nitrogenada. En este sentido, un aporte de nitrógeno en el ahijado, favorece el alargamiento de los entrenudos de la base del tallo en cereales de invierno, mientras que, la aplicación ocurre en el inicio del encañado, alargan los superiores. De cualquier modo, la altura de la planta juega un papel trascendental en la resistencia al encamado, lo que ha estimulado los estudios destinados a disminuirla por parte de los mejoradores (Reilly, 1990).

3.4.1.4. Hojas

Se ubican de una manera alternas en dos filas a lo largo del tallo. Cada hoja consta de dos partes, la vaina o zona inferior que envuelve al entrenudo y el limbo ó zona superior. En la unión del limbo y la vaina existe una pequeña lámina membranosa no vascular, denominada lígula, su misión es impedir que la lluvia o los insectos puedan alcanzar los tejidos meristemáticos de la base de la vaina. A

cada lado de ésta, en la base del limbo, se encuentran dos pequeñas estípulas o aurículas, más o menos abrazadoras y vellosas (Reilly,1990).

3.4.1.5 Inflorescencia

La espiga que se ubica en el extremo del tallo. Su unidad morfológica es la espiguilla, cuyo conjunto integra la inflorescencia. La espiguilla está envuelta por dos brácteas o glumas, uniéndose al eje principal de la inflorescencia o raquis. Las flores son hermafroditas, envueltas por dos glumillas, una inferior y otra superior denominadas palea y lema, respectivamente. La prolongación de las lemas forman las aristas, en algunos genotipos son muy largas. El número de flores fértiles por espiguilla suele variar entre 2 y 4 (Relly,1990).

3.4.1.6 Semilla o grano

El fruto, denominado cariósido, es un fruto monospermo, única semilla de 6 a 8 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho, el tamaño de la semilla podría variar de acuerdo a la variedad y a la posición de la espiga; presenta longitudinalmente un hundimiento en la parte opuesta del embrión, una barbilla o pelos, seco e indehisciente, donde los tegumentos del ovario están estrechamente soldados al endospermo. En el caso del trigo, el grano maduro aparece desnudo, al desprenderse de las glumillas que lo envuelven (Figura 3).

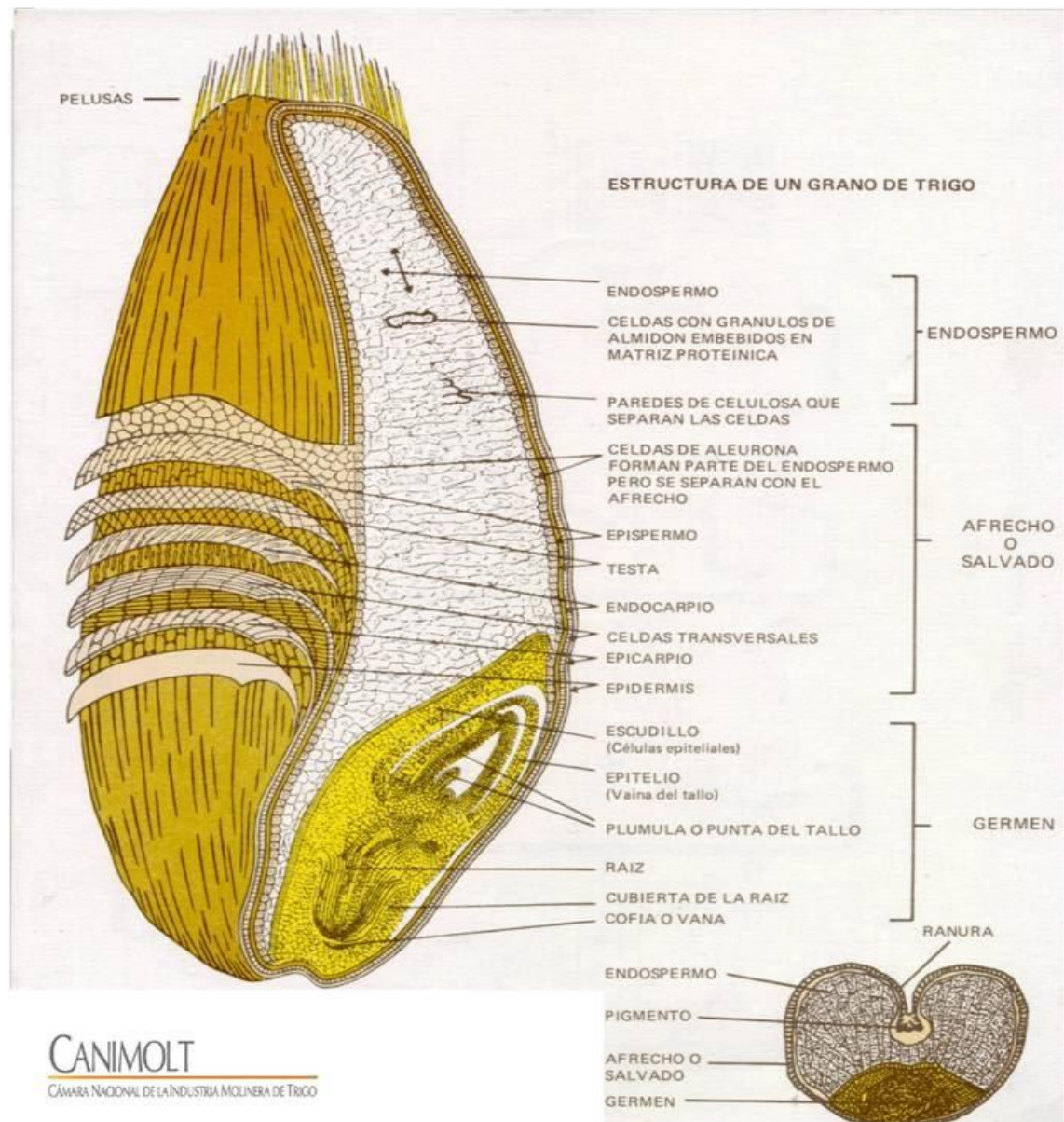


Figura 3. Grano de trigo

3.5 CICLO DE DESARROLLO DEL TRIGO

Es importante caracterizar el desarrollo del cultivo, ya que los cambios ontogénicos tienen efectos importantes sobre el crecimiento y explican el efecto de las condiciones ambientales sobre los componentes del rendimiento (Kirby y Appleyard, 1984).

En el ciclo biológico del trigo se pueden diferenciar tres periodos principales: P vegetativo, reproductivo, maduración.

3.5.1 vegetativo

La formación de hojas, se inicia desde la germinación hasta el fin del ahijamiento e inicio de la diferenciación de la espiga.

3.5.1.1 Germinación y emergencia

La germinación se inicia gracias a una fase previa de la imbibición de agua por la semilla, en donde, se incrementa la actividad fisiológica de la semilla; con el rápido crecimiento de los meristemas presentes en el embrión, junto con la movilización de las reservas del grano, como consecuencia de una importante activación enzimática. En el interior del grano, los constituyentes insolubles del endospermo (almidón y proteínas) desaparecen por la acción de enzimas, liberadas en la capa de aleurona como respuesta a las giberelinas producidas en el escutelo (Simmons 1987; López, 1991).

El vigor de la germinación depende del tamaño, composición química de la semilla, del embrión, condiciones climáticas, fecha y profundidad de la siembra. El contenido mínimo de agua en el grano para que el proceso tenga lugar está en torno al 35-40%, mientras que el nivel de temperatura mínima por debajo de la cual la semilla no germina es de 0°C (Lersten 1987; López, 1991). La germinación finaliza con la elongación de la radícula, y aparición posterior del coleoptilo. Éste, que está adaptado a crecer debajo del suelo, cesa su crecimiento cuando llega a

la superficie. La primera manifestación visible al exterior es la emergencia. Una primera hoja verdadera emerge por un poro en el ápice del coleoptilo. Las raíces seminales crecen y la plántula puede alimentarse a partir del suelo. En caso de siembras profundas, el entrenudo entre el coleoptilo y la primera hoja (mesocotilo) elonga, de modo que el ápice se sitúa justo debajo de la superficie. La nascencia es lenta cuando el contenido de humedad es excesivo, aumentando el periodo entre la siembra y la emergencia, debido a la falta de oxígeno alrededor de la semilla (Kirby y Appleyard,1984;Lersten,1987; López, 1991).

3.5.1.2 Ahijamiento

Los cereales se caracterizan por su capacidad de ahijado, que consiste en la formación a nivel del suelo, de un nudo de ahijamiento que dará lugar a varios tallos secundarios. En los cereales existe una secuencia característica de producción y ordenación de los tallos, debido a que estos se originan a partir de yemas situadas en las axilas de cada hoja. Estas yemas no se forman en aquellas hojas situadas en la base de los entrenudos que elongarán durante el encañado, con la excepción de la hoja del entrenudo más bajo y, ocasionalmente, de la situada por encima de ella. Cada yema porta un meristemo susceptible de formar un tallo y una masa celular capaz de generar una raíz secundaria (Kirby y Appleyard,1996).

El ahijamiento se inicia cuando la planta tiene cuatro hojas, apareciendo en la axila de la primera hoja el primer tallo, a partir de la yema lateral o axilar. A medida que progresa el ahijamiento, el crecimiento de las yemas diferenciadas da lugar a la aparición de los tallos de las segunda, tercera y cuarta hojas, sucesivamente. Paralelamente se inicia también la diferenciación de las raíces secundarias. Todos estos tallos se llaman primarios, a partir de los cuales, por el mismo proceso, pueden surgir tallos secundarios y terciarios, dependiendo de la capacidad ahijamiento y condiciones ambientales, especialmente disponibilidad de agua y nitrógeno (Kirby y Appleyard,1996; Simmons,1987; López, 1991).El

debilitamiento de la dominancia apical propicia la formación de tallos (Hucl y Baker, 1989; García del Moral y Ramos, 1989).

Los vástagos se independizan de sus tallos parentales cuando han desarrollado tres hojas completamente expandidas y diferenciado las raíces adventicias. Sin embargo, la emergencia de los tallos hijos no asegura su supervivencia, ya que, después de formados, una gran cantidad de ellos mueren frecuentemente en condiciones de campo. Este fenómeno parece depender de que los tallos formados sean capaces de situar sus hojas en las capas superiores mejor iluminadas del dosel foliar, para captar la suficiente cantidad de luz que asegure su crecimiento (Davinson y Chevalier, 1990; García del Moral *et al.*, 1995).

Esta etapa es de especial importancia para el desarrollo del cultivo, puesto que la capacidad de ahijamiento va a determinar, en los cereales, el número final de espigas (García del Moral *et al.*, 1991; García del Moral *et al.*, 1995; Hani, 1999). El desarrollo de los brotes hijos parece estar regulado por el equilibrio hormonal de la planta y por el suministro de asimilados (Sharif y Dale, 1980).

La magnitud del ahijamiento depende de la variedad y está fuertemente influenciada por las condiciones ambientales durante el crecimiento, así como por el estado hídrico, N, densidad de siembra y temperatura del aire y del suelo (Willey y Holliday, 1971; Hucl y Baker, 1987; García del Moral, 1995). Durante esta fase también se va determinar otro de los componentes de la cosecha, el número de granos por espiga, al coincidir el final de la misma con el estadio de desarrollo del meristemo apical en el que se alcanza el máximo número de primordios florales (Kirby y Appleyard, 1984; García del Moral y Ramos, 1989).

3.5.2 Periodo reproductivo.

Transcurre desde el inicio del encañado hasta que la espiga se encuentra totalmente fuera de la vaina con grano formado y acuoso. Tiene lugar a lo largo de dos fases, encañado y espigado.

3.5.2.1 Encañado.

Se determina el número de tallos hijos que produce la espiga, mientras que el resto retrasan su crecimiento o incluso lo detienen. Su primer síntoma visible es un enderezamiento de los tallos, que adquieren cada vez más un porte erecto. El ápice del tallo permanece por debajo de la superficie del suelo hasta que comienza el encañado.

Cuando las condiciones climáticas son favorables, los entrenudos empiezan a crecer en longitud y forma una hoja por cada nudo. Las vainas foliares se alargan y, por reabsorción del tejido central del entrenudo, aparece la cavidad medular. Posteriormente, el crecimiento del tallo se produce a partir del meristemo intercalar (nudo), y el entrenudo se alarga solamente cuando la hoja que se inserta encima de él ha terminado su crecimiento. Los entrenudos van aumentando su longitud hacia el extremo de tallo, de manera que el último entrenudo puede llegar a representar la mitad de la longitud del tallo, y los inferiores están comprimidos en unos pocos milímetros de tallo. El intervalo de tiempo entre la emergencia de hojas consecutivas varía con la temperatura (Gallagher, 1979a), existiendo una relación lineal entre número de hojas y tiempo térmico, definido como la temperatura acumulada por encima de una temperatura base de 0 a 28 °C (Baker *et al.*, 1980). Algunos autores sugieren que la tasa de aparición de hojas en cultivos de trigo depende directamente de la tasa a la cual cambia el fotoperiodo durante la emergencia de la planta (Baker *et al.*, 1980; Kirby *et al.*, 1985; Slafer y Rawson, 1995a). Mitchel *et al.* 1991, han desarrollado varios modelos para predecir la emergencia de la hoja bandera en cultivos de trigo, concluyendo que existe una compensación entre la formación de primordios foliares en el ápice y la

emergencia de la hoja, lo que asegura que el área foliar alcance su máximo desarrollo, en un área determinada más o menos en la misma fecha.

Durante esta fase existe gran competencia entre los tallos portadores de espiga y el resto, absorbiendo los primeros todos los nutrientes a expensas de los demás, que mueren. Tradicionalmente también se ha sugerido que al aumentar el sombreado de los tallos más jóvenes por el desarrollo del dosel foliar, se inicia la prematura senescencia de los tallos (Willey y Holiday, 1971; García del Moral, 1995). Por el contrario, Simmons (1987) sugieren que la mortalidad de los tallos no está motivada por falta de luz, sino más bien por una respuesta fotomorfogénica a la calidad de la luz filtrada por el dosel foliar, por lo que el sombreado no sería un factor primordial, sino que juega un papel adicional en la senescencia de los tallos. En esta fase hay un crecimiento muy activo en tamaño y peso, por lo que la planta es muy sensible a la sequía y a la fertilización nitrogenada.

3.5.2.2 Espigado.

La emergencia de la espiga inicia cuando la espiguilla terminal puede verse por encima de la hoja bandera, considerándose que se ha completado, es decir, que la espiga ha aparecido totalmente, cuando la espiguilla basal sobrepasa dicha hoja (Zadoks *et al.*, 1974). La floración o antesis normalmente tiene lugar tres o cuatro días después de la emergencia de la espiga, aunque pueden reducirse a uno o dos días si el tiempo es caliente. La floración, se manifiesta con la aparición de las anteras amarillas fuera de las espiguillas, primero en la parte central de la espiga y luego en los dos extremos; en este momento se considera que tiene lugar la floración completa del trigo (Zadoks *et al.*, 1974). La floración comienza en las espiguillas centrales y continua hacia ambos extremos de la espiga (Simmons, 1987), a nivel del cultivo, el espigado tiene lugar cuando el 50% de los tallos han superado la situación anterior, concluyendo a los pocos días.

En esta fase el crecimiento del tallo tiende a estabilizarse, aunque el entrenudo superior puede continuar su crecimiento aún después de la antesis, dependiendo del genotipo, riqueza del suelo y condiciones ambientales (Kirby y Appleyard,1984;Simmons,1987;García del Moral y Ramos,1989; López,1991). El área foliar alcanza su valor máximo antes de la floración, para decrecer posteriormente debido a la senescencia y muerte de los tallos, al avanzar la fase de espigado.

3.5.3 Periodo de maduración

Posteriormente de la antesis, sucede la fecundación, seguida de un periodo de latencia, de gran importancia, ya que cuanto más se alarga dicho estado se forman un número mayor de granos por espiga, especialmente si las temperaturas son bajas (López, 1991).

El desarrollo del grano ocurre siguiendo sucesivas etapas (Evans y Wardlaw, 1976; Evans, Wardlaw y Fischer, 1983; García del Moral y Ramos, 1989; López, 1991):

3.5.3.1 Multiplicación celular activa

Durante la cual se forman la mayoría de las células del endospermo y hay un incremento rápido en volumen y en peso fresco. El grano se encuentra en estado lechoso. Esta fase dura de 12-15 días. Paralelamente se produce el crecimiento y desarrollo del embrión.

3.5.3.2 Acumulación de carbohidratos y proteínas:

Durante esta fase el peso fresco del grano permanece constante, los tegumentos se solidifican y el grano presenta un aspecto pastoso. Las dos últimas hojas, junto con sus vainas, la espiga y aristas, son las principales fuentes de asimilados para el grano. La hoja bandera tiene un gran papel en la movilización y translocación de sustancias nitrogenadas.

3.5.3.3 Dsecación:

Tiene lugar una gran pérdida de agua, pasando el grano del estado pastoso a duro. Un 14% de humedad significa que se ha alcanzado la madurez y el cultivo está en condiciones apropiadas para la recolección. Durante el periodo de pérdida de agua puede ocurrir una disminución en el contenido de reservas del grano, causando que la semilla presente un aspecto rugoso y sin brillo. Este fenómeno, llamado de asurado, supone un problema importante para la calidad tecnológica del grano, y además crea un medio inadecuado para el desarrollo del embrión, provocando bajas tasas de germinación.

3.6 FACTORES QUE REGULAN EL DESARROLLO DEL TRIGO

El crecimiento de los cereales se encuentra influido por los factores ambientales principalmente fotoperiodo, temperatura, vernalización y humedad edáfica (Frank y Bauer, 1995; Kirby, 1995; Slafer y Rawson, 1995 a, b; Hay y Ellis, 1998; MacMaster, 1998).

3.6.1 Fotoperiodo

El estímulo lo perciben las hojas, las cuales envían una señal al ápice del tallo (Slafer y Rawson, 1995b; Hay y Ellis, 1998; MacMaster, 1998); por tanto, las plantas no responden al fotoperiodo hasta que no emergen de la superficie del suelo (Hay y Kirby, 1991). Sin embargo, la respuesta a la temperatura y a la humedad comienza tan pronto como la semilla es imbibida y continua hasta la madurez fisiológica (Del Pozzo et al., 1987; Porter et al., 1987; Slafer y Savin, 1991). El trigo es un cereal con requerimiento cuantitativo de día largo, no formando los primordios de espiguilla hasta que la duración del periodo de luz diario supera un umbral llamado hemeroperiodo crítico (entre 12-14 horas de luz). Sin embargo, la sensibilidad al fotoperiodo es muy variable debido a la variabilidad de los ciclos entre los diferentes genotipos (Evans y Wardlaw, 1976; Simmons, 1987; López Bellido, 1991; MacMaster, 1998).

3.6.2 Temperatura

La temperatura controla la respuesta del desarrollo en los cereales, especialmente en las variedades que requieren vernalización para pasar del periodo vegetativo al reproductivo (Slafer y Savin, 1991; Slafer y Rawson, 1995b). Yañez (1997) ha demostrado que el triticale por debajo de 5 °C bloquea el paso de la fase vegetativa a la de doble arruga. El cumplimiento de la vernalización también es necesario para que ciertos caracteres, algunos de ellos relacionados con el rendimiento, tengan su máxima expresión (Kirby y Appleyard, 1984). Así, cuando la duración del periodo de frío es menor que la óptima, el peso de mil granos, el número de granos por espiga, la altura de la planta y la longitud de la

espiga se ven afectados negativamente (Dalloul, 1980). Además se produce un retraso en la fecha de espigado y en la diferenciación floral. Se pueden distinguir variedades de invierno, que requieren hasta un máximo de 50-60 días con temperaturas bajas (comprendidas entre 0° y 5 °C). Los trigos de primavera requieren vernalización, pero menos que las de invierno (López, 1991). Sin embargo, temperaturas altas, estimulan el nivel de formación de primordios foliares en el ápice del tallo principal, lo que reduce en gran medida el número de tallos hijos que pueden formarse. Esto puede ser debido a una disminución en el suministro de asimilados a los ahijamientos, a causa del aumento de su demanda por el tallo principal. Las bajas temperaturas, por el contrario, aunque retrasan el desarrollo de los tallos hijos, suelen favorecer el ahijamiento, ya que disminuyen el crecimiento de las hojas y, por tanto, la competencia con los ahijamientos (Thorne, 1974; Kirby *et al.*, 1987; López B, 1991; García del Moral, 1995). Un aumento de la temperatura durante el llenado del grano disminuye el peso del mismo por acelerar la senescencia de las hojas, disminuir la duración del desarrollo del grano y aumentar las pérdidas de carbohidratos por la respiración (Thorne, 1974; Wiegand y Cuellar, 1981). El ambiente cálido afecta también a la capacidad de los granos individuales para utilizar los asimilados disponibles, ya que bajo estas condiciones el crecimiento del grano es rápido al inicio, pero al detenerse antes que con condiciones de temperatura más baja, el peso final del grano tiende a decrecer (Thorne, 1981; Wiegand y Cuéllar, 1981).

3.6.3 Humedad

La germinación y la nascencia están fuertemente influidas por el potencial hídrico del suelo. La escasez de agua durante las primeras fases de desarrollo del meristemo apical retrasa el inicio de la floración, pero si el déficit se produce durante la diferenciación de la inflorescencia disminuye el número de espiguillas por espiga, lo que provoca una reducción en el número final de granos por espiga (Evans y Wardlaw, 1976).

La formación de los granos de polen es especialmente sensible a la escasez de agua en el suelo. Así, deficiencias hídricas severas impiden la formación de polen fértil en las espiguillas del ápice y base de la espiga (Evans y Wardlaw, 1976; Evans *et al.*, 1983). La humedad del suelo incrementa el número de espigas, al favorecer tanto la formación como la supervivencia de los tallos hijos (Kirby y Appleyard, 1984; Krenzer y Nipp, 1991). El número de granos por espiga suele ser el componente del rendimiento más afectado por la sequía (Fischer y Wood, 1979). El peso medio por grano con frecuencia disminuye bajo condiciones de sequía, debido principalmente al acortamiento de la fase de antesis a madurez fisiológica (Wheeler *et al.*, 1996).

3.7 RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES

El rendimiento en grano es el resultado final que se obtiene de la interacción del genotipo y el ambiente, cuyos efectos individuales son difíciles de precisar. Sin embargo, se puede aducir en función de sus componentes, siendo los principales: número de espigas por unidad de superficie, peso de mil semillas y peso por hectolitro. El peso final de los granos es el último componente del rendimiento que se forma en el trigo. Es función de la duración de la fase de maduración y depende en gran medida del número de células del endospermo, que es fijado en las fases iniciales del desarrollo del grano (García del Moral y Ramos, 1989). La velocidad de formación de celulosa del endospermo está asociada con el suministro de carbohidratos durante este periodo y con el nivel de citoquininas del grano. La mayor parte del peso seco del grano proviene, en condiciones climáticas óptimas y de la fotosíntesis, después de la emergencia de la espiga (Thorne, 1974). El principal órgano fotosintético para el llenado del grano en trigo duro parece ser la espiga y más concretamente las glumas, atendiendo a la similitud encontrada en los valores de 13 °C entre el grano y los asimilados procedentes de diversos órganos (Romagosa y Araus, 1991; Austin *et al.*, 1980; García del Moral y Ramos, 1989; Acevedo *et al.*, 1991).

3.7.1 Número de espigas por m²

Esto obedece de la radiación interceptada y de la temperatura que controla la duración del período de crecimiento de las espigas. Por otro lado, las altas temperaturas durante el período de llenado, reducen el peso potencial del grano (Fischer y Hilleris-Lambers, 1978) y la duración del período de llenado (Wiegand y Cuellar, 1981), pero incrementan la tasa diaria de llenado (aumento en peso por grano por día) (Sofield et al., 1974). Por lo que, las bajas disponibilidades hídricas y/o las fechas tardías de siembra, son factores que también determinan mermas importantes en los niveles de rendimiento del cultivo. La falta de agua incrementa la mortandad de flores (Fischer, 1973) y origina una menor eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca (MS) (Whitfield y Smith, 1989), lo que contribuye a reducir el número de granos m² cuando este estrés se produce durante el período de crecimiento de la espiga (Abbate et al., 1994).

3.7.2 Peso de mil semillas

Clement y Pratts (1969), mencionan que la influencia del clima es determinante en algunos periodos de la vida del trigo, y que los factores climáticos tienen una acción preponderante al ser diferente según los periodos considerados. En este sentido Acevedo *et al* (1991) asienta que un castigo por calor durante la fase de antésis-madurez fisiológica, afecta la translocación de fotosintatos hacia el grano, principalmente la síntesis y depósito de almidón. Además, los autores indican que este castigo trae como consecuencia una reducción en el período de llenado de grano, número de granos por espiga, tamaño y peso del grano.

Estudios de fechas de siembra y variedades por Ishag (1994), al comparar el efecto de las fechas de siembras tardías con las óptimas, encontraron que las primeras tienen un efecto negativo y significativo sobre el peso de 1000 semillas, así como el número de granos por espiga y planta. En 1981, Weigand y Cuéllar demostraron que dentro del rango de temperatura media 12 a 26 °C durante el llenado de grano, éste reduce su peso de un 4-8% por cada grado centígrado de

incremento en la temperatura media; de igual forma Acevedo *et al* (1991) encontró que el peso de la semilla a temperaturas medias de 17, 24, 25.6 y 24.4 °C durante el llenado de grano fue 39.5, 28.9, 30.5 y 27.6 mg respectivamente.

3.7.3 Peso específico.

Expresa el peso del grano por unidad de volumen en kg ha^{-1} , este índice es muy antiguo y se utilizaba para cifrar el valor comercial del grano en la época en que este era vendido por volumen. El peso específico y el contenido de cenizas del grano son parámetros ligados a la proporción de endospermo y tegumentos. Por tanto, el peso específico es tanto mas elevado cuanto mayor es el endospermo, y los tegumentos, sobre todo la capa de aleurona, tienen un contenido más alto de minerales, por ello el porcentaje de cenizas expresa, en cierta manera, la proporción entre ambos componentes (López, 1991). El peso específico puede ser influenciado por diversos factores, como los espacios vacíos intercalares, el contenido en agua del grano y la naturaleza y cantidad de las impurezas presentes en la muestra. No obstante, el peso específico es todavía importante para definir el rendimiento en harina o sémola del grano, que es más elevado a medida que es mayor. La legislación establece unos mínimos que son diferentes para los trigos harineros y para los duros, más altos en este último tipo (López, 1991).

3.8 PARÁMETROS DE CALIDAD

Las partes constituyentes del grano de trigo (germen, endospermo y tegumentos) están formadas por diferentes tejidos. Las proteínas están localizadas en mayor proporción en el germen y en la capa de aleurona, al igual que los lípidos en el germen. Las sales minerales, en especial el calcio, el fósforo y el potasio, así como numerosas vitaminas, se encuentran, preferentemente, en las zonas externas del endospermo (Finney *et al.*, 1987; López, 1991). El almidón es el principal hidrato de carbono de los cereales, constituyendo, aproximadamente, el 64% del peso seco del grano de trigo y el 70% de su endospermo. La celulosa y hemicelulosa son los principales constituyentes de la

pared celular del grano de trigo, y junto con la lignina, representan la mayor parte de la fibra bruta. También existen azúcares libres (1-3%), que tienen influencia en la fabricación del pan y en las propiedades de la sémola y pasta obtenida a partir de ella (Finney *et al.*, 1987; Vadillo, 1989; López, 1991). Las sustancias minerales del grano de trigo están principalmente compuestas por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio (Singh *et al.*, 1997).

3.8.1 Proteínas

Las proteínas del grano se pueden dividir en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas, dependiendo de su solubilidad en agua, solución salina, 70 % de etanol acuoso y dilución de soluciones ácidas o alcalinas respectivamente (Finney *et al.*, 1987; López Bellido, 1991). Las albúminas y globulinas tienen funciones metabólicas y estructurales y se localizan, principalmente, en el embrión y en la periferia del grano. Las prolaminas y las glutelinas son las proteínas insolubles, llamadas proteínas de reserva, que se localizan en las células del endospermo en forma de corpúsculos o cuerpos proteicos. Éstas constituyen la fracción más importante, cualitativa y cuantitativamente de los cereales. Los cuatro tipos de proteínas varían considerablemente en su composición de aminoácidos, las prolaminas son pobres en lisina, mientras que las albúminas y globulinas son más ricas (Booth y Ewart, 1970; Finney *et al.*, 1987; Vadillo, 1989; López, 1991). En los cereales existen 18 aminoácidos diferentes, cuya proporción y ordenación en las cadenas pépticas determinan las propiedades de cada proteína. Hay que destacar el bajo contenido de lisina del grano y la harina de los cereales, la alta concentración de ácido glutámico y de prolina y el mayor contenido de aminoácidos azufrados, metionina y cistina, en comparación con las leguminosas (Booth y Ewart, 1970; López, 1991).

El contenido de proteínas en el trigo presenta una gran variabilidad intraespecífica, como consecuencia de la interacción genotipo-ambiente, que caracteriza a este componente del grano (Nachit *et al.*, 1995).

3.8.2 Azúcares reductores.

Los azúcares reductores tienen importancia por ser el sustrato de reacciones enzimáticas que pueden producir CO₂ durante el proceso de fabricación de la pasta (trigos cristalinos), influyendo sobre su calidad final (Vadillo, 1989). El porcentaje de azúcares reductores o fermentables (glucosa, fructosa y azúcares invertidos) en el grano de trigo oscila entre el 1 y el 3 % (López, 1991) y está relacionado con la actividad invertasa durante las fases de desarrollo del endospermo (Chevalier y Lingle, 1983).

3.8.3 Cenizas.

Es el porcentaje de sales minerales del grano de trigo o de la harina. Su cuantificación resulta de gran importancia industrial, ya que el rendimiento en harina o sémola suele ser mayor a medida que el porcentaje de cenizas sea más bajo ella (Finney et al., 1987; Vadillo, 1989; López, 1991). En efecto, si el endospermo del grano se encuentra muy mineralizado, las sémolas de él obtenidas tendrán también una tasa alta de cenizas, con lo que la fábrica deberá rebajar el grado de extracción para lograr el cumplimiento de la reglamentación vigente, la cual ordena un máximo del 0,90 % en las cenizas de las sémolas destinadas para una calidad superior de pasta alimenticia. Por otro lado, si el grano tiene mucho salvado en relación al endospermo, también la tasa de cenizas global del grano será elevada, y en este caso tampoco será posible obtener elevadas extracciones de sémola con dicho grano. En cualquiera de las dos situaciones, resulta evidente que va a ser preferible un trigo con baja tasa de cenizas frente a uno con más cenizas (AETC, 1998).

3.9 MEJORAMIENTO DE PLANTAS AUTOGAMAS

Salvo unas pocas excepciones (sorgo y algunas hortalizas) a las plantas autóгамas hoy en día se les continúan aplicando métodos genotécnicos clásicos basados en la obtención natural de líneas puras. Se tiene así por ejemplo que en trigo la proporción de cruzamiento libre es 3-5%, en soya 0.5-1%, en frijol 1-10%,

en algodón 29-60%, en sorgo 2-3.5% lo que indica que aún cuando fuera posible detectar desde el punto de vista práctico las plantas en que ha intervenido la polinización libre, son tan bajos dichos porcentajes que no tienen más valor que de tipo académico en la mayor parte de los casos (Villaseñor,2009).

Como en el caso del sorgo, la incorporación del gene de la androesterilidad "coes" permite trabajar a esta planta como si fuera alogama: también para esta y otras especies, pero en esta sobretodo, hay mecanismos genéticos similares que permiten la obtención de híbridos F1 para su aprovechamiento comercial deseado. Pero esto que también se ha pretendido hacer en plantas de gran importancia económica como es el trigo, todavía no es un hecho que pueda vislumbrarse a pasar previsible. Es decir, que el mejoramiento de la gran mayoría de las plantas autógamas todavía seguirá basándose por mucho tiempo en la obtención de líneas puras las que una vez seleccionadas por sus características de rendimiento, de adaptabilidad y de calidad, pasan a la categoría de variedades mejoradas. Es necesario por lo tanto, de que antes de abordar los métodos de mejoramiento se efectúe una revisión del significado y obtención de la línea pura (Villaseñor, 2009).

3.9.1 Método genealógico o pedigrí

En este método de mejoramiento se sigue un control riguroso de los descendientes de cada planta F2 sea esta simple o compleja. A partir de dicha generación y a lo largo de varias generaciones se elige, los mejores individuos. En la F2 se anotan las características de todas las plantas y se seleccionan las adecuadas. Las plantas **F2** seleccionadas producen semillas por autofecundación, las semillas de una planta de la F2 forman una familia de la generación F3. **F3**, las semillas de las plantas de la F2 se siembran espaciadas pero a una distancia mayor de lo que se hizo en la F2. Cada familia F3 se siembra en una línea y el tamaño de la familia debería ser lo suficientemente grande para mostrar la variabilidad existente en ella. **F4**, esta generación es similar a la anterior ofrece una buena oportunidad para reducir el tamaño de la población. Esta reducción se hace visualmente y analizando el pedigrí. **F5**, se usan parcelas más grandes,

cuyas dimensiones se asemejan bastante a las condiciones de campo. **F6**, en esta generación la unidad de selección no es la planta individual, sino la familia derivada de una única planta. **F7**, en este estado, o quizás un año antes, se debe dejar de usar la categoría familia y se debe reemplazar por “selección”. Las selecciones y variedades se siembran en pruebas replicadas utilizando un diseño de bloques al azar. Aproximadamente 4 ó 5 selecciones sobrevivirán esta prueba que incluye pruebas de calidad. **F8-F10**, durante 3 años como mínimo y en algunos casos hasta 5, se repetirán pruebas como la efectuada en F7. Generalmente, los ensayos se extenderán a diferentes localidades del mismo área donde se iniciará la producción.

3.9.1.1 Ventajas

- El método de pedigree permite la identificación y eliminación de gran cantidad de material muy tempranamente
- El método de pedigree permite la identificación y eliminación de gran cantidad de material muy tempranamente
- Permite la evaluación de selecciones en función de su comportamiento de año en año.
- Favorece llegar rápidamente a la homocigosis cuando la selección de la planta única se traduce en progenie de la planta única

3.9.1.2 Desventajas

- Se trabaja con una cantidad limitada de material debido al tiempo que se consume para elegir planta por planta.
- Por el tiempo que se tarda en hacer las parcelas de multiplicación y la cosecha planta a planta (Molina,1983).

3.9.1.3 Resultados en fitomejoramiento

Los avances que ha tenido el fitomejoramiento en trigo no han sido completamente satisfactorios ya que no han logrado satisfacer la demanda que existe en el país. Las variedades que han sido sacadas han logrado beneficiar a la población pero no lo suficientemente como para cumplir la demanda que existe actualmente.

4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FITOMEJORAMIENTO

4.1 Fenotipo

4.1.1 Definición y diversidad biológica

El fenotipo de un individuo es determinado por dos componentes básicos: El genotipo o constitución genética del individuo y el ambiente específico en el cual el individuo se desarrolla. El fenotipo se observa, cuantifica y analiza, mientras que el genotipo no es observable, pero es deducible a partir del fenotipo por diferentes métodos de análisis genético. Como reacción al ambiente un genotipo es capaz de producir varios fenotipos como resultado de la IGA (interacción genotipo x ambiente). En otras palabras individuos con el mismo genotipo pueden mostrar distintos fenotipos dependiendo del ambiente (Puertas, 1992).

4.1.2 Ambiente

Éste ha sido discutido en forma amplia por gran número de investigadores. Allard (1960), lo expresa como la suma de todas las condiciones externas que afectan el crecimiento y desarrollo de un organismo. Para Lin y Binns (1986), el efecto ambiental sobre un genotipo depende del suelo y de las condiciones atmosféricas. Para estos investigadores el suelo permanece casi constante de año en año y puede ser, a pesar de todo, considerado como un efecto fijo. El tiempo atmosférico es más complejo, porque tiene una parte persistente representada por la zona climática general y una parte no predecible representada por la variación del clima, año en año.

En general, ambiente se puede definir en forma amplia y de acuerdo con los factores bióticos y abióticos, como el conjunto de las condiciones del suelo, clima, manejo agronómico y administración (oportunidad de las prácticas de manejo) los cuales tendrán un efecto marcado sobre la expresión del rendimiento en el genotipo de las plantas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El programa de mejoramiento genético, se inició en el ciclo agrícola otoño-invierno 2004-2005 en el Ejido Chiapas II, del Valle de Mexicali, Baja California en base a la metodología de Pedigree (Souza y Sorrell, 1989), apartir de 10 cruza: de las cuales surgen líneas sobresalientes L3,L5,L6,L23, siendo la línea 3 seleccionada como la más sobresaliente, de la cruza simple **Bo/Rabel/Oasis**, de las cuales se obtienen 200 semillas en F₁ cosechadas en el ejido Chiapas II en junio de 2005, 100 semillas F₁ fueron sembradas en el Valle de la Trinidad, Baja California (31° 22' 18" Norte y 115° 42' 49" Oeste) con el objeto de avanzar una generación y cosechar masalmente 400 semillas F₂ en octubre del mismo año (Figura 4). Las condiciones de manejo fueron bajo sistema de riego por gravedad dentro de la población F₂. Durante el ciclo agrícola 2005-2006 en el Valle de Mexicali, 400 semillas F₂ fueron sembradas y espaciadas a 25 cm entre plantas. Se identificaron y se practicó selección de plantas sobresalientes, para facilitar el proceso de selección de acuerdo al método de Pedigree. En esta poblacion segregante se seleccionaron plantas en cuanto a vigor de plantas sobresalientes, tomando como base capacidad de amacollamiento, precocidad, tamaño de espiga, tolerancia a roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks) y lineal o amarilla (*Puccinia striiformis* West), resistencia a punta negra (*Alternaria*, *Helminthosporium* y *Fusarium*) (Hanson y Christensen,1953), resistencia al desgrane, y acame, alto potencial de rendimiento y calidad para la industria panadera. Este mismo criterio fue aplicado para las generaciones F₄ y F₅ se inició con el proceso de homogenidad de planta/surco para obtener su estabilización en

los campos experimentales de TRIDEGEN, localizados en los ejidos Janitzio, Chiapas II y Mezquital, en el Valle de Mexicali, Baja California en México. A partir de la generación F₆ fueron seleccionadas un grupo de líneas más sobresalientes en cuanto a sus pruebas preliminares de rendimiento y calidad. Estas fueron sembradas durante el ciclo 2009-2010 y 2010-2011 para evaluarse bajo diferentes condiciones de manejo en ambientes del Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Sonora. Su número de cruzamiento e historial de selección es **CTRIDEGEN200501S-24MXL-08MXL-10MXL-OM**.

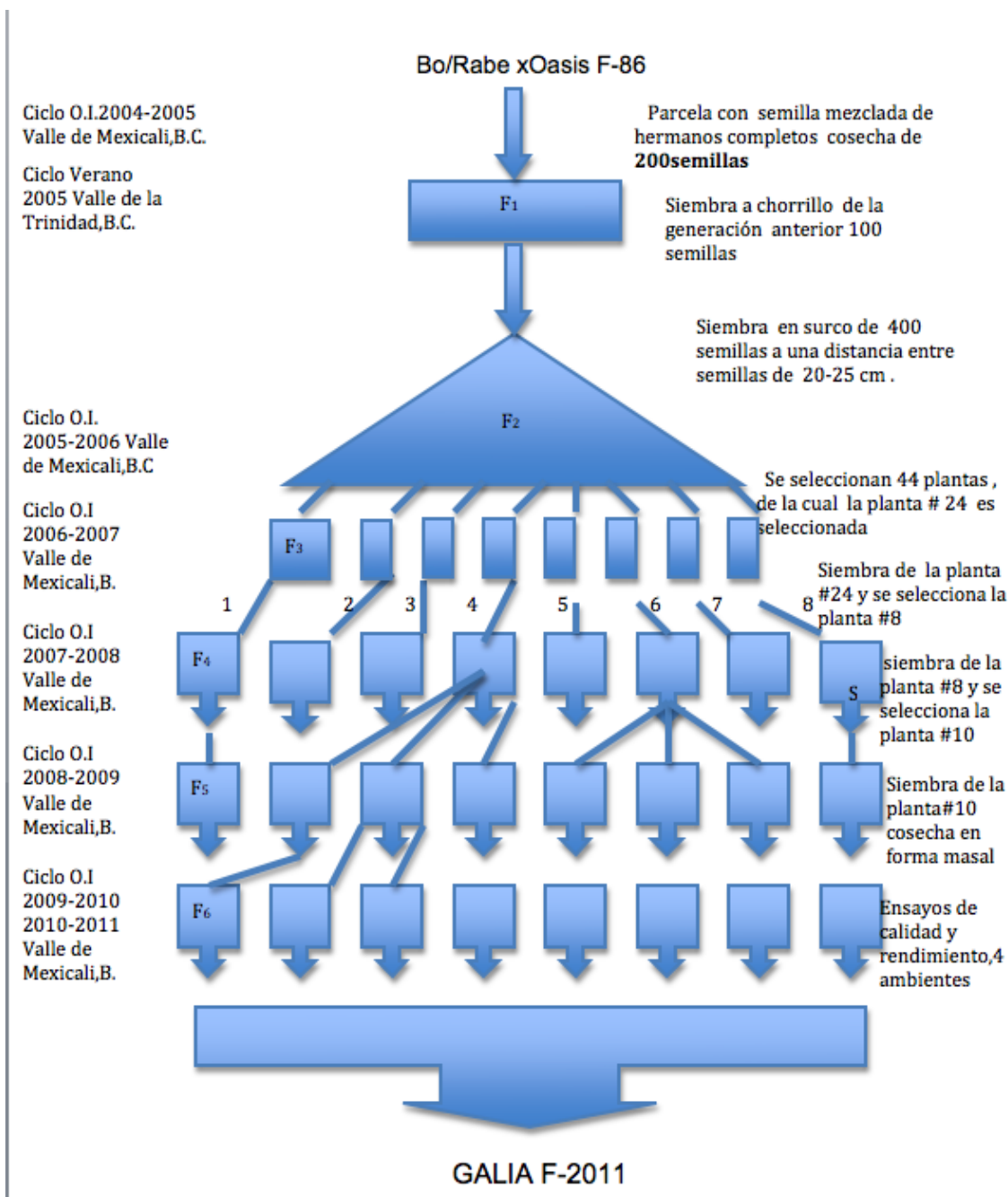


Figura 4.- Método de pedigree de –Galia F-2011

Los ensayos de rendimiento y de calidad reológica de la líneas seleccionadas en base al método de pedigree (L₃, L₅, L₆, L₂₃, L₂₄ y variedades Cachanilla F-2000, Yecora rojo y Yecora F-70) se iniciaron a partir del ciclo agrícola 2009-10 y 2010-11 en ocho ambientes del Valle de Mexicali, Baja California y San Luis Río Colorado, Sonora: Ej. Guerrero (AEG), Ej. Tabasco (AET),

Col. Progreso (ACP), Col. Colorado (ACC), Col. Zaragoza (ACZ), Ej. Chiapas (ACH), San Luis (AESL) en Cuadro 1 y 2. La selección de los ambientes de prueba se consideraron aquellos que fueran lo más contrastante posible en cuanto a localidad, tipo de suelo, fecha de siembra, densidad de siembra, riegos de auxilio, calidad del agua, método de siembra, entre otras. El testigo comercial utilizado como comparativo fue la variedad Cachanilla F-2000. Las variables de estudio fueron: rendimiento de grano, rendimiento de paja, índice de cosecha y peso hectolítrico. Para el análisis de datos se utilizó el programa Statistix 9 y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI).

Cuadro 1. Características de manejo agronómico realizado en cuatro ambientes en la evaluación de genotipos de trigos harineros durante el ciclo O.I 2009-2010.

Tratamientos	Ej. Chiapas	Ej. Tabasco	Col. Progreso	San Luis R.C, Sonora
Fertilización Total	250-100-00	250-150-00	174-78-00	250-100-00
Textura	Franco-Arenoso	Franco-Arenoso	Arcillosa	Franco-Arenoso
Fecha de siembra	12 de Dic	15 de Dic	19 de Enero	6 de Enero
Método de Siembra	surco 40" 4 hileras	cama rayada	plano	surco a 2 líneas
Número de riegos de auxilio	5	5	3	5
Densidad de siembra kg ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹	75 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹	40 kg ha ⁻¹

Cuadro 2. Características de manejo agronómico realizado en cuatro ambientes en la evaluación de genotipos de trigos harineros durante el ciclo O.I 2010-2011.

Tratamientos	Ej. Guerrero	Ej. tabasco	Col. Zaragoza	Col. Cerro Prieto
Fertilización Total	240-0-0-20	306-104-0	265-57-0-22	301-78—0-45
Textura	Franco-Arenoso	Franco-Arenoso	Arcillo-Limoso	Arcillosa
Fecha de siembra	10 Enero	8 Enero	8 de Dic.	19 Nov.
Método de Siembra	Surco 40" 4 hileras	Surco 40" 2 hilos	Surco 40" 2 hilos	Plano (Drlla)
Número de riegos de auxilio	5	5	6	5
Densidad de siembra kg ha ⁻¹	40 kg ha ⁻¹	75 kg ha ⁻¹	110 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹

5.1 Metodología para la colección de las variables de estudio

5.1.1 Rendimiento de grano

La estimación del rendimiento de grano se realizó cosechando manualmente 2 m² dentro de cada unidad experimental, trillando y separando éste de la paja. Posteriormente, se obtuvo el rendimiento de paja de cada uno de los tratamientos evaluados. Se expresa como RG= [Peso de grano (Ton)] ha⁻¹.

5.1.2 Rendimiento de paja

Después de haber estimado el rendimiento de grano, se separó la paja, se pesó y se estimó el rendimiento de paja por hectárea. Se expresa como RP= [Peso de paja (Ton)] ha⁻¹

5.1.3 Índice de cosecha

El índice de cosecha fue calculado mediante la siguiente fórmula: $IC = \text{rendimiento de grano} / \text{rendimiento de grano} + \text{rendimiento de paja}$ (Rodríguez, 2011).

5.1.4 Peso hectolítrico

Es una medida de la relación peso/volumen y tiene unidades kg de grano hectolitro⁻¹ y se calculó mediante el pesado de muestras de un volumen conocido de grano seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento (Rodríguez, 2011).

6.RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Líneas seleccionadas en localidades y años con mayor potencial de rendimiento de grano

Una de las etapas del mejoramiento genético de trigo en la formación de nuevas variedades para incrementar el rendimiento de grano y otras características determinadas por genes menores, es la evaluación de éstas en una serie de localidades y años (ambientes) de la región de interés, con el objeto de identificar materiales que muestren una menor interacción con el ambiente en los cuales se desarrollan (Stelling *et al.*, 1994, Dyke *et al.*, 1995). En ese sentido, a continuación se presentan resultados obtenidos de evaluaciones realizadas durante los ciclos 2009/2010 y 2010/2011 de líneas experimentales seleccionadas a través de mejoramiento genético y variedades comerciales que se siembran en estas localidades.

En los cuadros 3 y 4 se observa que la media general de rendimiento de grano de los genotipos evaluados en los diferentes ambientes de prueba durante 2009/10 y 2010 fue de 6.06 t ha⁻¹ y 3.63 t ha⁻¹ para los ciclos citados. Es importante mencionar que los bajos rendimientos obtenidos durante el ciclo 2009/10 para el

ambiente de la Colonia Progreso (2.46 t ha^{-1}) fue por efecto del terremoto que se presentó durante el mes de abril y que originó que se colapsaran la red de canales de riego, afectando este ambiente de evaluación. Estos resultados concuerdan con Garrido et al.(2013) donde, el rendimiento obtenido en E4 y E2 se ha debido por el estrés hídrico ocurrido en la etapa de prefloración, floración y grano lechoso, considerándose las más sensibles a estrés hídrico en quinoa (Geerts *et al*,2008).

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento de grano (t ha^{-1}) en genotipos de trigo y ambientes ciclo 2009/2010

GENOTIPOS	Ej.Tabasco	Ej. Chiapas II	San Luis		MEDIA
			R.C.	Col.Progreso	
L-3	5.69	5.78	10.01	1.71	5.79
L-5	5.29	7.88	7.33	2.88	5.85
L-6	5.51	8.23	8.02	3.95	6.43
L-23	6.17	7.63	8.88	2.01	6.17
L-24	6.29	6.86	7.61	2.47	5.81
Y ROJO	7.18	6.93	8.52	2.85	6.37
YECORA F-70	5.44	8.42	9.35	1.86	6.27
CACHANILLA	6.92	5.94	8.42	1.98	5.81
MEDIA	6.06	7.21	8.52	2.46	6.06

Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento de grano (t ha^{-1}) en genotipos de trigo y ambientes ciclo 2010/2011

GENOTIPOS	Col.	Col.	Ej.	Ej.	MEDIA
	Colorado	Zaragoza	Guerrero	Tabasco	
L-3	5.52	5.67	1.83	2.02	3.76
L-5	3.82	6.67	1.70	2.57	3.69
L-6	4.90	5.58	1.76	1.94	3.54
L-23	3.92	6.50	2.03	2.50	3.74
L-24	3.34	7.85	1.81	2.17	3.79
Y ROJO	3.82	7.81	1.88	2.34	3.96
YECORA F-70	2.78	6.09	1.92	2.12	3.22
CACHANILLA	4.42	5.30	2.13	1.58	3.36
MEDIA	4.07	6.43	1.88	2.15	3.63

En los cuadros 5 y 6 se presentan los análisis de varianza individuales para rendimiento de grano obtenidos durante los dos ciclos de prueba de ocho genotipos de trigos harineros, donde se observa para el primer ciclo que estos fueron altamente significativos para tres de los ambientes, excepto para la localidad de S L R C, Son. Por otro lado, en el cuadro 4 se aprecian resultados altamente significativos ($\alpha=0.01$) para tres localidades y no significativo ($\alpha=0.05$) para el Ejido Guerrero. En general los coeficientes de variación estimados para todos los ambientes de evaluación durante los dos ciclos, estuvieron dentro de los rangos confiables para este tipo de experimentos. López et al. (2001) evaluaron la adaptación y rendimiento de 15 líneas avanzadas de frijol negro, así como un testigo local en 11 localidades bajo condiciones de riego, temporal y humedad residual. Los resultados obtenidos indican diferencias entre las líneas estudiadas, localidades y para la interacción línea por localidad. Asimismo, Balbuena et al. (2008) estudiaron 20 genotipos de Maíz y Trigo para identificar los sobresalientes en rendimiento de grano y componentes de rendimiento en cuatro ambientes del valle de México. Por otro lado, González et al. (2010) evaluaron el rendimiento de 25 genotipos de maíz en cuatro ambientes de prueba, en los Valle altos del centro de México, y encontraron diferencias significativas entre ambientes, genotipos y la IGA.

En los cuadros 7 y 8 se presentan los análisis de varianza combinados para la variable rendimiento de grano de los 8 genotipos de trigos evaluados en 4 ambientes por ciclo agrícola, donde se aprecia diferencias altamente significativas (0.01) para la interacción genotipo x ambiente en ambos ciclos agrícolas, con estimaciones de coeficientes de variación dentro del rango confiable.

Cuadro 5. Cuadrados medios estimados en líneas avanzadas y variedades comerciales de trigo harinero evaluados en localidades del valle de Mexicali 2009/2010 (rendimiento de grano)

F.V.	Ej. Tabasco	Ej. Chiapas II	San Luis	Col. Progreso
GENOTIPO	2.01924**	3.96031**	3.07911 NS	2.24839**
C.V. (%)	10.84	9.51	14.67	12.99
E.E. de una media	0.3284	0.3422	0.6248	0.1596

*.- valor significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

**.- valor significativo a un nivel de probabilidad de 0.01

NS.-valores no significativos a un nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 6.- Valores medios estimados en líneas avanzadas y variedades comerciales de trigo harinero evaluados en localidades del valle de Mexicali 2010/2011 (rendimiento de grano).

F.V.	Col. Colorado	Col. Zaragoza	Ej. Guerrero	Ej. Tabasco
GENOTIPO	2.97**	3.90067**	0.0846 NS	0.4396*
C.V. (%)	14.49	7.38	11.57	17.42
E.E. de una media	0.2953	0.2376	0.1086	0.1875

*.- valor significativo a un nivel de probabilidad de 0.05

**.- valor significativo a un nivel de probabilidad de 0.01

NS.-valores no significativos aun nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 7.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronómicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son. Ciclo 2009/2010

F.V.	Rendimiento de grano	Indice de Cosecha	Peso de mil Semillas	Rendimiento de paja
GENOTIPO	1.171 NS	0.02287**	300.02**	9.405**
AMBIENTE	216.799**	0.16854**	2105.61**	102.422**
GENOTIPO X AMBIENTE	3.379**	0.00324**	45.49**	2.891**
C.V. (%)	12.85	5.96	2.87	13.08

** cuadrado medio con valores altamente significativo ($\alpha=0.01$)

NS.-valores no significativos aun nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 8.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronómicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son. Ciclo 2010/2011

F.V.	Rendimiento de grano	Índice de cosecha	Peso de mil semillas	Rendimiento de paja
GENOTIPO	1.011**	0.01914**	153.063**	13.714**
AMBIENTE	142.375**	0.16909**	186.129**	283.356**
GENOTIPO X AMBIENTE	2.128**	0.00345**	27.743**	1.92**
C.V. (%)	12.08	8.32	5.7	15.27

** cuadrados medios con valores altamente significativos ($\alpha=0.01$)

En el cuadro 9 se presenta el rendimiento medio de grano ($t\ ha^{-1}$) de los 8 genotipos de trigo evaluados en 4 ambientes durante 2009/10, así como su clasificación estadística (Tukey 0.05) donde se observan diferentes grupos estadísticos, destacando los genotipos: Yécora Rojo, Cachanilla y L-24 para el ambiente del Ejido Tabasco, mientras que en el Ejido Chiapas sobresalieron por su rendimiento más alto los genotipos: Yécora F-70, L-6 y L-5 ($8.4, 8.2, 7.8\ t\ ha^{-1}$, respectivamente). Para el caso del ambiente en San Luis Río Colorado, Sonora se obtuvo un solo grupo estadístico, sin embargo destacan por su alto potencial los genotipos L-3, Yécora F-70 y L-6 ($10.0, 9.3, 8.0\ t\ ha^{-1}$, respectivamente). En el ambiente de la Colonia Progreso destaca la L-6, seguido por L-5 y Yécora Rojo ($3.95, 2.88, 2.85, t\ ha^{-1}$).

La clasificación estadística presentada en el cuadro 10 de las evaluaciones realizadas en el ciclo agrícola 2010/11, muestran para el ambiente de la Colonia Colorado, 4 grupos estadísticos en el que destacan por su rendimiento de grano ($ton\ ha^{-1}$) los genotipos: L-3, L-6 y Cachanilla ($5.5, 4.9, 4$, respectivamente). En contraposición los rendimientos más altos en Colonia Zaragoza fueron de: L-24, Yécora Rojo y L-5 ($7.9, 7.8, 6.7\ ton\ ha^{-1}$, respectivamente). En ejido Guerrero se

presentó un solo grupo estadístico con rendimientos para esta variable estadísticamente iguales (Tukey 0.05). Para el caso del ejido Tabasco los rendimientos de grano más altos fueron producidos por los genotipos: L-5, L-23 y L-3 (2.6, 2.5, 2.0 ton ha⁻¹, respectivamente).

Cuadro 9.- Rendimiento medio de grano (t ha⁻¹) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2009/2010

GENOTIPOS	Ej. Tabasco		Ej. Chiapas II		San Luis		Col. Progreso	
	MEDA	GRUPO	MEDA	GRUPO	MEDA	GRUPO	MEDIA	GRUPO
YECORA ROJO	7.200	a	6.925	ab	8.525	a	2.850	b
CACHANILLA	6.925	ab	5.925	b	8.425	a	1.975	c
L-24	6.275	abc	6.850	ab	7.625	a	2.450	bc
L-23	6.150	abc	7.625	a	8.875	a	1.975	c
L-3	5.700	abc	5.775	b	10.00	a	1.700	c
L-6	5.500	bc	8.200	a	8.025	a	3.925	a
YECORA F-70	5.450	bc	8.400	a	9.325	a	1.850	c
L-5	5.275	c	7.875	a	7.350	a	2.925	b

Cuadro 10.- Rendimiento medio de grano (t ha⁻¹) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2010/2011.

GENOTIPOS	Col. Colorado		Col. Zaragoza		Ej. Guerrero		Ej. Tabasco	
	MEDIA	GRUPO	MEDIA	GRUPO	MEDIA	GRUPO	MEDIA	GRUPO
L-3	5.525	a	5.700	bc	1.825	a	2.000	ab
L-6	4.900	ab	5.575	bc	1.750	a	1.925	ab
CACHANILA	4.400	abc	2.275	c	2.125	a	1.575	b
L-23	3.950	bcd	6.525	b	2.050	a	2.500	a
L-5	3.850	bcd	6.675	b	1.700	a	2.600	a
YECORA ROJO	3.825	bcd	7.825	a	1.875	a	2.350	ab
L-24	3.375	cd	7.875	a	1.800	a	2.150	ab
YECORA F-70	2.775	d	6.075	bc	1.900	a	2.125	ab

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

6.3. Interacción Genotipo por Ambiente (GXA) para rendimiento de grano

La IGA resultó altamente significativa ($P < 0.01$) para las variables rendimiento de grano, las cuales fueron evaluadas en cuatro ambientes de prueba durante dos años. Estos resultados demuestran que los genotipos tienen un comportamiento desigual en los diferentes ambientes probados (Cuadro 11 y 12). Solano *et al.* (1998) evaluaron 26 genotipos promisorios de primavera cultivados en seis ambientes de Valdivia. Los resultados obtenidos indican diferencias significativas entre los genotipos, ambientes y para la interacción IGA. Estos mismos resultados concuerdan con lo obtenido por Gleenys *et al.* (2006), quienes estudiaron la IGA en 16 híbridos experimentales de maíz de grano blanco, en varios ambientes del estado Yaracuy, Venezuela, en el período 2000-2001. Ellos detectaron diferencias para los efectos principales de genotipos y ambientes, así como en la IGA. Asimismo, Balbuena *et al.* (2008) estudiaron 20 genotipos de Maíz y Trigo para identificar los sobresalientes en rendimiento de grano y componentes de rendimiento en

cuatro ambientes del valle de México. Los resultados indicaron que en la IGA fue significativa para el rendimiento del grano. Estos mismo resultados coinciden con los obtenidos por Zepeda et al. (2009), quienes evaluaron 8 híbridos de maíz adaptados a la región de Valles Altos Centrales de México, y sus características físicas, estructurales y calidad del nixtamal–tortilla del grano. Los resultados mostraron que la IGA fue significativa para la mayoría de las variables, pero para el rendimiento de tortilla fría un híbrido respondió diferente a los ambientes debido a sus características genéticas particulares y por su respuesta en cada año agrícola. Estos mismos autores también observaron significancia en la IGA al evaluar el índice de floración del grano en 10 genotipos de maíz en dos ambientes.

Cuadro 11.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronomicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son en el ciclo 2009/2010

F.V.	RENDIMIENTO DE GRANO	INDICE DE COSECHA	PESO DE MIL SEMILLAS	RENDIMIENTO DE PAJA
GENOTIPO	2.89 *	0.02287**	388.48**	9.405**
AMBIENTE	188.29**	0.16854**	2005.16**	102.422**
GENOTIPO X AMBIENTE	5.06**	0.00324**	54.21**	2.891**
C.V. (%)	17.37	5.96	8.96	13.08

** cuadrado medio con valores altamente significativo ($\alpha=0.01$)

NS.-valores no significativos aun nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 12.- Análisis de Varianza combinado y significancia estadística para variables agronomicas evaluados en el valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, Son en el ciclo 2010/2011

F.V.	RENDIMIENTO DE GRANO	INDICE DE COSECHA	PESO DE MIL SEMILLAS	RENDIMIENTO DE PAJA
GENOTIPO	0.78	0.01914**	153.063**	13.714**
AMBIENTE	135.68**	0.16909**	186.129**	283.356**
GENOTIPO X AMBIENTE	2.72**	0.00345**	27.743**	1.92**
C.V. (%)	18.53	8.32	5.7	15.27

** cuadrado medio con valores altamente significativo ($\alpha=0.01$)

6.3.1. Modelo AMMI

En el cuadro 13, se presenta el análisis de varianza de las variables estudiadas de los genotipos experimentales (L3), (L5), (L6), (L23), (L24), (YR), (Y70), (C) y ambientes (AEG,AET,ACP,ACC,AET,ACZ,ACH,AESL), en este se observa los resultados de la IGA, para RG el cual fue altamente significativo ($P<0.01$). En ésta, el primer componente explica el 99.87 % de la varianza total y el segundo componente mostró el 0.13%. Sin embargo, Van Euwijk (1995) señala que el primer eje del componente principal representa la variable ambiental hipotética obtenida a partir de los datos reales que describe la mayor cantidad de interacción y por lo tanto la que mejor discrimina entre los genotipos. En la figura 1, se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas. En los vértices cerca del cero, se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con letras de color rojo, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente AET, donde se destaca los genotipos (L23,y YR), en el sector izquierdo en el ambiente (ACC) destacan la L3 y C (TR) como los más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente AET2,ACP donde destacan los genotipos (L5 y L24) y A los más

adaptado. Así, los genotipos más estables son los que se encuentran más cercanos al origen sin importar el cuadrante donde estén ubicados. Los genotipo más estable fueron Yécora rojo (GF), L23(GD), Cachanilla(GH) y L3(GA). Estos resultados son similares a los reportados por Michelena *et al.* (1995a) analizaron la interacción GxA mediante el modelo AMMI, para el rendimiento de trigo harinero, encontraron que el PCA-1 explicó un 31% de la SC de la interacción, siendo altamente significativa. Además, el rendimiento de grano de estos trigos se mostró especialmente influenciado por la interacción año por localidad, lo cual dificulta conseguir valores estables para una localidad determinada. Esto coincide con lo que Solano (1998), donde manifiesta el rendimiento medio y los puntajes para el primer componente principal de los 26 genotipos de trigo en 6 ambientes. El expresa, que el genotipo de trigo con menor puntaje de PCA-1, correspondió al genotipo M15, seguido de los genotipos M19, M12, M11, M08 y M16, con valores de -0,45; 0,82; -0,84; 3,0; 3,11 y -3,31, respectivamente. Esto significa, que los genotipos individualizados tuvieron los menores efectos de interacción con el ambiente ya que sus puntajes son los más próximos a 0,0. Los genotipos más estable fueron Yécora rojo (GF), L23(GD), Cachanilla(GH) y L3(GA).

Cuadro 13. Análisis de varianza AMMI en trigos de gluten fuerte durante los ciclos 2009-10 y 20010-11.

Fuente	gl	Rendimiento de grano Kg ha ⁻¹			Rendimiento de paja Kg ha ⁻¹			Peso de mil semillas			Indice de cosecha		
		SC	CM	%	SC	CM	%	SC	CM	%	SC	CM	%
Modelo	87	1507.08	17.32**	—	1590.11	18.27	—	11870.23	136.44	—	1.54**	0.02*	—
Repeticiones	7	27.32	1.14*	—	12.55	0.52	—	115.21	4.80	—	0.02	0.0 ^{ns}	—
Ambientes (A)	24	1290.54	184.36**	—	1314.68	187.81**	—	7044.98	1006.42**	—	1.09	0.16**	—
Variedad (G)	7	19.82	2.83**	—	151.73	21.67**	—	3016.77	430.97**	—	0.27	0.04**	—
G X A	49	169.39	3.46**	—	111.14	2.27**	—	1693.27	34.56**	—	0.16	0.003**	—
Error	168	120.17		—	125.83		—	586.87	3.49	—	0.67	0.001	—
Total	255	1627.25			1715.94			1693.27			1.72		
Términos AMMI													
G X A	6	169.39	3.46**	—	111.14	2.27**		1693.27	34.56	—	0.16	0.003	—
CP1	4	167.97	3.14**	99.87	109.68	2.26*	99.92	1686.59	148.99	99.95	0.146	0.129**	98.77
CP2	2	1.42	0.33	0.13	1.46	0.01	0.08	6.68	1.95	0.05	0.014	0.0007**	1.23



58

6.4.Descripción Varietal Línea (L3)

Cuadro 14.- GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(*Triticum aestivum* L. em Thell)

VARIEDAD: GALIA F-2011(Línea 3)

NO.	CARACTERISTICA	ESTADOS1	DESCRIPCION	NOTA
1	COLEOPTILO: PIGMENTACION	09--11	AUSENTE O MUY DEBIL	1 (x)
(+)	ANTOCIANINA	VS	DEBIL	3 ()
			MEDIO	5 ()
			FUERTE	7 ()
			MUY FUERTE	9 ()
(*) 2	PLANTA: HABITO DE CRECIMIENTO	25-29	ERECTO	1 (x)
(+)	(PORTE)	VG	SEMI-ERECTO	3 ()
			INTERMEDIO	5 ()
			SEMI-POSTRADO	7 ()
			POSTRADO	9 ()
3	HOJA BANDERA: COLORACION DE	49-51	AUSENTE O MUY DEBIL	1 ()
	ANTOCIANINAS EN AURICULAS	VG	DEBIL	3 (x)
			MEDIO	5 ()
			FUERTE	7 ()
			MUY FUERTE	9 ()
4	PLANTA: FRECUENCIA DE PLANTAS	47-51	AUSENTE O MUY BAJA	1 ()
(+)	CON HOJAS BANDERAS CURVADAS	VG	BAJA	3 (x)
			MEDIA	5 ()
			ALTA	7 ()
			MUY ALTA	9 ()
(*) 5	TIEMPO DE EMERGENCIA DE LA	50-52	MUY TEMPRANA	1 ()
	ESPIGA (PRIMERA ESPIGUILLA		TEMPRANA	3 ()
	VISIBLE EN EL 50 % DE LAS		MEDIA	5 ()
	ESPIGAS)		TARDIA	7 (x)
			MUY TARDIA	9 ()
(*) 6	HOJA BANDERA: GLAUCOSIDAD DE	60-65	AUSENTE O MUY BAJA	1 ()
(+)	LA VAINA	VG	BAJA	3 ()
			MEDIA	5 (x)
			ALTA	7 ()
			MUY ALTA	9 ()
(*) 7	ESPIGA: GLAUCOSIDAD	60-69	AUSENTE O MUY BAJA	1 ()
		VG	BAJA	3 (x)
			MEDIA	5 ()
			ALTA	7 ()
			MUY ALTA	9 ()

Cuadro 15.-GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN VARIETAL SECCIÓN DOS: TABLA DE CARACTERÍSTICAS TRIGO(*Triticum aestivum* L. em Thell)

VARIEDAD: GALIA F-2011

NO.	CARACTERÍSTICA	ESTADOS1	DESCRIPCIÓN	NOTA
8	TALLO: GLAUCOSIDAD DEL CUELLO	60-69	AUSENTE O MUY DÉBIL	1 (x)
			DÉBIL	3 ()
			MEDIO	5 ()
			FUERTE	7 ()
			MUY FUERTE	9 ()
(*) 9	PLANTA: LONGITUD (TALLO, ESPIGA, BARBAS Y ARISTAS)	75-92	MUY CORTA	1 ()
		M	CORTA	3 ()
			MEDIA	5 (x)
			LARGA	7 ()
			MUY LARGA	9 ()
(*) 10	TALLO; MEDULA EN SECCIÓN TRANSVERSAL (A LA MITAD ENTRE LA BASE DE LA ESPIGA Y EL NUDO DEL TALLO) ESPIGA: FORMA DE PERFIL	80-90	HUECA	3 (x)
		VS	MEDIA	5 ()
			MACIZA	7 ()
(*) 11	ESPIGA: FORMA	92	PIRAMIDAL	1 ()
(+)		VS	BORDES PARALELOS	3 ()
			FORMA SEMIMAZUDA	5 ()
			MAZUDA	7 ()
			FUSIFORME	9 (x)
(*) 12	ESPIGA: DENSIDAD	80-92	MUY LAXA	1 ()
			LAXA	3 ()
			MEDIA	5 (x)
			DENSA	7 ()
			MUY DENSA	9 ()
13	ESPIGA: LARGO EXCLUYENDO ARISTAS	80-92	MUY CORTA	1 ()
		M	CORTA	3 ()
			MEDIA	5 (x)
			LARGA	7 ()
			MUY LARGA	9 ()
(*) 14	ARISTAS O BARBAS	80-92	AMBAS AUSENTES	1 ()
(+)		VG	ARISTAS PRESENTES	2 (x)
			BARBAS PRESENTES	3 (x)

Cuadro 16. - GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(*Triticum aestivum* L. em Thell) VARIEDAD: GALIA F-2011

NO.	CARACTERISTICA	ESTADOS1	DESCRIPCION	NOTA
(*) 15	ARISTAS O BARBAS EN LA PUNTA	80-92	MUY CORTA	1 (x)
	DE LA ESPIGA: LONGITUD	VG	CORTA	3 ()
			MEDIA	5 ()
			LARGA	7 ()
			MUY LARGA	9 ()
(*) 16	ESPIGA: COLOR	80-92	CLARO	1 (x)
		VG	OSCURO	2 ()
17	SEGMENTO DEL RAQUIS APICAL:	80-92	AUSENTE O MUY DEBIL	1 ()
(+)	VELLOSIDADES EN SUPERFICIE	VS	DEBIL	3 ()
	CONVEXA		MEDIO	5 ()
			FUERTE	7 (x)
			MUY FUERTE	9 ()
18	GLUMA INFERIOR: ANCHO DEL	80-92	AUSENTE O MUY ANGOSTA	1 ()
(+)	HOMBRO (ESPIGUILLA DEL TERCIO	VS	ESTRECHO	3 (x)
	MEDIO DE LA ESPIGA)		MEDIO	5 ()
			ANCHA	7 ()
			MUY ANCHA	9 ()
19	GLUMA INFERIOR: FORMA DEL	80-92	INCLINADA	1 (x)
(+)	HOMBRO	VS	LIGERAMENTE INCLINADA	3 ()
			RECTO	5 ()
			ELEVADO	7 ()
			MUY ELEVADO	9 ()
20	GLUMA INFERIOR: LONGITUD DE LA	80-92	MUY CORTA	1 ()
	PUNTA	VS	CORTA	3 (x)
			MEDIA	5 ()
			LARGA	7 ()
			MUY LARGA	9 ()
21	GLUMA INFERIOR: FORMA DE LA	80-92	RECTA	1 (x)
(+)	PUNTA	VS	LIGERAMENTE CURVA	3 ()
			MEDIANAMENTE CURVA	5 ()
			FUERTEMENTE CURVADO	7 ()
			ACODADO	9 ()

Cuadro 17. - GUIA PARA LA DESCRIPCION VARIETAL SECCION DOS: TABLA DE CARACTERISTICAS TRIGO(*Triticum aestivum* L. em Thell)

VARIEDAD: GALIA F-2011

NO.	CARACTERISTICA	ESTADOS1	DESCRIPCION	NOTA
22	GLUMA INFERIOR:EXTENCION DE LA	90-92	DEBIL	3 (x)
(+)	VELLOSIDAD INTERNA	VS	MEDIANA	5 ()
			FUERTE	7 ()
23	LEMA INFERIOR: FORMA DE LA	80-92	RECTA	1 (x)
(+)	PUNTA	VS	LIGERAMENTE CURVA	3 ()
			MODERADAMENTE CURVA	5 ()
			FUERTEMENTE CURVA	7 ()
			GENICULADA	9 ()
(*) 24	GRANO; COLOR	92	BLANCO	1 (x)
		VG	ROJO	2 ()
25	GRANO; COLORACION CON FENOL	92	NINGUNA	1 ()
(+)		VS	TENUE	3 ()
			MEDIANA	5 (x)
			OBSCURA	7 ()
			MUY OBSCURA	9 ()
(*) 26	TIPO DE ESTACIONALIDAD	VG	INVIERNO	1 ()
(+)			FACULTATIVO	2 ()
			PRIMAVERA	3 (x)

7. CONCLUSIONES

En base a las líneas seleccionadas en los ambientes de prueba durante los dos ciclos, la L3 fue la que mostró mayor rendimiento y estabilidad contra la variedad comercial Cachanilla F-2000. Siendo la más sembrada en el Valle de Mexicali con una diferencia de 0.46 ton ha^{-1} . En base a estos resultados se elaboró el descriptor varietal para su registro ante el SNICS (2716-TRI-108-081081111/C).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P.E., F. Andrade y J.P. Culot (1994).** Determinación del rendimiento de trigo. *Boletín Técnico* N° 133, INTA EEA Balcarce; Bs. As., Argentina: 5-17.
- Acevedo, E., P.Q. Craufurd, R.B. Austin y M.Perez(1991).** Traits associated with high yield in barley in low- rainfall environments. *J. Agric. Sci., Camb* 116: 23-36.
- AETC (1998).** Encuesta de calidad de los trigos duros españoles. Cosecha 1998. Asociación Española de Técnicos Cerealistas – Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Allard, R. W. 1960.** Principles of plant breeding. John Wiley and Sons. New York.
- Austin, R.B.,C.L. Morgan, M.A.Fordo y R.D.Blackwell (1980).** Contributions to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Ann. Bot* 45: 309-319.
- Baker C.K., J.N.Gallagher y J.L.Monteith (1980).** Daylength change and leaf appearance in winter wheat. *Plant Cell Env* 3:285-287.
- Balbuena, M.A., H.A.González, R.E.Rosales, L.A.Domínguez, M.O.Franco y L.D.Pérez (2008).** Identificación de genotipos sobresalientes de trigo en el Valle de Toluca. *Agricultura técnica en México* 43(7):257-262.
- Booth, M.R., J.A.Ewart (1970).** Relationship between wheat proteins. *J. Sci. Food Agric* 21: 187-192.
- Canimolt (2008).** Camara Nacional de la Industria Molinera de Trigo.
- Castillo., D. I. Matus, A.Pozo, R. Madariaga y M. Mellado(2012).** Adaptabilidad e Interacción Genotipo x Ambiente en Trigos de Primavera utilizando Análisis de Regresión, AMMI y SREG. *Chilean Journal . Agricultural. Research* 72(2): 2012
- Chevalier, P. ,E. Lingles (1983).** Sugar metabolism in developing. Kernels of wheat and barley. *Crop Sci* 23:272-277.
- Davidson, D. J. y P.M. Chevalier (1990).** Preanthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Science* 30: 832-836.
- Dalloul, A. (1980).** Influence of the period of vernalization on 8 characteristics in winter x spring crosses of wheat. *Cereal Res. Comm* 8: 551-557.

- Del Pozzo, A.H., J. Garcia, R. Novoa y S. Villaseca (1987).** Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Exp. Agric* 23: 21-30.
- Dyke, G. V., P. W. Lane y J. F. Jenkyn (1995).** Sensitivity (stability) analysis of multiple variety trials with special reference to data expressed as proportions or percentages, *Exploration. Agricultural* 31:75-87.
- Elhani, S., Y. Rharrabti and L.F. García (1999).** Variación en los parámetros de fluorescencia rápida de la clorofila en hojas de trigo duro (*Triticum durum* Desf.) en dos ambientes con diferente régimen hídrico. In: *XIII Reunión de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal-VI Congreso Hispano Luso*. Sevilla (Españe), 19-22 septiembre, 1999. pp: 54.
- Evans, L. T. y I.F. Wardaw (1976).** Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Adv. Agron* 28: 301-359.
- Evans, L.T., Wardlaw, I.F. y Fischer, R.A (1983).** Trigo. In: *Fisiología de los cultivos*, L.T. Evans (ed.), pp. 113-164, Hemisferio Sur, Buenos Aires.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization) © FAO Statistics Division (2010).**
- Finney et al., (1987).** Quality of hard, soft, and durum wheats. In: *Wheat and wheat improvement*, E.G. Heyne (ed.), pp. 677-748. American Society of Agronomy, Madison.
- Fischer, R.A y J.T. Wood (1979).** Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho- physiological traits. *Australian. Journal. Agricultural Research* 30: 1000-1020.
- Fischer, R.A. y D. H. Lambers (1978).** Effects of environment and cultivar on source limitation to grain weight in wheat. *Aust. J. Agric. Res* 29:443-458.
- Fischer, R.A (1973).** The effect of water stress at various stages of development on yield processes in wheat. *Plant responses to climatic factors. Procc. Uppsala, Symp. UNESCO*: 1970.
- Fuertes, M T., A. Aizpurua, M.B. González, J. M Estavillo (2010)** Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Europ. J. Agronomy* 33: 52–61.
- Frank, A.B. y Bauer, A. (1995).** Phyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. *Crop Sci* 35: 19-23.

- Flood, R.G. y G.M. Halloran (1984).** Temperature as a component of the expression of developmental responses in wheat. *Euphytica* 33:91-98.
- Gallagher, J.N (1979).** Field Studies on cereal leaf growth. I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. *J. Exp. Bot* 30:625-636.
- García del Moral, L.F., A.Boujenna, J.A. Yañez y J.M.Ramos (1995).** Forage production, grain yield and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. *Agron. J* 87: 902-908.
- García, E.(1985).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 2a. México. D.F.p.246.
- García del Moral, L.F. y J.M.Ramos (1989).** Fisiología de la producción de grano. In *La cebada*. J.L. Molina-Cano (ed), pp.137-178. Mundi-Prensa-MAPA., Madrid.
- Garrido, M., P.Silva, H.Silva, R.Muños, C.Baginsky, E.Acevedo (2013).** Evaluación del rendimiento de nuevo genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambientes mediterráneo 31(2).69-76.
- Geerts, S.D., M.García, R.Miranda, J.A.Cusicanqui, C.Taboada, J.Mendoza, R.Huanca, A.Mamami, O.Condori (2009).** Simulation yield response of quinoa to water availability with aquacrop. *Agronomy Journal*.10. Agronomy Journal.101(3)
- González, A., D.J.Perez, J.Sahagún, O.Franco, E.J.Morales, M.Rubí, F.Gutiérrez, A.Balbuena (2010).** Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle de Toluca-Atacomulco, México. *Agronomía Costarricense* 34(2):129-143.
- González, H.A., L.M.Vázquez, C.J.Sahagun, P.J.Rodríguez, D.J.Pérez (2007).** Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura técnica en México* 33(1):33-42.
- Hay, R.K y E.J.Kirby (1991).** Convergence and synchrony – a review of the coordination of development in wheat. *Aust. J. Agric. Res* 42: 661-700.
- Hay R.K.M y Ellis R.P (1998).** The control of flowering in wheat and barley: What recent advances in molecular genetics can reveal. *Ann. Bot.* 82: 541-554.

- Hucl,R y Baker,R.J.(1987).** A study of ancestral and modern Can. Cadianspring wheats.Can.J.Plant Sci 67:8.
- Hucl, P. y Baker.A (1989).** Tillering patterns of spring wheat genotypes grown in a semiarid environment. Can. J. Plant Sci 69: 71-79.
- Ishag, H.M (1994).** Genotype differences in heat stress in wheat in Gezira Scheme. In: DA Saunders and GP Hettel eds. Wheat in Heat- Stressed Environment, Irrigated, Dry Areas & Rice-Wheat Farming Systems. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Kimber, G.K y E.R.Sears (1987).** Evolution of the genus *Triticeae* and origin of cultivated wheat. In "Wheat and wheat improvement", EG Heyne, ed Ed. second. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp 154-164.
- Krenzer, E.G. y T.L. Nipp (1991).** Mainstem leaf development and tiller formation in wheat cultivars. Agron. J 83:667-670.
- Kirby, E.J.M. y M.Appleyard (1980).** Effects of photoperiod on the relation between development and yield per plant of a range of spring barley varieties. Z. Pflanzenzüchtg 85: 226-239.
- Kirby,E.J.M. y M.Appleyard (1984).**Cereal plant development and its relation to crop management. In Cereal Production. E.J. Gallagher (ed.), pp. 161-173. Butterworths, London.
- Kirby,E.J.M. y Appleyard,M (1986).**CerealDevelopment Guide.N.A.C.,Stoneleigh,95 p.
- Kirby,E.J., J. R. Porter, W. Day, Jill S. Adam, Margaret Appleyard, Sarah Ayling^p, C. K. Baker, R. K. Belford, P. V. Biscoe, Anne Chapman, M. P. Fuller, Janice Hampson, R. K. M. Hay, S. Matthews, W. J. Thompson, A. H. Weir, V. B. Anne Willington and D. W. Wood (1987).** An analysis of primordium initiation in Avalon winter wheat crops with different sowing dates in England and Scotland. J. Agric. Sci Camb 109: 123-134.
- Lersten,N.R.(1987).**Morphology and anatomy of the wheat plant.In:Wheat and wheat improvement.E.G. Heyne(ed.),American Society of Agronomy,No.13,pp. 3371,Madison,Wisconsin.
- Lopez, B.L.(1991).**Cultivos herbáceos.Vol.I.Cereales.Mundi-Prensa,539 p.
- Lin, C. S., M. R. Binns, y L.P. Lefkovitch. 1986.** Stability analysis: where do we stand?. Crop Science 26:894-900.

Molina,G.J (1983).Selección masa visual estratificada en Maíz.Ed.Colegio de posgraduados.Chapingo,México.35p.

Michelena, A., I. Romagosa, J. Martín, A. López (1995). Influencia ambiental y varietal en diferentes parámetros de calidad y rendimiento en trigo duro. Investigación Agraria: Prod. Protec. Veg. 10:191–200.

McMaster,G.S. (1998). Phenology, development, and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex: a review. Adv. Agron 59: 63-118.

Nanichit (1995). Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. En: di Fonzo, N.; Kaan, F. ; Nachit, M. (Eds.): Durum wheat quality in the Mediterranean Region. Options Méditerranéennes. CIHEAM, 22: 181-188.

Puertas,M.J (1992).Genética fundamentos y perspectivas. 1ª Ed.M.C,Graw. Hill, Interamericana de España.

Pronespres. Programa Nacional de estimaciones de superficie, producción y rendimiento (2008):<http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/pronespre.html>

Rahman,M.S and J.M.Wilson (1977).Determination of spikelet number in wheat.I.The effect of varyng photoperiod on ear development.Aus.J.Agric.Res 28:565-574.

Rawson, H.M. y R.A. Richards (1993). Effects of high temperatureand photoperiod on floral development in wheat isolines differing in vernalisation and photoperiod genes. Field Crops Re 32: 181-192.

Reilly, M.L. (1990). Nitrate assimilation and grain yield. In Nitrogen in higher plants. Y.P. Abrol (ed.), pp. 335-366. Wiley & Sons, Gran Bretaña.

Romagosa, I. y Araus, J.L. (1991). La mejora genética vegetal para zonas con déficits hídricos. Rev. Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 85: 349-366.

Salazar Z,A.(1995). La calidad del trigo y su comercialización.Simposio sobre la calidad de los granos en la comercialización a nivel Nacional Internacional. Programa Universitario de alimentos, Ciudad Universitaria, UNAM.(En prensa, 5 de Julio, 1996).

Simmons, S.R. (1987). Growth, development and physiology. In: Wheat and wheat improvement. E.G. Heyne (ed.), American Society of Agronomy, No. 13, pp. 77-105, Madison, Wisconsin.

- Singh, N., H. Singh, B. Singh (1998).** Determining the distribution of ash in wheat using debranning and conductivity. *Food Chemistry* 62:169-172.
- Sofield, I., L.T. Evans, M.G. Cook y I.F. Wardlaw (1974).** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol* 4:785-797.
- Souza, E y M. E. Sorrells (1989).** Pedigree analysis of North American oat American oat cultivars released from 1951 to 1985. *Crop Science* 29: -601
- Solano, S.J., B. Barriga, P.K.H (1998).** Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: ADDITIVE MAIN EFFECT AND MULTIPLICATIVE INTERACTION MODEL) 6(2):19-32.
- Sharif, R. y Dale, J.E., (1980).** Growth-Regulating substances and the growth of tiller buds in barley; effects of cytokinins. *Journal of Experimental Botany* 31:921-30.
- Slafer, G.A. y R. Savin (1991).** Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *J. Exp. Bot* 42: 1077-1082.
- Slafer, G.A. y Rawson, H.M. (1994a).** Does temperature affect final number of primordia in wheat. *Field Crops Res* 39: 111- 117.
- Stelling, D.E y W. Link. (1994).** Yield stability in faba beans, *Vicia faba* L. 2. Effect of heterozygosity and heterogeneity. *Plant Breed* 112: 30-39.
- Slafer, G. A y H.M. Rawson (1995 a).** Intrinsic earliness and basic development rate assessed for their response to temperature in wheat genotypes. *Euphytica* 83: 175–183.
- Thorne, G.N. (1981).** Growth and development of cereals and the environment. In *Opportunities for Manipulation of Cereal Productivity*. A.F. Hawkins and B. Jeffcoat (eds.), pp. 204-209. British Plant Growth Regulator Group, Monograph 7.
- Yanés, J.A. (1997).** Contribución al estudio del desarrollo apical, llenado del grano y productividad en triticale. Tesis Doctorales. Universidad de Granada. 133 p.
- Vadillo, J. (1989).** La calidad en los trigos. Ministerio de Agricultura , Pesca y Alimentación, Hoja INIA, Núm 2/89 HD, Madrid, 24 p.

- Villaseñor, E.O., J.H. Espino, S.G. Leyva, H.E. Villaseñor, R.P. Singh, J.S. Sandoval, E.E. Rangel (2009).** Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero 32(3):217-223.
- Wiegand, C.L. y Cuella, J.A (1981).** Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. Crop Sci 21: 95-101.
- Willey, R.W., Holliday, R. (1971).** Plant population, shading and thinning studies in wheat. J. Agric. Sci., Cambridge, 77, 453-461.
- Wheeler, T.R., P.Q. Craufurd., R.H. Ellis., J.R. Porter., P.V. Vara. (2000).** Temperature variability and the yield of annual crops. Agriculture, Ecosystems and Environments 82:159-167.
- Whitfield, D.M. y C.J. Smith (1989).** Effects of irrigation and nitrogen on growth, light interception and efficiency of light conversion in wheat. Field Crop Res. 20: 279-295.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. y Konzak, C.F. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res 14: 415-421.

9. APÉNDICE

Cuadro 18.- Promedio de índice de cosecha y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2009/2010

GENOTIPOS	Ej. Tabasco		Ej. Chiapas II		San Luis		Col. Progreso	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
YECORA ROJO	0.5240	a	0.4990	a	0.5485	a	0.3760	ab
L-6	0.5193	a	0.4792	abc	0.5435	a	0.4145	a
YECORA F-70	0.5080	ab	0.4895	ab	0.5437	a	0.3670	ab
L-24	0.5080	ab	0.4998	a	0.5103	a	0.3748	ab
CACHANILLA F-2000	0.4948	abc	0.4097	d	0.5038	a	0.2993	c
L-23	0.4812	abc	0.4505	c	0.4928	a	0.3400	bc
L-5	0.4270	bc	0.4685	bc	0.5243	a	0.4087	a
L-3	0.4137	c	0.3678	e	0.4948	a	0.2330	d

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 19.- Promedio del peso de mil semillas(g) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2009/2010

GENOTIPOS	Ej. Tabasco		Ej. Chiapas II		San Luis		Col. Progreso	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
L-5	53.475	a	53.875	a	51.450	ab	37.375	b
L-23	51.025	b	47.650	bc	53.375	a	28.750	d
YECORA F-70	50.550	b	47.675	bc	48.300	bc	39.825	a
L-6	49.450	b	50.500	ab	45.975	c	30.775	c
YECORA ROJO	46.000	c	45.975	c	48.250	bc	38.050	b
CACHANILLA F-2000	45.375	c	39.850	d	46.600	c	22.025	e
L-3	45.250	c	38.975	d	41.625	d	19.825	f
L-24	44.200	c	41.800	d	42.600	d	31.150	c

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 20.- Rendimiento medio de paja(t ha⁻¹) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2009/2010

GENOTIPOS	Ej. Tabasco		Ej. Chiapas II		San Luis		Col. Progreso	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
L-3	8.050	a	5.775	b	10.225	a	5.600	a
L-5	7.350	ab	7.875	a	6.600	c	4.200	bc
CACHANILLA F-2000	7.050	ab	5.925	b	8.300	abc	4.675	ab
YECORA ROJO	6.675	ab	6.925	ab	7.000	bc	4.675	ab
L-23	6.650	ab	7.625	a	9.175	ab	3.900	bc
L-24	6.075	ab	6.850	ab	7.250	bc	4.100	bc
YECORA F-70	5.275	ab	8.400	a	7.850	bc	3.225	c
L-6	5.100	b	8.200	a	6.725	c	5.600	a

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 21.- Promedio de índice de cosecha y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2010/2011

GENOTIPOS	Col. Colorado		Col. Zaragoza		Ej. Guerrero		Ej. Tabasco	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
L-5	0.4095	a	0.4498	ab	0.5495	a	0.3753	ab
L-3	0.3850	a	0.3177	c	0.4105	d	0.2570	c
YECORA ROJO	0.3828	a	0.4825	a	0.5260	abc	0.3933	a
CACHANILA	0.3790	a	0.3957	bc	0.5160	bc	0.3090	bc
L-6	0.3783	a	0.4138	ab	0.5035	c	0.3600	ab
YECORA -70	0.3763	a	0.4645	ab	0.5445	ab	0.3865	ab
L-23	0.3705	a	0.4380	ab	0.5145	bc	0.3548	ab
L-24	L-24	a	0.4820	a	0.5457	ab	0.3440	ab

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 22.- Promedio del peso de mil semillas (g) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2010/2011

GENOTIPOS	Col. Colorado		Col. Zaragoza		Ej. Guerrero		Ej. Tabasco	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
L-5	42.375	a	46.125	ab	47.375	a	49.375	a
L-3	39.500	a	35.175	d	40.500	cd	36.250	d
L-6	39.000	a	40.125	cd	44.500	abc	45.500	ab
YECORA F-70	37.750	a	44.625	bc	45.750	ab	43.875	b
L-23	37.125	a	50.875	a	43.000	bcd	44.875	b
YECORA ROJO	36.625	a	43.875	bc	43.625	abcd	41.750	bc
CACHANILLA F-2000	35.625	a	39.750	cd	40.375	d	38.000	cd
L-24	35.125	a	40.250	cd	40.875	cd	35.750	d

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 23.- Rendimiento medio de paja (t ha⁻¹) y clasificación estadística entre genotipos evaluados en ambientes del valle de Mexicali 2010/2011

GENOTIPOS	Col. Colorado		Col. Zaragoza		Ej. Guerrero		Ej. Tabasco	
	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO	MEDIA	GPO
L-3	8.900	a	12.200	a	2.650	a	5.875	a
L-6	7.925	ab	7.925	b	1.725	bcd	3.450	b
CACHANILLA F-2000	7.300	abc	8.175	b	2.000	b	3.525	b
L-23	6.650	abc	8.475	b	1.900	bc	4.550	b
L-24	6.250	bc	8.475	b	1.500	cd	4.125	b
YECORA ROJO	6.125	bc	8.350	b	1.675	bcd	3.600	b
L-5	5.500	bc	8.175	b	1.375	d	4.225	b
YECORA F-70	4.975	c	7.025	b	1.600	bcd	3.325	b

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 24.- Efecto interactivo para rendimiento de grano entre genotipos de trigos de gluten fuerte en localidades y años del Distrito de Desarrollo Rural 002 (DDR 002), Río Colorado.

Genotipo	Ambiente	2009-2010		Ambiente	2010-2011	
		rendimiento de grano			rendimiento de grano	
		t ha ⁻¹	Clasif. Est.		t ha ⁻¹	Clasif. Est.
linea 3	a-1	5.7	abcdefghijklmn	a-5	5.5	bcdefghijklmn
	a-2	5.8	abcdefghijklmn	a-6	5.7	abcdefghijklmn
	a-3	10.0	a	a-7	1.8	lmn
	a-4	1.7	mn	a-8	2.0	lmn
linea 5	a-1	5.3	bcdefghijklmn	a-5	3.9	efghijklmn
	a-2	7.9	abcde	a-6	6.7	abcdefghijkl
	a-3	7.3	abcdefg	a-7	1.7	mn
	a-4	2.9	ghijklmn	a-8	2.6	ijklmn
linea 6	a-1	5.5	bcdefghijklmn	a-5	4.9	bcdefghijklmn
	a-2	8.2	abcde	a-6	5.6	abcdefghijklmn
	a-3	8.0	abcde	a-7	1.8	mn
	a-4	4.0	defghijklmn	a-8	1.9	lmn
linea 23	a-1	6.2	abcdefghijklm	a-5	4.0	defghijklmn
	a-2	7.6	abcdef	a-6	6.5	abcdefghijkl
	a-3	8.9	ab	a-7	2.1	klmn
	a-4	2.0	lmn	a-8	2.5	ijklmn
linea 24	a-1	6.3	abcdefghijkl	a-5	3.4	fghijklmn
	a-2	6.9	abcdefghi	a-6	7.9	abcde
	a-3	7.6	abcdef	a-7	1.8	mn
	a-4	2.5	ijklmn	a-8	2.2	klmn
yecora rojo	a-1	7.2	abcdefgh	a-5	3.8	efghijklmn
	a-2	6.9	abcdefghi	a-6	7.8	abcdef
	a-3	8.5	abc	a-7	1.9	lmn
	a-4	2.9	hijklmn	a-8	2.4	jklmn
yecora f-70	a-1	5.4	bcdefghijklmn	a-5	2.8	hijklmn
	a-2	8.4	abcd	a-6	6.1	bcdefghijklm
	a-3	9.3	ab	a-7	1.9	lmn
	a-4	1.9	lmn	a-8	2.1	klmn
cachanilla	a-1	6.9	abcdefghi	a-5	4.4	cdefghijklmn
	a-2	5.9	bcdefghijklmn	a-6	5.3	bcdefghijklmn
	a-3	8.4	abcd	a-7	2.1	klmn
	a-4	2.0	lmn	a-8	1.6	n

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 25.- Efecto interactivo para rendimiento de paja entre genotipos de trigos de gluten fuerte en localidades y años del Distrito de Desarrollo Rural 002 (DDR 002), Río Colorado.

2009-2010				2010-2011		
Genotipo	Ambiente	rendimiento de paja		Ambiente	rendimiento de paja	
		t ha ⁻¹	Clasif. Est.		t ha ⁻¹	Clasif. Est.
linea 3	a-1	8.1	abcdef	a-5	8.9	abcde
	a-2	9.8	abc	a-6	12.2	a
	a-3	10.2	ab	a-7	2.7	fghi
	a-4	5.6	bcdefghi	a-8	5.9	bcdefghi
linea 5	a-1	7.4	bcdefghi	a-5	5.5	bcdefghi
	a-2	9.0	abcde	a-6	8.2	abcdef
	a-3	6.6	bcdefghi	a-7	1.4	i
	a-4	4.2	cdefghi	a-8	4.2	cdefghi
linea 6	a-1	5.1	bcdefghi	a-5	7.9	abcdefg
	a-2	9.0	abcde	a-6	7.9	abcdefg
	a-3	6.7	bcdefghi	a-7	1.7	i
	a-4	5.6	bcdefghi	a-8	3.5	defghi
linea 23	a-1	6.7	bcdefghi	a-5	6.7	bcdefghi
	a-2	9.3	abcd	a-6	8.5	abcdef
	a-3	9.2	abcde	a-7	1.9	hi
	a-4	3.9	defghi	a-8	4.6	bcdefghi
linea 24	a-1	6.1	bcdefghi	a-5	6.3	bcdefghi
	a-2	6.9	bcdefghi	a-6	8.5	abcdef
	a-3	7.3	bcdefghi	a-7	1.5	i
	a-4	4.1	cdefghi	a-8	4.1	cdefghi
yecora rojo	a-1	6.7	bcdefghi	a-5	6.1	bcdefghi
	a-2	7.0	bcdefghi	a-6	8.4	abcdef
	a-3	7.0	bcdefghi	a-7	1.7	i
	a-4	4.7	bcdefghi	a-8	3.6	defghi
yecora f-70	a-1	5.3	bcdefghi	a-5	5.0	bcdefghi
	a-2	8.8	abcde	a-6	7.0	bcdefghi
	a-3	7.9	bcdefgh	a-7	1.6	i
	a-4	3.2	efghi	a-8	3.3	efghi
cachanilla	a-1	7.1	bcdefghi	a-5	7.3	bcdefghi
	a-2	8.5	abcdef	a-6	8.2	abcdef
	a-3	8.3	abcdef	a-7	2.0	ghi
	a-4	4.7	bcdefghi	a-8	3.5	defghi

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 26.- Efecto interactivo para peso de mil semillas entre genotipos de trigos de gluten fuerte en localidades y años del Distrito de Desarrollo Rural 002 (DDR 002), Río Colorado.

Genotipo	Ambiente	2009-2010		Ambiente	2010-2011	
		peso de mil semillas			peso de mil semillas	
		Gr.	Clasif. Est.		Gr.	Clasif. Est.
linea 3	a-1	45.3	abcdefgh	a-5	39.5	cdefghijk
	a-2	39.0	cdefghijk	a-6	35.2	hijkl
	a-3	41.6	abcdefghijk	a-7	40.5	abcdefghijk
	a-4	19.8	m	a-8	36.3	ghijk
linea 5	a-1	53.5	ab	a-5	42.4	abcdefghij
	a-2	53.9	a	a-6	46.1	abcdefgh
	a-3	51.4	abc	a-7	47.4	abcdefgh
	a-4	37.4	efghijk	a-8	49.4	abcdefg
linea 6	a-1	49.5	abcdefg	a-5	39.6	cdefghijk
	a-2	50.5	abcdef	a-6	40.1	bcdefghijk
	a-3	46.0	abcdefgh	a-7	44.5	abcdefghi
	a-4	30.8	jklm	a-8	45.5	abcdefgh
linea 23	a-1	51.0	abcd	a-5	37.1	fghijk
	a-2	47.7	abcdefgh	a-6	50.9	abcd
	a-3	53.4	ab	a-7	43.0	abcdefghij
	a-4	28.7	klm	a-8	44.9	abcdefgh
linea 24	a-1	44.2	abcdefghi	a-5	35.1	hijkl
	a-2	41.8	abcdefghijk	a-6	40.3	bcdefghijk
	a-3	42.6	abcdefghij	a-7	40.9	abcdefghijk
	a-4	31.1	ijklmn	a-8	35.8	hijk
yecora rojo	a-1	46.0	abcdefgh	a-5	36.6	ghijk
	a-2	46.0	abcdefgh	a-6	43.9	abcdefghij
	a-3	48.2	abcdefgh	a-7	43.6	abcdefghij
	a-4	38.1	defghijk	a-8	41.8	abcdefghijk
yecora f-70	a-1	50.5	abcde	a-5	37.8	defghijk
	a-2	47.7	abcdefgh	a-6	44.6	abcdefgh
	a-3	48.3	abcdefgh	a-7	45.8	abcdefgh
	a-4	39.8	cdefghijk	a-8	43.9	abcdefghij
cachanilla	a-1	45.4	abcdefgh	a-5	35.6	hijk
	a-2	39.8	cdefghijk	a-6	39.8	cdefghijk
	a-3	46.6	abcdefgh	a-7	40.4	bcdefghijk
	a-4	22.0	lm	a-8	38.0	defghijk

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

Cuadro 27.- Efecto interactivo para índice de cosecha entre genotipos de trigos de gluten fuerte en localidades y años del Distrito de Desarrollo Rural 002 (DDR 002), Río Colorado.

Genotipo	Ambiente	2009-2010		Ambiente	2010-2011	
		índice de cosecha			índice de cosecha	
		i.c.	Clasif. Est.		i.c.	Clasif. Est.
línea 3	a-1	0.414	abcde	a-5	0.385	abcde
	a-2	0.368	abcde	a-6	0.318	bcde
	a-3	0.495	abc	a-7	0.411	abcde
	a-4	0.233	e	a-8	0.257	de
línea 5	a-1	0.427	abcde	a-5	0.410	abcde
	a-2	0.469	abcd	a-6	0.450	abcde
	a-3	0.524	ab	a-7	0.550	a
	a-4	0.409	abcde	a-8	0.375	abcde
línea 6	a-1	0.519	abc	a-5	0.378	abcde
	a-2	0.479	abc	a-6	0.414	abcde
	a-3	0.544	a	a-7	0.504	abc
	a-4	0.415	abcde	a-8	0.360	abcde
línea 23	a-1	0.481	abc	a-5	0.371	abcde
	a-2	0.451	abcde	a-6	0.438	abcde
	a-3	0.493	abc	a-7	0.515	abc
	a-4	0.340	abcde	a-8	0.355	abcde
línea 24	a-1	0.508	abc	a-5	0.348	abcde
	a-2	0.500	abc	a-6	0.482	abc
	a-3	0.510	abc	a-7	0.546	a
	a-4	0.375	abcde	a-8	0.344	abcde
yecora rojo	a-1	0.524	ab	a-5	0.383	abcde
	a-2	0.499	abc	a-6	0.483	abc
	a-3	0.549	a	a-7	0.526	ab
	a-4	0.376	abcde	a-8	0.393	abcde
yecora f-70	a-1	0.508	abc	a-5	0.376	abcde
	a-2	0.490	abc	a-6	0.465	abcd
	a-3	0.544	a	a-7	0.545	a
	a-4	0.367	abcde	a-8	0.387	abcde
cachanilla	a-1	0.495	abc	a-5	0.379	abcde
	a-2	0.410	abcde	a-6	0.396	abcde
	a-3	0.504	abc	a-7	0.516	abc
	a-4	0.299	cde	a-8	0.309	bcde

*.- Genotipos unidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

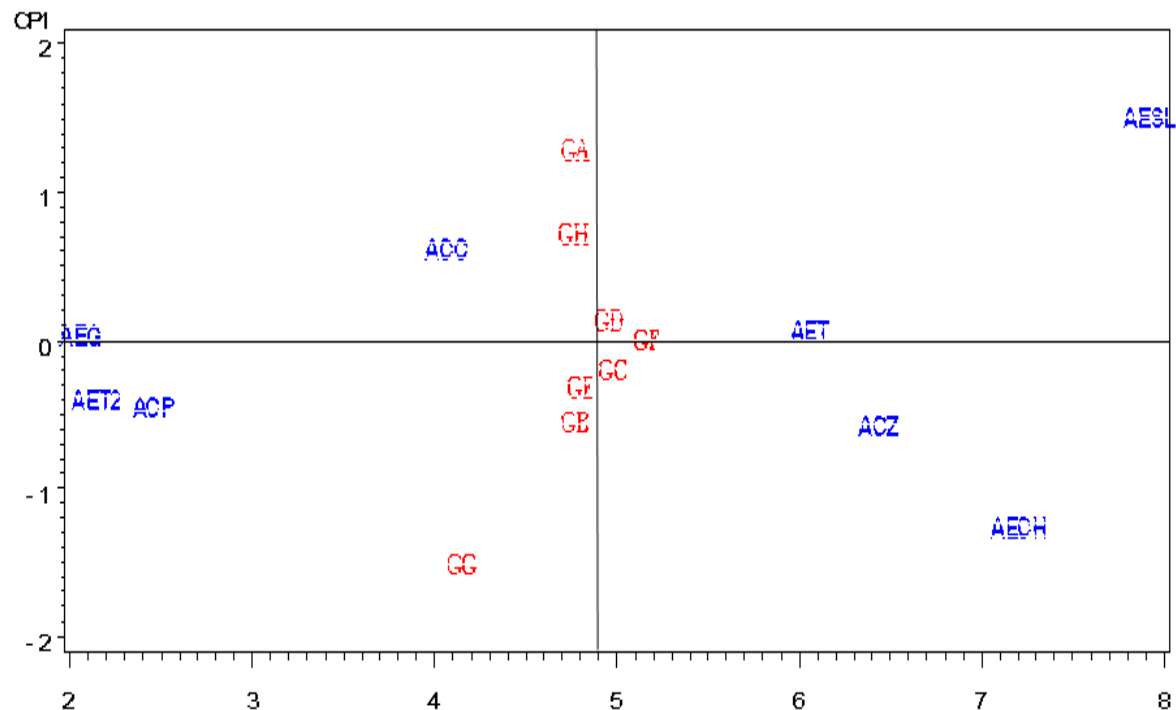


Figura 6. - Comportamiento de rendimiento medio de grano(t ha^{-1}) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos 2009/2010- 2010/2011, con el modelo AMMI.

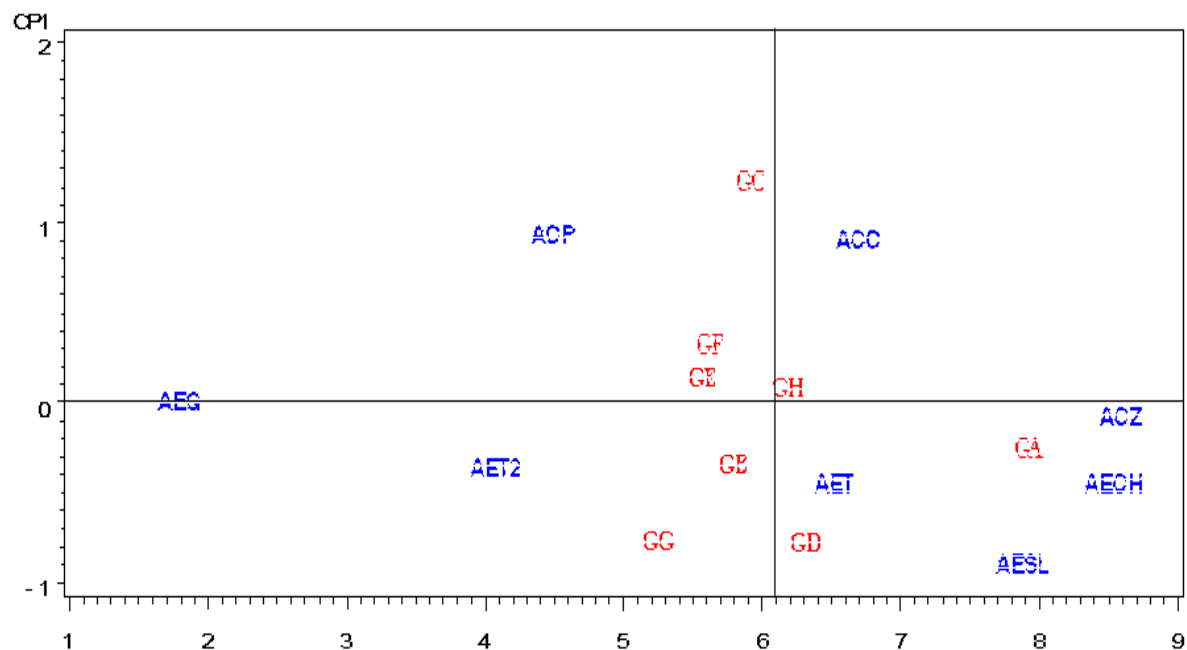


Figura.7 - Comportamiento de rendimiento medio de paja(t ha^{-1}) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos 2009/2010- 2010/2011 con el modelo AMMI.

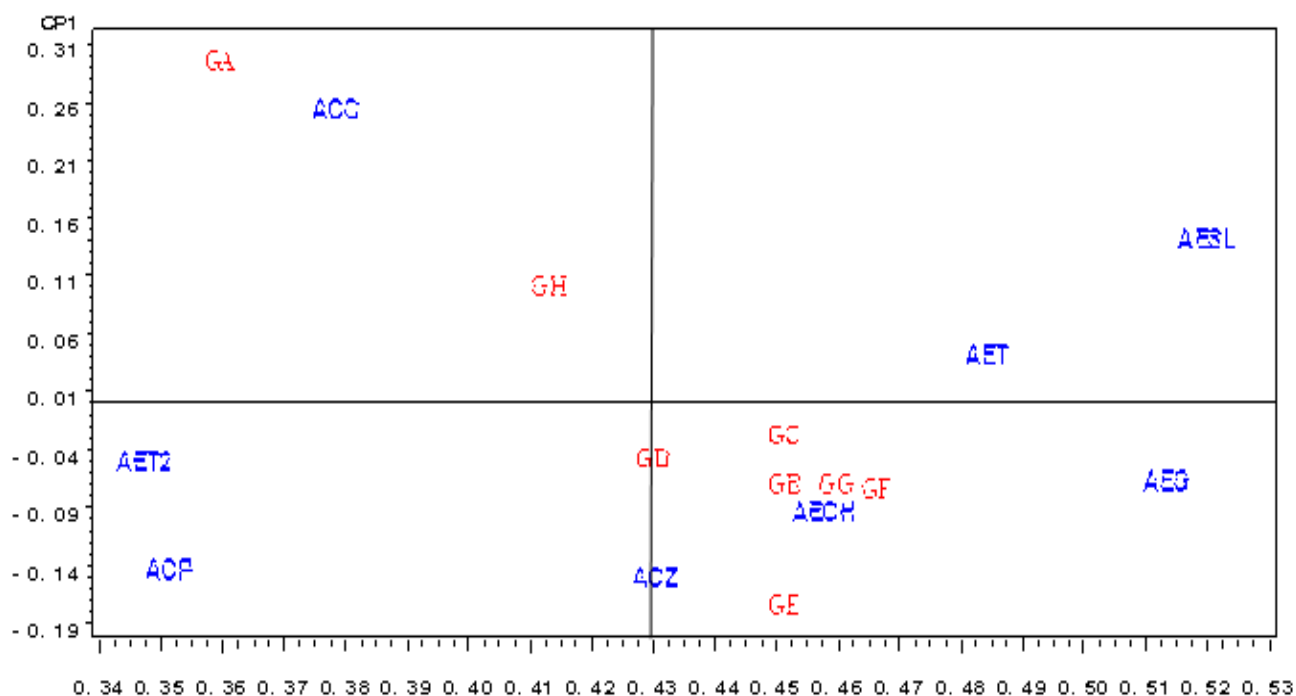


Figura 8. - Comportamiento de rendimiento medio de cosecha($t\ ha^{-1}$) en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos ,con el modelo 2009/2010-2010/2011 AMMI.

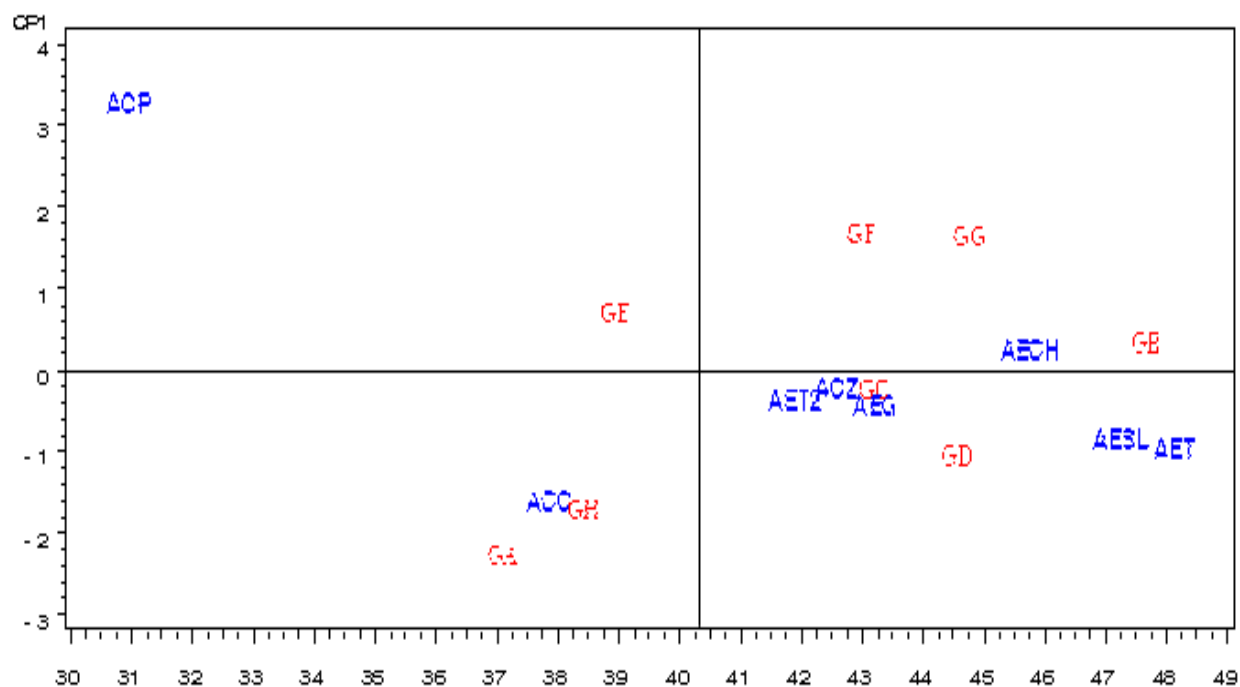


Figura 9. - Comportamiento medio de peso de 1000 semillas en trigos de gluten fuerte evaluados en el valle de Mexicali durante los ciclos ,con el m2009/2010-2010/2011odelo AMMI.

“GALIA F-2011”: VARIEDAD DE TRIGO HARINERO PARA EL VALLE DE MEXICALI, B. C. Y SAN LUIS RIO COLORADO, SON. EN MÉXICO

“GALIA F-2011” BREAD WHEAT CULTIVAR FOR MEXICALI VALLEY, B. C. AND SAN LUIS RIO COLORADO, SON. IN MEXICO

Rosario E. Rodríguez-González¹, Alejandro M. García-López¹, J. José Paz-Hernández¹, Javier Porras-Medrano², J. Francisco Ponce-Medina^{*1}, Faviola Noris-Robles¹, Manuel Cruz-Villegas¹, Leopoldo Partida-Ruvalcaba².

¹ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del estado de Baja California, Carretera a Delta s/n 21705 Ejido Nuevo León, Baja California, México.

² Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Km.17.5. Carretera Culiacán. El dorado. 80000, Culiacán, Sinaloa.

^{*}Autor por correspondencia (jfponce8@hotmail.com).

FE DE ERRATAS

Revista Fitotecnia Mexicana, Vol. 36(2):181-182

En el manuscrito ‘Galia F-2011’, variedad de trigo harinero para el valle de Mexicali, B.C. y San Luis Río Colorado, Son., México, el orden de autores aparece como: Rosario E. Rodríguez-González, Alejandro M. García-López, J. José Paz-Hernández, Javier Porras-Medrano, J. Francisco Ponce-Medina^{*}, Faviola Noris-Robles, Manuel Cruz-Villegas y Leopoldo Partida-Ruvalcaba.

El orden de autores debe ser: J. José Paz- Hernández, Javier Porras-Medrano, J. Francisco Ponce-Medina^{*}, Faviola Noris-Robles, Alejandro M. García- López, Manuel Cruz-Villegas, Rosario E. Rodríguez-González y Leopoldo Partida-Ruvalcaba.

¹Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California.

Carretera a Delta s/n. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California. Tel:

(686) 523-00-79. ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. km 17.5 Carretera Culiacán-El dorado. 80000, Culiacán, Sinaloa.

^{*}Autor para correspondencia (jfponce8@hotmail.com)

En el Estado de Baja California, el Valle de Mexicali es la zona de mayor producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) pues en los últimos 10 años se ha sembrado un promedio de 80 000 ha por año (SIAP, 2011), de las cuales 20 % corresponde a trigos harineros (grupos I y II). Sin embargo, las empresas panificadoras a nivel nacional importan grano de gluten fuerte para satisfacer la demanda, y han mostrado interés en variedades de trigo con alto contenido de proteína en la harina, con fuerza y estabilidad de amasado, entre otras características reológicas (Peña *et al.*, 2008). En general, los altos rendimientos y la buena calidad panadera son características deseables en el mercado actual de trigo (Luo *et al.*, 2000). Por ello fue necesario crear una variedad que cumpliera las expectativas del productor (de alto rendimiento) y las de la industria panadera (en propiedades reológicas), que ofreciera ventajas sobre las variedades más sembradas en el Noroeste de México. El programa de mejoramiento inició en el ciclo agrícola otoño-invierno de 2004-2005 en el ejido Chiapas II, del Valle de Mexicali, Baja California; y culminó con la liberación de la variedad ‘Galia F-2011’. Esta variedad, cuyo hábito de crecimiento es de primavera, fue producto de la cruce simple Bo/Rabe/Oasis y selección posterior por pedigrí (Souza y Sorrells, 1989). Dentro de la población F₂ se seleccionaron las plantas sobresalientes, con base en su capacidad de amacollamiento, precocidad, tamaño de espiga, tolerancia a la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks) y a la roya lineal o amarilla (*Puccinia striiformis* West), resistencia al desgrane y acame, alto potencial de rendimiento y calidad para la industria panadera. A partir de la F₄ se aplicó el esquema de planta/surco en los campos experimentales de TRIDEGEN, localizados en los ejidos Janitzio, Chiapas II y Mezquitil, en el Valle de Mexicali, Baja California en México. Su número de cruzamiento e historial de selección es CTRIDEGEN200501S-24MXL-08MXL-10MXL-OM.

Las generaciones avanzadas se obtuvieron en diversos ciclos agrícolas del Valle de Mexicali, Baja California (32° 40’ LN, 114° 45’ LO) donde el clima es de tipo desértico (García, 1973), en condiciones de riego por

gravedad. Los ensayos de rendimiento se realizaron en los ciclos agrícolas 2009-2010 y 2010-2011, en ocho localidades del Valle de Mexicali, Baja California y de San Luis Río Colorado, Sonora. Las localidades de prueba contrastaron en tipo de suelo, fecha de siembra, densidad de siembra, número de riegos de auxilio, calidad del agua, método de siembra, entre otras, con la finalidad de evaluar la adaptación de la nueva variedad a diferentes condiciones ambientales y manejo agronómico. En las evaluaciones reológicas para determinar la calidad, se aplicaron los métodos oficiales (Método 54-21: Método (54-30) de la Asociación Americana de Químicos de cereales (AACC, 1984). El testigo comercial fue la variedad ‘Cachanilla F-2000’, la más sembrada en el Valle con aproximadamente 50 % del total de los trigos harineros (SAGARPA, 2009). Las características fenotípicas más importantes de ‘Galia F-2011’, de acuerdo con los lineamientos de la Unión Internacional para la Protección de Nuevas variedades de Plantas (UPOV, 1994), son los siguientes: Hábito de crecimiento de primavera; tallo erecto; muy baja frecuencia de hoja bandera curvada; la vaina de la hoja bandera presenta glaucosidad media y los tallos son de color blanco con médula delgada en la sección transversal. ‘Galia F-2011’ es más tardía que ‘Cachanilla F-2000’, por lo que se recomienda sembrarla durante el mes de noviembre. El espigamiento y la madurez fisiológica de ‘Galia F-2011’, puede ocurrir entre 100 a 105 d y entre 136 a 142 d después de la siembra, respectivamente, según la fecha de siembra y el manejo agronómico que se aplique. Su espiga presenta un perfil fusiforme con densidad y longitud media, sin incluir las aristas, y al madurar es de color blanco (Figura 1); la punta de la gluma inferior es corta y recta, y el hombro presenta una forma inclinada y estrecha. Las aristas también son blancas a la maduración. El grano es blanco de forma ovoide y su coloración al ser tratado con fenol es de intensidad media. ‘Galia F-2011’ presenta resistencia a la roya lineal o amarilla y a la roya de la hoja. 182.

Durante el periodo de evaluación en las ocho localidades, localizadas entre el Valle de Mexicali, B. C. y San Luis Río Colorado, Son., durante dos ciclos agrícolas en el Ciclo 2009-2010 (Ejido Lagunitas, Son., Ejido Tabasco, Ejido Chiapas II, y Colonia Progreso) y en el Ciclo 2010-2011 (Ejido Tabasco, Ejido Guerrero, Colonia Colorado VII, y Colonia Zaragoza), el rendimiento medio de grano de ‘Galia F-2011’ fue casi 500 kg ha⁻¹ mayor que el de ‘Cachanilla F-2000’ (6730 vs. 6270 kg ha⁻¹), con 1.18 % más de proteína cruda en harina (12.79 vs. 11.61 %) y más fuerza del gluten (509 x 10⁻⁴J vs. 339 x10⁻⁴), lo que significa una gran ventaja sobre la variedad testigo porque la industria harinera prefiere las harinas del grupo I con mayor fuerza. El tiempo de amasado de ‘Galia F-2011’ fue también mayor que el de ‘Cachanilla F-2000’ (42 vs. 17.4 min). En conclusión, ‘Galia F-2011’ ha demostrado gran adaptación a diferentes condiciones ambientales y manejo agronómico en el Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, donde ha producido mayor rendimiento de grano y mayor calidad industrial que el testigo. Esta nueva variedad se pone a disposición de los productores como alternativa para incrementar la producción de trigos harineros en la región. El número de registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) es TRI-129-0103. La venta de la semilla estará disponible en la empresa Trigosa S.A. de C.V. en Mexicali, Baja California. Para el ciclo O. I. 2012 se sembraron 3500 ha. Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo recibido para la realización de este proyecto en la Convocatoria de Nuevos Negocios (Proyecto 125880).

BIBLIOGRAFÍA

- AACC, American Association of Cereal Chemists (1984)** Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. 8th ed. St. Paul, Min. U.S.A. s/p.
- García E (1973)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F. 246 p.
- Luo C, G Branlard, W B Griffin, D L McNeil (2000)** The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. J. Cereal Sci. 31:185-194.
- Peña-Bautista J, P Pérez-Herrera, E Villaseñor-Mir, M Gómez-Valdez, M Mendoza-Lozano (2008)** Calidad de la Cosecha de Trigo en México. Disponible en: <http://books.google.com.mx>
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2009).** Disponible en: <http://www.oeidrus-bc.gob.mx>.
- Souza E, M E Sorrells (1989)** Pedigree analysis of North American oat cultivars released from 1951 to 1985. Crop Sci. 29:595-601.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2011)** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (Septiembre 2011).
- UPOV, International Union for the Protection of new Varieties of Plants (1984).** Disponible en: http://www.upov.int/index_en.html (Septiembre 2011).

LINEA #3(Galia F-2011)
EJ.CHIAPAS LOTE # 42 ,Valle de Mexicali



CONTENIDO DE GLUTEN EN GENOTIPOS SOBRESALIENTES DE TRIGO

(*Triticumaestivum*L.)EN MEXICALI

GLUTEN CONTENT IN OUTSTANDING GENOTYPES OF WHEAT

(*Triticumaestivum*L.)IN MEXICALI

Faviola Noris-Robles¹, Juan Francisco Ponce-Medina¹, Patricia Isabel Torres-Chávez², Juan José Paz-Hernández¹, Rosario Esmeralda Rodríguez-García¹, Manuel Cruz-Villegas¹, Leopoldo Partida-Ruvalcaba³, Carlos Enrique Ail-Catzim¹y Alejandro Manelik García-López^{1§}.

¹Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. C. P. 21705. Tel y Fax: 01 686 5230079 (faviola_noris_robles@hotmail.com; yani1953@hotmail.com; jfponce8@hotmail.com; mcruz1410@hotmail.com; emeraldarg5@hotmail.com). ²Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. C. P. 83000. Tel y Fax: 01 662 2592207 (pitorres@guayacan.uson.mx). ³Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. C. P. 80000. Tel y Fax: 01 667 8461084 (parpolo@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: amgarcial@yahoo.com.mx.

RESUMEN

Se evaluó el contenido de las fracciones proteicas del gluten (subunidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular, y subclases de gliadinas, (ω -, α + β - y γ) en cinco líneas avanzadas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (línea 3, 5, 6, 23 y 24) y una variedad comercial (Cachanilla F-2000) en tres ambientes: Colonia Progreso (CP), Ejido Chiapas (EC), y Ejido Tabasco (ET), del Valle de Mexicali, México. La extracción de gliadinas y gluteninas se realizó con propanol (50%) sin y con el compuesto reductor beta

mercaptoetanol y el análisis mediante la técnica de RP-HPLC. Se realizó un análisis estadístico individual y combinado para cada una de las fracciones proteicas con tres repeticiones de los genotipos utilizados por tratamiento, así como pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) para clasificar a los mejores materiales. El contenido de las subunidades de peso molecular alto (SGAPM) y de las de peso molecular bajo (SGBPM) fue influenciada por el genotipo, excepto en la línea 3 y 6, con menor cantidad de SGAPM en EC (29.82 % y 30.89 % respectivamente), en el ambiente EC la línea 3 presentó mayor cantidad de SGBPM (70.18 %) y en ET la línea 6 (62.14 %) fue mayor. Las fracciones de gliadinas (ω , α , β , y γ - gliadinas) mostraron alta variabilidad en contenido en los ambientes evaluados, las líneas sobresalientes con respecto al control de acuerdo al contenido de γ -gliadinas fueron en CP: línea 24 (13.83 %), EC: línea 3 (16.54 %), ET: línea 3 (13.74 %). Las líneas 5, 23 y 24 no mostraron diferencia bajo las condiciones ambientales evaluadas, en la proporción de SGAPM, SGBPM y γ - gliadinas.

Palabras claves: *Triticum aestivum* L., gliadinas, gluteninas.

ABSTRACT

Content of gluten proteins fractions (high and low molecular weight glutenin subunit, and ω -, $\alpha+\beta$, and γ - gliadins) in five bread wheat (*Triticum aestivum* L.) advanced lines (3, 5, 6, 23 and 24 lines names) and one commercial (Cachanilla F-2000) in three growing conditions: Colonia Progreso (CP), Ejido Chiapas (EC) and Ejido Tabasco (ET), in Mexicali Valley were evaluated. Gliadins and glutenins extraction was made by organic solvents and RP-HPLC. Individual and combine statistical analysis was done for each protein fractions, three replicates of the genotypes were used by treatment, also comparison means Tukey test ($\alpha = 0.05$) to classification of the best genotypes. High and low molecular

weight glutenin subunits amounts were influenced by genotype, except in 3 and 6 lines, with less quantity of high molecular weight glutenin subunits in EC (29.82 % y 30.89 % respectively), in EC the line 3 had Higher amount of low molecular weight glutenin subunits (70.18 %) in ET line 6 (62.14 %) was higher. ω -, α + β -, and γ -gliadins fractions shown high variability in the growing conditions evaluated, the best lines with respect to γ -gliadins content in CP were: 24 line (13.83 %), EC: 3 line (16.54 %), ET: 3 line (13.74 %). 5, 23 and 24 lines did not have difference under the three growing conditions.

Key words: *Triticumaestivum* L., gliadins, glutenins.

INTRODUCCIÓN

El Valle de Mexicali es uno de los principales productores de trigo aportando 527, 768 Ton en el año 2008 (SIAP, 2010), del total de trigo que se produce solo el 14.53 % (76,709 Ton) pertenece a variedades de trigo fuerte, este trigo es destinado a panificación y es aceptado en la industria siempre que cumpla con características de calidad.

Definir calidad de trigo resulta complejo debido a que es enfocado desde diferentes aspectos por productores, molineros, panaderos y consumidores (Mladenovet *al.*, 2001).

Los productores están principalmente concentrados en el rendimiento, resistencia a enfermedades, y en satisfacer los requerimientos de calidad que les imponen los molineros (Mladenovet *al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2006), para los molineros el contenido de extracción es prioritario. Consideran sanidad del grano, y sus características físicas, como peso hectolitro, tamaño del grano, peso, dureza y rendimiento potencial de la harina, más los parámetros de calidad que le podrían exigir los panaderos.

La perspectiva del panadero está relacionado con las propiedades de la harina como contenido de proteína, absorción de agua, tiempo del mezclado, tolerancia al mezclado

fermentación, volumen potencial del pan. Muchas de estas propiedades dependen de la cantidad como calidad de las proteínas (Islas *et al.*, 2005).

Las proteínas del grano se clasifican en base a su función biológica en metabólicas, estructurales y proteínas de reserva; a su vez, las proteínas de reserva se dividen en dos grandes grupos: gliadinas y gluteninas. Las gliadinas son proteínas monoméricas de tamaño mediano (28-55kDa) que forman una mezcla heterogénea de cadenas polipeptídicas simples, y se clasifican en α , β , γ y ω -gliadinas (Wrigley y Békes, 1999; Cherian y Chinachoti, 1996), las gluteninas son proteínas poliméricas formadas por subunidades unidas por enlaces disulfuro y estas se clasifican en subunidades de alto y bajo peso molecular (alrededor de 80 y 33 kDa, respectivamente) y forman grandes agregados (Wieser *et al.*, 2008). Estas propiedades estructurales hacen que las proteínas de reserva formen una red de proteína llamada gluten, donde son hidratadas durante el amasado, contribuyendo de esta forma las características reológicas de la masa. La capacidad de la formación del gluten es una característica que confiere a la masa las características necesarias para panificación. Las gliadinas hidratadas principalmente contribuyen a la extensibilidad y viscosidad. Las gluteninas hidratadas son cohesivas y elásticas, responsables de la fuerza y elasticidad de las masas (D'Ovidio y Masci, 2004; Wieser, 2007).

Por lo tanto la calidad de proteína del trigo está determinada por la composición de las fracciones de proteínas que componen al gluten (Gianibelli *et al.*, 2001; De la O *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2012).

La calidad como la cantidad de las proteínas del trigo está relacionada con el genotipo y factores ambientales, como la fertilización, temperatura, riegos (Dupont y Altenbach, 2003;

Johansson et al., 2003; Rharrabti et al., 2003; Guttieri et al., 2005; Fuertes-Mendizábal et al., 2010; Caffè-Treml et al., 2011). El genotipo, es la principal influencia en la calidad de las proteínas del gluten (Souza et al., 2004); sin embargo, los factores antes mencionados tienen influencia sobre la variedad para contrarrestar estos efectos es necesario el desarrollo de genotipos que tengan tolerancia a estos efectos, existe evidencia de que líneas que poseen el alelo Glu-D1d (subunidad de gluteninas de alto peso molecular 5+10) tienden a ser mas tolerantes al estrés por calor que las líneas que poseen el alelo Glu-D1a (subunidades de gluteninas de alto peso molecular 2+12) (Irmak et al. 2008), otros estudios han revelado la gran influencia del ambiente, donde han encontrado que cuando hay una fertilización rica en azufre, la fracción rica en gliadinas es mayor (De la O et al. 2010), y cuando se incrementa la concentración de nitrógeno la proporción de ω - gliadinas incrementa, α - β - disminuye y la proporción de γ -gliadinas se mantiene estable (Daniel y Tribioi 2000), cuando hay un riego limitado y aumento de temperaturas durante el llenado de grano se obtiene un incremento de la fracción rica en gluteninas (De la O et al. 2010), y de esta fracción rica en gluteninas, las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (SGAPM) aumentan con respecto a las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (SGBPM) cuando hay un déficit de agua (Panozzo et al., 2001).

En la actualidad la industria moderna de panificación requiere altos niveles de uniformidad en la calidad de trigo (Finlay et al., 2007), es por ello importante el desarrollo de nuevas variedades que presenten mayor estabilidad a diferentes ambientes, al mismo tiempo que supere la calidad de las variedades de trigos existentes en el mercado.

El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos sobresalientes de 5 líneas derivadas de cruza entre variedades de diferentes grupos de calidad, en 3 ambientes diferentes del Valle

de Mexicali México, evaluando el contenido de cada una de las fracciones de proteínas que componen al gluten de las harinas de trigo (ω -, α + β , y γ -gliadinas, SGAPM y SGBPM).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales fueron donados por la empresa Trigos Desarrollo Genético (TRIDEGEN S.A. de C.V.), el objetivo de esta empresa es desarrollar variedades de trigos harineros de alto rendimiento y calidad demandada por la industria harinera. Se utilizaron 5 líneas avanzadas las cuales se identificaron con los siguientes nombres: línea 3, 5, 6, 23, y 24, estas fueron comparadas con la variedad comercial: Cachanilla F-2000, en 3 ambientes (cuadro 1)

Cuadro 1. Características de los ambientes empleados (O.I. 2009-2010)

	Ejido Tabasco (ET)	Ejido Chiapas (EC)	Colonia Progreso (CP)
Suelo	% de saturación: 42 (suelo limo)	% de saturación: 35 (suelo areno limoso)	% de saturación: 68 (suelo arcilloso)
Fertilización	250-150-00	250-100-00	174-78-00
Fecha de siembra	15 de diciembre	12 de diciembre	19 de enero
Número de riegos	4 riegos	4 riegos	2 riegos

Obtención de la harina

El trigo se limpió, se acondicionó a un 16.5 % de humedad y se dejó reposar por 24 h, posteriormente se llevó a cabo la molienda, una vez obtenida la harina se realizaron los análisis de las fracciones de proteínas.

Análisis de gliadinas y gluteninas por RP-HPLC

Extracción de gliadinas

Para la extracción de gliadinas se empleó la metodología descrita por Bietz et al. (1984). La cual parte de 250 mg de harina y se le agregó 1 mL de una solución de etanol/agua al 70 %, posteriormente se agitó con vortex por 30 min y después se llevó a cabo una centrifugación por 25 min a 15,000 x *g* para posteriormente ser analizada por RP-HPLC.

Separación de las fracciones de gliadinas mediante RP-HPLC

Para la separación de proteínas en RP-HPLC se utilizó una columna ZORBAX 300SB-CN, tamaño de poro de 30.0 nm, 4.6 mm de diámetro, 150 mm de longitud y un tamaño de partícula de 5 µm (marca Agilent). Se usó un gradiente en pasos y una fase móvil de acetonitrilo (ACN) y agua con 0.1 % de ácido trifluoroacético (TFA), el volumen de inyección fue de 10 µL y el flujo de 0.5 mL·min⁻¹ a 65 °C por 71 min, el gradiente inició con 25 % de ACN con 0.1 % de TFA, aumentando a 33 % por 10 min, posteriormente a 40 % por 10 min, y después 50 % por 40 min, manteniendo la misma concentración por 8 min más; por último se llevó un lavado por 3 min con 100 % de ACN y después se tomaron las condiciones iniciales. El tiempo de equilibrio entre inyecciones fue de 10 min y la lectura a 210 nm. Se utilizó el programa VarianStar, versión 5.5, para la integración de los picos y se obtuvo como resultado las áreas de los picos en unidades de Absorbancia (UA).

Extracción de gluteninas

Para la extracción de gluteninas se siguió la metodología descrita por Bean et al., (1998) con algunas modificaciones, a 250 mg de harina se le agregaron 950 µL de 1-propanol al 50 % y 50 µL de 2-mercaptoetanol, se agitó con vortex por 1 h y se centrifugó por 15 min a 15, 000 x g antes de su análisis por RP- HPLC.

Separación de las fracciones de gluteninas mediante RP-HPLC

El equipo, la columna y las fases móviles fueron las mismas que se utilizaron para el análisis de gliadinas. El gradiente en pasos inició con 23% de ACN con 0.1 % de TFA aumentando a 33 % por 5 min, después a 43 % por 30 min, posteriormente 55 % en 1 min y siguió aumentando hasta 58 % en 14 min, manteniendo la misma concentración por 2 min más; por último se lavó con 100 % de ACN por 3 min y después se regresó a las condiciones iniciales. El tiempo de equilibrio entre inyecciones fue de 10 min, la temperatura 50 °C, el volumen de inyección fue de 10 µL y la lectura se llevó a cabo a 210 nm (Noris, 2007). Se utilizó el programa VarianStar, versión 5.5, para la integración de los picos y se obtuvo como resultado las áreas de los picos en Unidades de Absorbancia (UA).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico individual y combinado para cada una de las variables señaladas anteriormente con tres repeticiones por tratamiento, así como pruebas de comparación de medias para clasificar a los mejores materiales. El modelo estadístico para los análisis individuales es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta en harina del i -ésimo genotipo en la j -ésima observación.

μ = Media poblacional

T_i = Efecto de la variable respuesta en harina del i -ésimo genotipo

ε_{ij} = Error experimental

El modelo estadístico para el análisis combinado es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Para clasificar a los mejores genotipos se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de probabilidad de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gluteninas

Al evaluar el contenido de SGAPM de las líneas experimentales y compararlas con el control (Variedad Cachanilla) dentro de un mismo ambiente, no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$); sin embargo, al evaluar cada una de las líneas experimentales en los 3 ambientes, hubo diferencias en la línea 3 y 6 mostrando mayor cantidad en CP y ET (cuadro 2). El déficit de agua y temperaturas altas durante el llenado del grano causan un alto nivel de agregación de las gluteninas (Flagella et al. 2010), la fecha de siembra del ambiente CP fue tardía lo que significa que la temperatura del llenado del grano fue mas alta que el ambiente EC y como respuesta un mayor contenido de SGAPM, por otro lado Panozzo et al (2001) encontraron un incremento en la proporción de SGAPM bajo un déficit de agua, estos resultados concuerdan con los encontrados por este estudio, CP presentó un alto contenido de SGAPM y puede atribuirse a que en este ambiente hubo un déficit de agua (solo 2 riegos). La fertilización es otro factor ambiental muy importante; se

ha reportado que al suplementar nitrógeno después de la antesis, las fracciones de SGAPM incrementan en relación a las SGBPM (DuPont et al., 2007), aunque en este estudio la cantidad de nitrógeno suministrada fue mayor para EC (250 kg), que para CP (174 kg) el tipo de suelo que presenta este ambiente es de una textura arcillosa lo que indica que hay una mayor retención de nitrógeno disponible para la planta.

Cuadro 2. Porcentaje de Gluteninas de Alto Peso Molecular (SGAPM) de 6 genotipos evaluados en 3 localidades en el Distrito de riego 014 del Valle de Mexicali.

Genotipo	SGAPM (%)		
	CP	EC	ET
Línea 3	37.07 ^{ab}	29.82 ^d	38.08 ^{ab}
Línea 5	34.30 ^{abcd}	34.45 ^{abcd}	37.17 ^{ab}
Línea 6	32.76 ^{bcd}	30.89 ^{cd}	37.85 ^{ab}
Línea 23	35.89 ^{abc}	34.91 ^{abcd}	36.91 ^{ab}
Línea 24	36.01 ^{abc}	34.93 ^{abcd}	38.14 ^{ab}
Cachanilla	39.16 ^a	33.52 ^{abcd}	35.53 ^{abcd}

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) para SGAPM.

SGAPM: Subunidades de gluteninas de alto peso molecular; CP, EC, ET: Localidades; Línea 3, línea 5, línea 6, línea 23, línea 24, cachanilla: Genotipos.

Al evaluar el contenido de las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (SGBPM), la línea 3 y 6 mostraron alto contenido en el ambiente EC, contrario a las GAPM era de esperarse debido a que el contenido de gluteninas está de forma porcentual, de manera

general el contenido de gluteninas (SGAPM y SGBPM) esta influenciado más por el genotipo que por el ambiente, debido a que solo un ambiente mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en 2 líneas (3 y 6), esto concuerda con Panozzo y Eagles (2000), quienes concluyeron que la proporción de gluteninas dependía del genotipo y la proporción de gliadinas de las condiciones ambientales. En las líneas 5, 23 y 24 no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$), estas líneas experimentales presentan más estabilidad a los ambientes, lo que es una característica deseable para las nuevas variedades en el mercado (Finlay et al., 2007).

Gliadinas

Las gliadinas tienen una composición heterogénea: 4 subclases α -, β -, γ - y ω - gliadinas (Daniel y Triboi, 2000). En este estudio se analizaron las fracciones de gliadinas de las líneas experimentales y al evaluar el porcentaje de ω -gliadinas se encontró que las líneas 6, 23 y 24 fue mayor que las 3, 5 y el control en el ambiente CP, en el EC todas las líneas experimentales fueron altas comparadas con el control, excepto la línea 3, mientras que en el ambiente ET el mayor porcentaje fue para 5, 23 y 24 (cuadro 3). Al comparar cada una de las líneas experimentales en los 3 ambientes se encontró que en la CP hay mayor contenido de ω -gliadinas (cuadro 3), esta fracción de gliadinas tiende a aumentar cuando hay un incremento en la temperatura ambiental (Daniel y Triboi, 2000), en CP la fecha de siembra fue más tarde que en el EC y ET, lo que significa que la temperatura durante el llenado de grano es más alta que las dos anteriores.

Cuadro 3. Porcentaje de ω -gliadinas de 6 genotipos evaluados en 3 localidades en el Distrito de riego 014 del Valle de Mexicali

Genotipo	ω-gliadinas (%)		
	CP	EC	ET
Línea 3	16.87 ^{lgh}	11.63 ^j	14.83 ^{hi}
Línea 5	17.69 ^{defg}	17.05 ^{fgh}	18.53 ^{cdefg}
Línea 6	21.38 ^b	17.18 ^{defgh}	16.31 ^{ghi}
Línea 23	22.06 ^b	14.72 ^{hi}	19.94 ^{bcd}
Línea 24	25.77 ^a	16.86 ^{fgh}	22.05 ^b
Cachanilla	17.09 ^{efgh}	11.82 ^j	13.69 ^{ij}

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) para ω -gliadinas;

CP, EC, ET: Localidades; Línea 3, línea 5, línea 6, línea 23, línea 24, cachanilla: Genotipos.

La línea 6, 23 y 24 presentaron diferencia significativa, presentando menor porcentaje de α + β -gliadinas en el ambiente CP que EC y ET. Al comparar las líneas en el mismo ambiente con el control, las líneas que presentaron menor porcentaje fueron en la CP: 6, 23 y 24; en el EC: 3, 5 y 24 y en el ET: línea 24 (cuadro 4). En un estudio realizado por Daniel y Triboi (2000) encontraron que las α + β -gliadinas aumentan con una concentración mayor de nitrógeno y había un decremento cuando las temperaturas eran altas, esto concuerda con lo encontrado en este estudio ya que en CP se encontró menor cantidad de la proporción de α + β -gliadinas en la mayoría de las líneas experimentales (6,23 y 24), en el ambiente CP la

fecha de siembra fue tardía, lo que implica más temperatura durante el llenado del grano, y la concentración de nitrógeno suministrada fue menor que los otros ambientes.

Cuadro 4. Porcentaje de α + β -gliadinas de 6 genotipos evaluados en 3 localidades en el Distrito de riego 014 del Valle de Mexicali

Genotipo	α + β -gliadinas (%)		
	CP	EC	ET
Línea 3	71.08 ^{defgh}	71.82 ^{cdefg}	71.42 ^{cdefgh}
Línea 5	70.35 ^{defgh}	71.09 ^{defgh}	69.12 ^{fghij}
Línea 6	66.65 ^{ijkl}	73.54 ^{abcd}	74.95 ^{abc}
Línea 23	65.80 ^{ijkl}	73.36 ^{abcde}	69.77 ^{efghi}
Línea 24	60.38 ^m	69.18 ^{fghij}	65.09 ^{kl}
Cachanilla	72.19 ^{bcdef}	76.02 ^a	75.73 ^{ab}

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) para α + β -gliadinas; CP, EC, ET: Localidades; Línea 3, línea 5, línea 6, línea 23, línea 24, cachanilla: Genotipos.

El porcentaje de γ -gliadinas presentó una variabilidad en las líneas 3 y 6; con mayor contenido en el EC para la línea 3 y mayor contenido en la CP para la línea 6, al comparar las líneas con el control dentro de un mismo ambiente se encontró que línea 3 presentó mayor cantidad de γ -gliadinas en los ambientes EC y ET (cuadro 5), mientras que en la CP hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) en línea 24 comparada con el control, presentando mayor proporción en la línea experimental (línea 24), las γ -gliadinas están relacionadas con el

volumen del pan (Huebner et al., 1997) lo que implica que mayor cantidad mayor será el volumen del pan y por lo tanto estas líneas tendrán mejor calidad.

Cuadro 5. Porcentaje de γ -gliadinas de 6 genotipos evaluados en 3 localidades en el Distrito de riego 014 del Valle de Mexicali

Genotipo	γ -gliadinas (%)		
	CP	EC	ET
Línea 3	12.04 ^{bcdef}	16.54 ^a	13.74 ^{ab}
Línea 5	11.95 ^{bcdef}	11.85 ^{bcdef}	12.33 ^{bcde}
Línea 6	11.96 ^{bcdef}	9.27 ^{fg}	8.73 ^g
Línea 23	12.13 ^{bcdef}	11.91 ^{bcdef}	10.28 ^{defg}
Línea 24	13.83 ^{ab}	13.94 ^{ab}	12.85 ^{bcde}
Cachanilla	10.70 ^{cdefg}	12.14 ^{bcdef}	10.57 ^{cdefg}

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) para γ -gliadinas; CP, EC, ET: Localidades; Línea 3, línea 5, línea 6, línea 23, línea 24, cachanilla: Genotipos.

CONCLUSIONES

Las fracciones de SGAPM y SGBPM estuvieron fuertemente influenciadas más por el genotipo que por el ambiente, solo el EC presentó menor cantidad de SGAPM para las líneas 3 y 6, mientras que la mayor cantidad de GBPM la presentó; línea 3 en EC, línea 6 en CP y EC. Las líneas 5, 23 y 24 se comportaron estables bajo los tres ambientes evaluados.

Las fracciones de gliadinas (ω , α , β , y γ - gliadinas) mostraron una gran variabilidad en los 3 ambientes evaluados, las líneas sobresalientes con respecto al control de acuerdo al contenido de γ -gliadinas fueron en CP: línea 24, en EC: línea 3, en ET: línea 3, sin embargo al comparar cada una de las líneas en los diferentes ambientes para γ -gliadinas la línea 5, 23 y 24 se mantuvieron estables, estas líneas pueden ser una opción para la demanda de la industria mecanizada de panificación quienes exigen uniformidad de calidad de las harinas.

LITERATURA CITADA

- Bean, S.; Lyne, R. K.; Tilley, A. K.; Chung, O. K. and Lookhart, G. L. 1998. A rapid method for quantitation of insoluble polymeric proteins in flour. *Cereal Chemistry* 75:374-379.
- Bietz, J. A.; Burnouf, T.; Cobb, L. A. and Wall, J. S. 1984. Wheat varietal identification and genetic analysis by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Cereal Chemistry* 61:129-135.
- Caffe-Treml, M.; Glover, K.D.; Krishnan, P.G.; Hareland, G.A.; Bondalapati, K. D. and Stein. J. 2011. Effect of wheat genotype and environment on relationships between dough extensibility and bread making quality. *Cereal Chemistry* 88:201-208.
- Cherian, G., and Chinachoti P. 1996. ^2H and ^{17}O nuclear magnetic resonance study of water in gluten in the glassy and tubbery state. *Cereal Chemistry* 73:618
- Daniel, C. and Triboi, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science* 32:45-56.
- De la O, M.; Rangel, E. E.; Villaseñor, H. E.; Molina Galán, J. D.; López, H.; Santa Cruz, A. y Peña, R. J. 2010. Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos

- influenciados por factores ambientales y genotípicos. *Pesq.Agropec.Bras.*, Brasília 45:989-996.
- Díaz, D. P.; Dalla, R. M.; Vázquez, D. y Castro, M. 2006.Elemento de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *Agriculturatécnica*66(4): 360-369.
- D'Ovidio, R. and Masci, S. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *Journal Cereal Science* 39:321-339.
- DuPont, F. M. and Altenbach, S. B. 2003.Molecular and biochemical impacts of environmental factorson wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38:133-146.
- DuPont, F. M. and Chan, R. 2007.Molar fractions of high-molecular-weight glutenin subunits are stable when wheat is grown under various mineral nutrition and temperature regimens *Journal of Cereal Science* 45:134-139.
- Finlay, G.J.; Bullock, P.R.; Sapirstein, H.D.; Naeem, H.A.; Hussain, A.; Angadi, S.V. and DePauw, R.M. 2007.Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of western Canadian spring Wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 87:679-690.
- Flagella Z.; Giuliani, M. M.; Giuzio; L.; Volpi, C. and Masci, S. 2010. Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality.*Europ. J. Agronomy* 33:197-207.
- Fuertes-Mendizábal, T.; Aizpurua, A.; González-Moro, M.B. and Estavillo, J.M. 2010.Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate.*Europ. J. Agronomy* 33:52-61.

- Gianibelli, M.C.; Larroque, O. R.; MacRitchie, F. and Wrigley, C.W. 2001. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chemistry* 78(6):635-646.
- Guttieri, M.J.; McLean, R.; Stark, J.C. and Souza, E. 2005. Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheats for optimum bread and noodle quality. *Crop Science* 45:2049-2059.
- Huebner, F. R.; Nelsen, T. C.; Chung, O. K. and Bietz, J. A. 1997. Protein distributions among hard red winter wheat varieties as related to environment and baking quality. *Cereal Chemistry* 74:123–128.
- Irmak S.; Naeem, H. A.; Lookhart, G. L. and MacRitchie, F. 2008. Effect of heat stress on wheat proteins during kernel development in wheat near-isogenic lines differing at Glu-D1. *Journal of Cereal Science* 48:513-516.
- Islas, R. A.; Macritchie, F.; Gandikota, S.; Hou, G. 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista fitotecnica Mexicana* 28(3):243-251
- Johansson, E.; Prieto-Linde, M. L.; Svensson, G. and Jönsson, J. Ö. 2003. Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and amount and size distribution of mono- and polymeric proteins in wheat. *Journal Agricultural Science* 140:275-284.
- Mladenov, N.; Przulj, N.; Hristov, N.; Djuric, V. and Milovanovic, M. 2001. Cultivar-by-environment interactions for wheat quality traits in semiarid conditions. *Cereal Chemistry* 3(78): 363-367.

- Panozzo, J. F. and Eagles, H. A. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. Australian Journal of Agricultural Research 51:629-636.
- Panozzo, J. F.; Eagles, H. A. and Wootton, M. 2001. Changes in protein composition during grain development in wheat. Australian Journal of Agricultural Research 52:485-493.
- Rharrabti Y.; Villegas D.; Royo C.; Martos-Núñez V.; García del Moral, L. F. 2003. Durum quality in Mediterranean environment II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. Field Crop Research 80: 133-140
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Producción Anual. <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1043&tipo=1> (Consultado en noviembre de 2010).
- Souza, E.J.; Martin, J.M.; Gutieri, M.J.; O'Brien, K.M.; Habernicht, D.K.; Lanning, S.P.; McLean, R.; Carlson, G.R and Talbert, L.E. 2004. Influence genotype, environment and nitrogen management on spring wheat quality. Crop Science 44:425-432.
- Vazquez, D.; Berger, A. G.; Cuniberti, M.; Bainotti, C.; Zavariz de Miranda, M.; Scheeren, P. L.; Jobet, C.; Zúñiga, J.; Cabrera, G.; Verges, R. and Peña, R. J. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. Journal of Cereal Science 56:196-203.
- Wieser, H. 2007. Chemistry of gluten proteins. Food Microbiol 24:115-119.
- Wrigley, C. W and F. Bekes. 1999. Glutenin-protein formation during the continuum from anthesis to processing. Cereal Foods World 44(8): 562-565
- Wieser, H.; Manderscheid, R.; Erbs, M.; Weigel, H. J. 2008. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on the quantitative protein composition of wheat grain. Journal Agricultural food Chemistry 56(15): 6531-6535.