



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Productividad de híbridos varietales de maíz de
grano amarillo para condiciones de mediana
productividad en Valles Altos.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

Raymundo Guzmán Máximo

ASESORA: M.C. MARGARITA TADEO ROBLEDO
COASESOR. Dr. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, MARZO DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS:
SUPERIORES-CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos La Tesis:

Productividad de híbridos varietales de maíz amarillo para condiciones de mediana productividad de Valles Altos.

Que presenta el pasante: **RAYMUNDO GUZMÁN MÁXIMO**
Con número de cuenta: **40808869-7** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a09 de Marzo de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	M.C. Margarita Tadeo Robledo	
SECRETARIO	Dr. Job Zaragoza Esparza	
1er SUPLENTE	Ing. Aurelio Valdez López	
2do SUPLENTE	Dr. Carlos Gómez García	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

HHA/Vc

DEDICATORIA

Siempre habrá una esperanza de fe en que uno pueda confiar, y esta esperanza nos dará la oportunidad de rehabilitarnos, siempre y cuando uno quiera lograr el objetivo a alcanzar; esta fe es dedicada a nuestro señor Dios padre que día a día me motiva hacer aquello que no puedo o que deje de hacer por diferentes circunstancias. Agradezco por los días de vivencia y por aquellos momentos gratos y tristes que me has hecho pasar, porque solo a si he conocido la felicidad.

A mis padres que en las buenas y malas han estado con migo para alcanzar mis metas, y que es tanto para mí como para ellos un orgullo el verme titulado y seguir escalando aquella sima que sin lugar a duda es muy pronunciada, pero gracias a su apoyo llegue hasta donde ahora estoy..

Hermanos que quiera o no me han brindado su apoyo en el transcurso de toda mi formación escolar.

Sin lugar a duda no podrían faltar a amigos y compañeros que durante el trascurso de mi formación me hicieron ver debilidades y errores que presentaba, pero otras me dieron su apoyo y despertaron mis fortalezas.

Cada quien sabe y yo también lo sé, los momentos que pase con ellos unos días riendo, otros días pensando, conviviendo o hasta peleando, pero son momentos que siempre estarán marcados en mi mente, y habrá un momento para poder develarlos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de pertenecer y sentirme orgullosa de la máxima casa de estudios de nuestro país México.
“Por mi raza hablara el espíritu”

A la facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por albergar a una carrera como lo es Ingeniería Agrícola y que gracias a esta me ha enseñado a ver el mundo desde otra perspectiva y ver lo importante que es esta carrera no solo para México sino para el mundo.
“Sembrar semillas de conciencia, para cosechar nuevas sociedades”.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), IT201215, por otorgar los recursos económicos, para la realización de este trabajo de investigación.

A mis directores de Tesis M.C. Margarita Tadeo Robledo y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por ser profesores comprometidos por la carrera y brindarle el apoyo aquellos jóvenes que quieren graduarse y superarse. Gracias en especial por su apoyo, porque cuando tuve una duda o un problema no me dieron la espalda, por el contrario me dieron alas para poder superarlo y seguir siempre el camino.

A los profesores que tuve durante el trascurso de mi carrera porque del conocimiento de cada uno de ellos me enriquecí y de sus consejos me forje, con ellos pase gratos momentos alguna vez postre cabizbajo pero otros días entusiasmado por poder confiar en ellos y ellos en mi ignorancia y desconfianza.

Índice

	Página
Resumen	iii
Capítulo I Introducción.	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis	3
Capítulo II Revisión de Literatura	4
2.1 Origen	4
2.2 Fenología	4
2.3 Adaptación	5
2.4 Limitaciones climáticas para producción de maíz en México	6
2.5 Macroambientes de siembra con maíz en México	7
2.6 Valles Altos de México	8
2.7 Mejoramiento genético del maíz	8
2.8 Fines de la mejora genética del maíz	8
2.9 Maíz híbrido	9
2.10 Origen del maíz amarillo	15
2.11 Coloración del endospermo	16
2.12 Maíz amarillo para Valles Altos	17
2.13 Maíces amarillos generados en la UNAM	18
2.14 Antecedentes de variedades mejoradas	19
2.15 Antecedentes de variedades de maíz amarillo para Valles Altos	21
2.16 Producción, demanda y perspectivas en relación con maíz amarillo en México	22
2.17 Características y adaptación de los híbridos H-48 y H-33	23
2.18 Industrialización del maíz	24
Capítulo III Materiales y Métodos	27
3.1 Descripción de la zona de estudio	27
3.2 Condiciones climáticas	27
3.3 Material genético	27
3.4 Diseño experimental y análisis estadístico	28
3.5 Manejo agronómico	29

Capítulo IV	Resultados y discusión	32
Capítulo V	Conclusiones	35
Capítulo VI	Bibliografía	36

Índice de cuadros

N° de cuadro	Título de cuadro	Pág.
1	Características diferenciales del grano de maíz	17
2	Híbridos y variedades mejoradas de maíz desarrolladas para Valles Altos. SAGARPA-INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. 2010	20
3	Productividad de híbridos varietales y variedades de maíz amarillo de Valles Altos. Primavera - Verano 2012. UNAM <i>campus</i> Cuautitlán	28
4	Cuadros medios y significancia estadística para rendimiento (Kg ha^{-1}) y variables evaluadas en variedades de maíz de grano amarillo del INIFAP y UNAM y combinaciones con 2 cruza simples de maíz amarillo evaluadas en la UNAM <i>campus</i> Cuautitlán. Ciclo primavera-verano 2012.	32
5	Comparación de medias de variables evaluadas en quince genotipos (variedades, cruza simples y combinaciones), de maíz en la UNAM <i>campus</i> Cuautitlán. Ciclo primavera-verano 2012.	34

RESUMEN

México requiere 32.5 millones de toneladas de grano de maíz para cubrir su demanda aparente. Dado que se producen 22.5 millones de toneladas, cada año se importan diez millones de toneladas, por lo que se requiere incrementar la producción de maíz. De la superficie cultivada nacional, 1.5 millones se ubican en altitudes de 2,200 a 2,600 msnm, en los Valles Altos de la Mesa Central. De esta extensión 800 mil hectáreas se cultivan en temporal estricto, el cual generalmente se presenta en forma tardía, lo que limita la fecha de siembra y con ello la productividad del cultivo es limitada (1.2 t ha^{-1}), por el temporal deficiente y fecha de siembra tardía, que frecuentemente coincide con la incidencia de heladas tempranas. En la industria a partir del grano amarillo se genera almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol (jarabe), aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa, proteínas y sus aplicaciones. La situación anterior, puede ser aún más grave en un futuro, con la fuerte demanda para el uso de maíz en la elaboración de etanol en los EE. UU. El uso de semilla mejorada es un elemento clave en muchos países en desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción. Una opción para atender esta demanda y aminorar las dificultades por las condiciones limitantes del temporal, lo representa el uso de variedades de grano amarillo de ciclo corto, que aprovechen las condiciones agroclimáticas disponibles; para ello se desarrollaron en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM *campus* Cuautitlán), algunas variedades de maíz de grano amarillo, de ciclo precoz como Oro Ultra 3C, Oro Ultra 2C, Oro Plus 2D. En forma similar en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), los últimos años se promueven tres variedades de grano amarillo de ciclo precoz denominadas V-53 A, V-54 A, V-55 A. Se considera que una posibilidad para elevar el rendimiento de estas variedades de la FESC-UNAM y el INIFAP es combinarlas con una cruz simple, para obtener híbridos no convencionales, con facilidad para la producción de semillas, por ello, durante el ciclo primavera verano 2010, se obtuvieron combinaciones de algunas de estas variedades con dos cruces simples. En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos e hipótesis: 1. Determinar la capacidad productiva de un grupo de híbridos varietales de maíz de grano amarillo en fecha de siembra retrasada. 2. Definir el mejor híbrido varietal de maíz en características agronómicas y rendimiento y establecer su comparación con las variedades de grano amarillo en uso comercial referentes. 3. Establecer comparaciones de los híbridos varietales de grano amarillo con respecto a las variedades progenitoras, así como las

ventajas agronómicas. Las hipótesis fueron 1. Entre los híbridos varietales de maíz de grano amarillo existe alguno que supera a las variedades progenitoras comerciales en rendimiento y características agronómicas favorable. 2. Entre los híbridos varietales de maíz de grano amarillo existe alguno que supera a la variedad testigo comercial en rendimiento y características agronómicas favorable. La primera etapa de la investigación, se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2010, en el cual se efectuaron polinizaciones manuales, es decir cruzamientos para obtener semilla de combinaciones de híbridos no convencionales, en donde se emplearon dos variedades de polinización libre del INIFAP, V-54 A y V-55 A, ya inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), por el INIFAP y por lo tanto en uso comercial y también tres variedades de la FESC-UAM: Oro Ultra 2C, Oro Ultra 3 C y Oro Plus 2D. Variedades que se recomiendan en siembras retrasadas de mayo y hasta junio, ya que son precoces. Estas cinco variedades fueron combinadas con la crusa simple de grano amarillo denominada CS156, es decir se obtuvieron cinco híbridos no convencionales (CS156XV 54 A, CS156XV 55 A, CS156XOU2C, CS156XOU3C, CS156XOP2D), se incluyeron dos híbridos no convencionales más CS155 X V 54 A y CS155 X V 53 A, además de incluirse las cruza simples (CS156 y CS155) y las variedades (V 53 A, V 54 A, V-55 A, OU2C, OU3C, OP2D). Con la semilla obtenida, la segunda etapa se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2012: en el cual se estableció un experimento en la FESC, UNAM. En esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones En los cinco primeros lugares en rendimiento se ubicaron las combinaciones no convencionales CS156 x V 54 A (7,148 kg. ha⁻¹), CS156 x OU2C (6,334 kg. ha⁻¹), CS152 x V 53 A (6,082 kg. ha⁻¹), CS156 xV-55A (5,291 kg. ha⁻¹) y CS152 xV-54 A (5,120 kg. ha⁻¹). La mejor combinación no convencional fue la crusa simple x variedad, (CS156) x V 54 A (7,148 kg. ha⁻¹), que fue superior en rendimiento con respecto a cada uno de sus progenitores. En forma similar ocurrió con la crusa simple CS156 x OU2C (6,334 kg. ha⁻¹), la cual fue superior a cada uno de sus progenitores. Los resultados obtenidos señalan que se incrementa el rendimiento al cruzar las variedades mejoradas de grano amarillo con cruza simples, lo que representa una alternativa para ofrecer genotipos con mayor capacidad productiva manteniendo ciclo vegetativo y con facilidad para el abastecimiento de semilla de productores de maíz.

I. INTRODUCCIÓN

El campo mexicano cuenta potencialmente con los recursos para alimentar a un país de 150 millones de habitantes, aunque es necesario invertir copiosamente para corregir el manejo extractivo actual de esos recursos y para aprovechar sus reservas. En su condición actual, la producción de alimentos es ya crecientemente deficitaria. En el periodo reciente, la dependencia alimentaria de maíz promedió 31.9 por ciento; la de frijol, 8.2; de trigo, 42.8, y de arroz, 67.9. La prolongación de esa tendencia sugiere la insostenible situación de que, hacia el año 2025, habría que importar uno de cada dos kilos de maíz consumidos en México. No hay soluciones mágicas para enfrentar esta problemática. Ni el cultivo de maíz transgénico, que implica grandes riesgos y que no aumenta los rendimientos, ni la autoproclamada agricultura de conservación del proyecto Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (Masagro) ambas apoyadas de manera contingente por el Estado mexicano— serán la solución al déficit del campo mexicano (Turrent, 2012).

México requiere incrementar la producción de maíz de grano amarillo para subsanar la demanda y evitar la importación de 10 millones de toneladas de grano entero y quebrado, necesarias para elaboración de alimentos forrajeros, extracción de almidones, industria cerealera y botanera y otros destinos industriales. Alrededor de 2.3 millones de toneladas de ese volumen, son procesadas por la industria de derivados químicos y alimenticios del maíz (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2012). La situación anterior es difícil con la fuerte demanda para el uso de maíz en la elaboración de etanol en los Estados Unidos de América.

Se considera en los mercados a futuro, que el precio internacional de maíz se mantendrá elevado y muy probablemente se incrementará (Espinosa *et al.*, 2005; Espinosa *et al.*, 2008). Las variedades mejoradas de polinización libre V-53 A, V-54 A y V-55 A, representan una alternativa para cubrir la necesidad de variedades mejoradas, con mayor seguridad por su ciclo vegetativo precoz y grano amarillo (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009 a; Espinosa *et al.*, 2009 b; Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011).

Otra alternativa para incrementar el rendimiento de las áreas donde la precipitación es limitada, mal distribuida e impredecible, es el uso de variedades no convencionales, que podrían ser la combinación de un híbrido con una variedad, una variedad con otra variedad (híbrido varietal), una variedad con una cruce simple, así como otras opciones (Espinosa *et al* 1997; Espinosa *et al.*, 1999), dado que se cuenta con variedades liberadas en el INIFAP (V-54 A, V-55 A), así como otras desarrolladas en la FESC-UNAM, como Oro Ultra y Oro Plus (Tadeo *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2012), durante el ciclo primavera verano 2010, se efectuaron combinaciones entre estas variedades con algunas cruces simples de maíz amarillo sobresalientes, con las cuales se pretende verificar la capacidad productiva en comparación con los testigos comerciales (V-54 A, V-55 A, H-50).

México requiere 32.5 millones de toneladas de grano de maíz para cubrir su demanda aparente. Dado que se producen 22.5 millones de toneladas, cada año se importan diez millones de toneladas, por lo que se requiere incrementar la producción de maíz (Turrent, 1994; Turrent, 2009; Espinosa *et al.*, 2011). De la superficie cultivada nacional, 1.5 millones se ubican en altitudes de 2,200 a 2,600 msnm, en los Valles Altos de la Mesa Central. De esta extensión 800 mil hectáreas se cultivan en temporal estricto, el cual generalmente se presenta en forma tardía, lo que limita la fecha de siembra y con ello la productividad del cultivo es limitada (1.2 t ha^{-1}), por el temporal deficiente y fecha de siembra tardía, que frecuentemente coincide con la incidencia de heladas tempranas (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010).

En la industria a partir del grano amarillo se genera almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol (jarabe), aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa, proteínas y sus aplicaciones. La situación anterior, puede ser aún más grave en un futuro, con la fuerte demanda para el uso de maíz en la elaboración de etanol en los EE. UU. (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011 a). El uso de semilla mejorada es un elemento clave en muchos países en desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción. (Espinosa *et al.*, 2008).

Una opción para atender esta demanda y aminorar las dificultades por las condiciones limitantes del temporal, lo representa el uso de variedades de grano amarillo de ciclo corto, que aprovechen las condiciones agroclimáticas disponibles; para ello se desarrollaron en la Facultad

de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM *campus* Cuautitlán), algunas variedades de maíz de grano amarillo, de ciclo precoz como Oro Ultra 3C, Oro Ultra 2C, Oro Plus 2D (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2006). En forma similar en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), los últimos años se promueven tres variedades de grano amarillo de ciclo precoz denominadas V-53 A, V-54 A, V-55 A.

Se considera que una posibilidad para elevar el rendimiento de estas variedades de la FESC-UNAM y el INIFAP es combinarlas con una cruce simple, para obtener híbridos no convencionales, con facilidad para la producción de semillas, por ello, durante el ciclo primavera verano 2010, se obtuvieron combinaciones de algunas de estas variedades con dos cruces simples. En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1 OBJETIVOS

1. Determinar la capacidad productiva de un grupo de híbridos varietales de maíz de grano amarillo en fecha de siembra retrasada.
2. Definir el mejor híbrido varietal de maíz en características agronómicas y rendimiento y establecer su comparación con las variedades de grano amarillo en uso comercial referentes.
3. Establecer comparaciones de los híbridos varietales de grano amarillo con respecto a las variedades progenitoras, así como las ventajas agronómicas.

1.2 Hipótesis

1. Entre los híbridos varietales de maíz de grano amarillo existe alguno que supera a las variedades progenitoras comerciales en rendimiento y características agronómicas favorable.
2. Entre los híbridos varietales de maíz de grano amarillo existe alguno que supera al testigo comercial en rendimiento y características agronómicas favorable.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen

Existen varias teorías sobre sitio y la forma en que se originó el maíz actual.

Reyes (1990) menciona que el maíz (*Zea mays* L.) no se le encuentra como planta silvestre en la actualidad y no se sabe cuándo se originó, pero hay evidencias de que fue hace miles de años. Las excavaciones, arqueológicas y geológicas y las mediciones con carbón radioactivo en mazorcas de maíz antiguas encontradas en cavernas, indican que la planta debe haberse cultivado por lo menos desde hace 5 000 años. Los granos de polen de *Zea*, *Euchlaena* y *tripsacum*, encontrados en la ciudad de México, son más antiguos.

La ausencia de formas silvestres de esta especie, agudiza la especulación y la controversia, pero, como señala Wellhausen “dondequiera que el maíz haya tenido su origen como planta silvestre, es indudable que esta planta ha tenido una larga historia en México.

Hay suficiente evidencia indicando que México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz; que ocurrió hace más de 6 mil años y que la migración humana la llevaron a Sudamérica, en donde tuvo lugar el centro secundario, hace más de 5 mil años. De México se dispersó hacia el norte del continente y posteriormente hacia Europa y Asia. La aplicación del fenómeno “vigor híbrido” o heterosis, desarrollo el maíz híbrido que se inicia en Estados Unidos en la década de 1950, se dispersa para Sudamérica, Europa, África, Asia y Oceanía. Actualmente se produce en 134 países del mundo (81.7.5 de los países del mundo), lo cual indica la amplia diversidad de climas, suelos, tecnologías bajo los cuales se cultiva, y la diversidad morfológica y genética de la especie.

2.2 Fenología

El crecimiento y producción del maíz depende del potencial genético de la planta para responder a las condiciones ambientales en las que crece. Aunque la naturaleza es la responsable de la mayor parte de la influencia ambiental sobre el crecimiento y la producción, podemos manipularla por medio de las siguientes prácticas: arando, fertilizando, regando y controlando malezas e insectos.

Es importante entender las etapas del crecimiento de la planta para usar eficientemente las prácticas agrícolas, obteniendo así una mejor producción. A continuación se describe y se ilustra las etapas de crecimiento de un híbrido promedio, las cuales se refieren a:

- Desarrollo de 20 a 21 hojas
- Los estigmas del jilote aparecen a los 65 días después de la emergencia
- Madura a los 125 días después de la emergencia

Generalmente las plantas de maíz siguen el mismo patrón de crecimiento, pero la duración entre las etapas puede variar dependiendo del híbrido, lugar, temporada y fecha de siembra. Por ejemplo: un híbrido precoz puede desarrollar menos hojas o pasar las etapas más rápido a lo indicado aquí, o un híbrido tardío puede desarrollar más hojas o pasar las etapas en un mayor tiempo.

La tasa de crecimiento de las plantas está relacionada directamente con la temperatura, por lo que la duración de las etapas variará de acuerdo con la temperatura entre y dentro de las fases de crecimiento. La deficiencia de nutrientes o humedad pueden incrementar la duración de las etapas vegetativas, pero también acortar la duración de las etapas reproductivas. El número, tamaño y peso del grano y la duración de la etapa reproductiva del crecimiento variará dependiendo del híbrido y de las condiciones ambientales.

2.3 Adaptación.

Como la generalidad de las plantas cultivadas, el maíz requiere de condiciones óptimas de suelo y clima para que se logren los más altos rendimientos.

La gran diversidad en tipos, razas y nuevas variedades de maíz que actualmente existen en México, permite que haya maíces adaptados a prácticamente todas las condiciones que se puedan presentar en el país.

Se le siembra de temporal, con probabilidades (aunque escasas) de obtener cosechas en zonas áridas como altiplanicie de San Luis Potosí con precipitación total durante el año menor a los 400 mm, hasta en las sierras de Hidalgo, Puebla y Veracruz, o en las selvas de Tabasco y Chiapas con lluvias anuales superiores a los 4 000 mm de precipitación total.

Desde el punto de vista climático, al parecer el único inconveniente del maíz para ampliar su distribución es la susceptibilidad de la planta a las heladas – es quizá por su origen tropical lo que obliga a los agricultores a introducir variedades muy precoces, en los sitios donde estas se presentan. (Reyes, 1990).

2.4 Limitaciones climáticas a la producción de maíz en México.

Las necesidades de agua para la evapotranspiración en el cultivo de maíz, varían de 400 a 800 mm. El total de agua usado en la evapotranspiración varía de acuerdo a los siguientes factores: duración del ciclo del cultivo, clima, disponibilidad de agua, características hidrodinámicas del suelo y prácticas de manejo del sistema agua-suelo-planta.

Para nuestro país, donde la mayor parte se cultiva de temporal, la cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores fundamentales para la producción de maíz.

La escasez de agua en cualquier etapa de desarrollo de la planta afectara a la cosecha, pero las investigacion en maíz han confirmado que la deficiencia de agua en el suelo durante el periodo de floración e inicio del llenado de grano es particularmente critica para el rendimiento de grano en el maíz.

Otro aspecto importante para la producción de maíz en México, es la precipitación total anual.

Sin embargo, hablar de un promedio para todo el territorio mexicano no tiene prácticamente utilidad, ya que analizando las regiones del país se advierte que el 23.1% recibe más de 1000 mm de precipitación media anual y 42% del país menos de 500 mm; pero ahondando aún más, tenemos que la sequía no afecta en forma simultánea a todo el país sino que enormes extensiones del norte, noroeste, noreste, centro y sur sufren de sequía absoluta y relativa.

El maíz se siembra de temporal en todo el país, a excepción de las áreas francamente desérticas; esto se debe a las técnicas utilizadas por los productores de las diferentes regiones, las cuales van desde la siembra con espeque en terrenos de fuerte pendiente y con bajísimos rendimientos; hasta la producción en suelos de alta calidad, con irrigación y elevados rendimientos; o bien en condiciones primitivas como es el caso de los sistemas trashumantes de “tumba-roza-quema”, que contrasta con los sistemas de tecnificación avanzada que utilizan todos los instrumentos e

insumos modernos. Las áreas donde se pueden lograr buenas cosechas deben disponer de precipitaciones pluvial bien distribuidas y que acumulen más de 800 mm de lluvia entre los meses de mayo a noviembre.

Estas áreas se localizan precisamente en los estados de la republica que son los principales productores de grano: Jalisco, Veracruz, Chiapas, Michoacán y México.

Otro factor climatológico, que actúa como limitante en la producción de maíz es la presencia de heladas, que ocurren en todas las zonas del país con alturas sobre el nivel del mar de 1000 m o más, al sur del trópico de Cáncer y toda el área del norte del mismo, lo que incluye el 75% del territorio nacional, como zona con presencia de heladas, (Reyes, 1990).

Bajo condiciones climáticas adecuadas o mediante el aporte de riego, el maíz es el más productivo de los cereales.

La gran cantidad de variedades existentes en el mercado, tanto para grano como forraje, adaptadas a las condiciones locales de clima y suelo, hacen posible su cultivo en gran número de países de los cinco continentes entre latitudes muy separadas.

Su amplia capacidad de adaptación actual y su elevado rendimiento y las posibilidades futuras de mejora hacen de este cereal uno de los cultivos más prometedores para afrontar la amenaza del hambre en el mundo. (Llanos, 1984)

2.5 Macroambientes de siembra con maíz en México

En 1989 el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología (PRONAMAT) se definió la regionalización de las tierras para el cultivo de maíz (Riego, muy buena productividad, a buena productividad, mediana productividad, tierras marginales) demostrándose que el país dispone de la superficie y tipo de tierras en cantidad suficiente para incrementar considerablemente la productividad y lograr de manera sostenida la autosuficiencia, siempre y cuando se utilicen las semillas mejoradas adecuadas a cada provincia agronómica , además de aplicar la tecnología de producción oportunamente. Posteriormente, en el programa de maíz del INIFAP, bajo el liderazgo del Dr. Antonio Turrent, fueron clasificados los Macroambientes en los cuales se cultiva maíz en la

República Mexicana, definiéndose que existen 15 macroambientes, en cada uno de los cuales convergen las provincias agronómicas que ya se habían precisado en 1989, donde potencialmente se presentan condiciones para muy buena, buena, median productividad y tierras marginales donde la producción es muy escasa (Tadeo *et al*, 2005 b). Los Valles Altos son parte de la clasificación de dos de los macroambientes de siembra con maíz en México, el primero para condiciones de riego, temporal y humedad residual para los ciclos primavera – verano, y el otro para modalidad temporal en el ciclo primavera- verano. Esta clasificación permite organizar la investigación y determinar el tipo y variedades que conviene sembrar en cada agrosistema. De esta manera, en la áreas de riego deben sembrarse híbridos de cruza simple ya que estos explotan al máximo las ventajas favorables de estas provincias; en la áreas de “Muy Buena Productividad” sobresalen los híbridos trilineales y dobles; en las superficies de “Buena Productividad” es mejor el uso de cruza dobles; en las áreas de “Mediana Productividad” el tipo de variedades que prevalecen son las sintéticas, híbridos varietales y variedades mejoradas de polinización libre, las cuales amortiguan las características limitantes de estas provincias agronómicas (Ortiz *et al*, 2006)

2.6 Valles Altos de México

Los Valles Altos de la Mesa Central de México, se localizan en los estados de: Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal con una altitud superior a 2 200 a los 2 600m (Ávila *et al*, 2009).

2.7 Mejoramiento del maíz

La importancia de las semillas mejoradas radica en que a través de ellas se puede explotar máximo las condiciones ambientales disponibles y eficientar el resto de insumos que participan en el proceso de producción. A la semilla se le otorga frecuentemente 60% de influencia en la responsabilidad final de la producción de una parcela. Lo cual indica que este insumo es el pilar fundamental (Tadeo *et al*, 2005 b).

2.8 Fines de la mejora genética del maíz.

Desde el inicio de la obtención y la utilización de híbridos comerciales hasta hoy han surgido nuevos problemas del cultivo y nuevos problemas de aprovechamiento de los productos del maíz, que han ido reorientando la investigación en campo de la mejora genética para obtener nuevas variedades.

Entre las metas que se pueden considerar prioritariamente en la mejora del maíz, podemos enumerar las siguientes:

1. Mejorar la utilización de los principios nutritivos, especialmente del nitrógeno, por la planta.
2. Variedades más precoces para su introducción en zonas marginales por lo reducido del periodo libre de heladas.
3. Variedades resistentes al acame (vuelco) y de mayor eficiencia fotosintética.
4. Resistencia a plagas y enfermedades.
5. Aumentar la productividad y rendimiento en zonas de temporal reducido. (Llanos pag 267.)

2.9 Maíz híbrido

El maíz híbrido es la progenie de la primera generación de un cruzamiento entre líneas endogámicas.

La hibridación es un método de mejoramiento genético que utiliza la polinización cruzada, entre progenitores genéticamente distintos, con el propósito de obtener recombinación genética. Después de llevarse a cabo la polinización cruzada, se cultivan generaciones segregantes y se seleccionan líneas puras, una vez que se ha alcanzado la homocigocidad. El propósito es identificar y seleccionar líneas que combinen genes deseables provenientes de ambos progenitores. Las líneas seleccionadas se evalúan mediante pruebas de progenie para verificar la presencia de una combinación de genes deseables. Las líneas que demuestran ser superiores pueden multiplicarse como un nuevo cultivar.

Parte de combinar genes que determinan caracteres visibles de los progenitores, es posible seleccionar plantas de las progenies segregantes que caen fuera de los límites de los progenitores.

Las plantas que caen fuera del intervalo de los progenitores se conocen como segregados transgresivos (Poehlman, 2005).

La siembra de una mezcla de dos o más híbridos o variedades que difieren en su madurez, es generalmente una práctica positiva para asegurar una buena polinización en condiciones climáticas adversas por exceso de calor y falta de humedad. (Llanos, 1984).

2.9.1 Líneas endogámicas

Las líneas endogámicas son poblaciones de plantas homocigotas idénticas o casi idénticas según su nivel de endogamia, que de ordinario se obtienen por autopolinización. Las líneas endogámicas son:

- A) el producto de cruzar endogámicamente plantas heterocigóticas provenientes de poblaciones de polinización libre hasta que se alcanza la homocigocidad
- B) el producto de cruzar endogámicamente poblaciones segregantes después de un cruzamiento entre dos líneas endogámicas.

Al producir líneas de maíz endogámicas, la polinización se mantiene bajo control (Poehlman, 2005).

2.9.2 Híbridos simples

Los híbridos de cruce simple se forman mediante la unión de dos líneas autofecundadas. El progenitor masculino debe ser una línea buena productora de polen y el progenitor femenino buena productora de semilla. Una cruce simple es la descendencia híbrida de dos líneas autofecundadas. En las líneas autofecundadas que se utilizan en una cruce simple son probablemente homocigóticas, las plantas de la cruce simple son heterocigóticas para todos los pares de genes en que difieren las dos líneas autofecundadas. Una cruce simple recupera el vigor que se perdió durante el proceso de autofecundación y será más vigorosa y productiva que la variedad progenitora original de polinización libre, de la que se obtuvieron las líneas autofecundadas (Poehlman, 1987).

El híbrido de cruce simple tiene un alto costo de producción, por ser las plantas poco productivas de semilla de polen, por ello se ha incrementado el uso de la cruce doble con fines comerciales ya que es muy económica la producción de híbridos dobles (Reyes, 1990).

Según Ortiz *et al* (2006), las características que los identifican son:

- Mayor potencial productivo de grano que el resto de tipos de variedades.
- Son específicos para zonas con riego completo o bien condiciones de excelencia en fertilización, manejo tecnológico y ambiente.
- Específico para la provincia agronómica de “muy buena productividad”.
- Alta uniformidad de altura de planta y mazorca.
- Se facilita la cosecha mecánica.
- Escasa productividad de semilla, por lo que el precio de la semilla es muy alto.
- Cuando el agricultor utiliza este tipo de híbrido, requiere comprar semilla nueva cada año.

2.9.3 Híbridos trilineales

El híbrido de cruce simple es la progenie híbrida entre una cruce simple y una línea autofecundada. Se le conoce como de tres vías. Se desarrollaron para tratar de encontrar una solución de compromiso entre los híbridos simples o los dobles, con el objeto de aumentar la adaptabilidad de los primeros y la capacidad productiva de los segundos. Las semillas de los híbridos de tres elementos es menos costosa de producir que la de cruces simples, aunque más cara que la de cruces dobles; son más uniformes, tienden a tener rendimientos ligeramente superiores que el de las cruces dobles (Blanco y Paulino, 2001).

Según Ortiz *et al* (2006), se caracterizan por:

- Menor potencial productivo de grano que los híbridos simples.
- Mayor potencial productivo de grano que los híbridos dobles.
- Responden bien para zonas con punta de riego, humedad residual, y buen temporal.

- Muy buena productividad de semilla,
- Buena uniformidad de altura de planta y mazorca.
- Cosecha mecanizable.
- Cuando el agricultor utiliza este tipo de híbrido se requiere compra de semilla nueva cada año.
- Facilidad para producción de semilla y control de calidad.

2.9.4 Híbridos dobles

Es la progenie híbrida de un cruzamiento entre cuatro líneas endogámicas no emparentadas. Las líneas endogámicas se cruzan en pares para producir dos cruza simples, que asu vez se cruzan para producir un híbrido doble (Poehlman, 2005).

Según Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), sus características son:

- Menor potencial productivo de grano que híbridos trilineales.
- Mayor potencial productivo de grano que híbridos varietales.
- Son especiales para zonas de temporal, bajo condiciones desfavorables.
- Buena productividad de semilla de ambos progenitores.
- Regular uniformidad del híbrido final.
- Difícil control de la calidad genética en producción de semillas.
- Cosecha manual.
- Se requiere compra de semilla nueva cada año
- Regular facilidad de producción.

2.9.5 Híbridos varietales

Según Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), se caracterizan por:

- Menor potencial productivo de grano que los híbridos dobles.
- Mayor potencial productivo de grano que las variedades sintéticas.
- Especial para zonas de temporal, en particular para provincias de “mediana productividad”.
- Posee regular uniformidad.
- La cosecha se efectúa en forma manual.
- Se requiere adquirir semilla nueva cada año, pero no es estricta esta condición.
- Presenta facilidad para producción de semilla, y que se obtiene de combinar dos variedades

2.9.6 Variedades sintéticas

Es un incremento de semilla por apareamiento aleatorio a partir de una cruce múltiple, se cruzan en pares seis u ocho líneas endogámicas y las progenies obtenidas se cruzan siguiendo un esquema sistemático hasta que todas participan en la cruce final con igual frecuencia (Poehlman, 2005; citado por Hagg, 2013).

Según Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), se caracterizan por:

- Expresan menor potencial productivo de grano que los híbridos varietales.
- Poseen mayor potencial productivo de grano que las variedades mejoradas.
- Especial para zonas de temporal deficiente, con condiciones de lluvia y ambiente desfavorable. Su ámbito de recomendación es la provincia de “mediana Productividad”, así como las “tierras marginales”, es decir donde es muy difícil el ambiente para el maíz.
- Baja uniformidad de altura de planta y mazorca.
- La cosecha se efectúa en forma manual.

- La semilla se puede obtener de la propia parcela por cuatro o cinco años después debe renovarse.
- Facilidad para producción de semilla, ya que es un solo lote aislado.

2.9.7 Variedades mejoradas

Una variedad mejorada es un grupo de plantas con características bien definidas , semejantes , obtenidas a través de la aplicación de alguna técnica o metodología de mejoramiento genético, las cuales poseen características sobresalientes y comportamiento superior al de las variedades existentes o predecesoras (Tadeo et al, 2004)

Según Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), Sus características son:

- Poseen menor potencial productivo de grano que las variedades sintéticas.
- Mayor potencial productivo de grano que variedades criollas.
- Específico para zonas de temporal deficiente, es decir en las provincias de “tierras marginales”.
- Poseen mediana a escasa productividad.
- Baja uniformidad de altura de planta, mazorca, tamaño de mazorca.
- La cosecha se realiza en forma manual.
- La semilla para siembra se obtiene de la propia parcela.
- Facilidad para producción de semilla, ya que es solo un lote.

2.9.8 Variedades criollas

De acuerdo a Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), se caracterizan por:

- Poseen limitado potencial productivo de grano.

- Específico para temporal deficiente o con problemas de falta de humedad y manejo. Su ubicación es en las provincias de “baja productividad”, así como en “tierras marginales”.
- Poseen baja uniformidad de altura de planta y mazorca.
- La cosecha debe efectuarse en forma manual.
- La semilla se obtiene de la propia parcela.
- Presenta facilidad para producción de semilla, ya que implica un solo lote aislado.
- Poseen ventajas comparativas por tipo especial de grano, para uso diferenciado.

2.9.9 Híbridos no convencionales

Se obtienen de la combinación de variedades con una línea, un híbrido simple con una variedad, una variedad con híbrido simple, un híbrido con otro híbrido.

Según Ortiz *et al* (2006), citado por Hagg, (2013), se caracterizan por:

- Mayor potencial productivo de grano que variedades sintéticas e híbridos varietales, dependiendo del tipo de híbrido no convencional.
- Responden muy bien en provincias de “buen potencial productivo”.
- Se obtienen de la combinación de: a) variedad x línea (mestizos), b) híbrido simple x variedad, c) variedad x híbrido simple, d) híbridos o variedades estabilizadas e) híbrido x híbrido.
- Presentan baja uniformidad en altura de planta, mazorca y tamaño de mazorca.
- Se requiere nueva semilla pero también puede obtenerse de la propia parcela.
- La producción de semilla es relativamente fácil, así como el control de progenitores.
- La productividad de semilla es buena, al obtenerse de cruce simple o variedad.

2.10 Origen del maíz amarillo

Según Alfaro *et al*, 2004, Mangelsdorf (1974) estudió las razas de maíz desde el punto de vista de la descendencia lineal desde un ancestro común, describiendo seis razas : 1) complejo Chapalote Nal Tel, del cual provienen los maíces blancos duros; 2)Pira, de la cual derivan todos los maíces duros tropicales de endospermo de color amarillo; 3) Confite Morocho, de donde derivan los maíces de ocho hileras; 4) Palomero Toluqueño, de la cual derivan los maíces reventones; 5) Chulpi , de donde derivan todos los maíces dulces y amiláceos y 6) Kculli, de donde provienen todos los maíces con coloración de aleurona y pericarpio.

2.11 Coloración del endospermo.

El color del endospermo puede estar dado por la capa de aleurona que puede ser roja o purpura y/o por el parénquima endospermico que puede ser amarillo a blanco. La coloración diferente del blanco está determinada químicamente por la presencia de pigmentos carotenoides y flavonoides. Entre los que ocasionan coloración amarilla, destacan los carotenos o provitamina A, y las Xantofilas, que son moléculas que contienen oxígeno derivadas de carotenos (Bonner, 1965; citado por Poey, 1975).

2.11.1 Genes que forman la coloración del grano de maíz

Desde el punto de vista biológico, el maíz es muy similar al blanco, los mismos sólo difieren en el gen “Y” que determina la coloración del endospermo y afecta los contenidos de vitamina A, xantofilas y carotenos como se especifica a continuación. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Características diferenciales del grano de maíz

GENOTIPO DEL ENDOSPERMO	COLORACIÓN DEL GRANO	VITAMINA "A" (unidades gr ⁻¹)	XANTOFILAS (ppm)	CAROTENOS (ppm)
yyy	Blanco	0,05	0,4	0,2
Yyy	Amarillo	2,25	6,5	2,5
YYy	Amarillo-anaranjado	5,00	18,2	4,0
YYY	Anaranjado	7,50	45,7	4,7

Fuente: Paterniani, 1978 citado por Alfaro *et al.*, 2004

Además de tener un valor nutritivo mayor por presentar valores elevados de vitamina A, los maíces que poseen endospermo con un número mayor de genes “y” también son preferidos por la agroindustria de alimentos para animales, porque da la carne de las aves, la grasa animal y la yema de huevos el color amarillo, el cual es un carácter de valor económico muy apreciado en el mercado consumidor (Alfaro *et al.*, 2004).

2.12 Maíz amarillo para Valles Altos

El área dedicada al maíz en el estado de México entre 2200 a 2600 msnm, que cuenta con condiciones de riego o temporal favorable, es decir de “muy buena” y “buena productividad”, se estima en más de 250 mil hectáreas, de las cuales, en 100 mil hectáreas son factibles se ser sembradas con semilla de híbridos de alto potencial de rendimiento (Tadeo *et al.*, 2005 a).

Para Valles Altos, la posibilidad de obtener agua para riego por medio de presas o canales, es casi nula. En estas condiciones el rendimiento promedio actual es de 4.4 ton ha⁻¹ de grano de maíz, pudiéndose elevar por lo menos a 6.0 ton ha⁻¹ con las semillas mejoradas y la tecnología de producción disponible (Tadeo *et al.*, 2005 c).

En los Valles Altos los maíces amarillos son poco cultivados, debido a la falta de material genético con estas características. Una opción para estas condiciones ambientales es usar variedades agroclimáticas disponibles. Sin embargo la oferta de variedades mejoradas de este tipo esta escasa, de modo que por lo general se siembran variedades criollas; las anteriores variedades

mejoradas para temporal en Valles Altos son: V-26 A (Cuapiaxtla), liberada en 1981 por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), ambas con uso restringido actualmente. En los últimos años investigadores de INIFAP, han desarrollado nuevas variedades de maíz amarillo para Valles altos, tal es el caso de las nuevas variedades recientemente liberadas para uso comercial. La variedad mejorada de polinización libre V -55 A de grano amarillo es de ciclo precoz (136 d a madurez fisiológica) y tolerante al acame; su grano es de textura cristalina y rinde de 5.0 a 7.5 toneladas por hectárea. Las variedades amarillas rinden de 7 a 9 toneladas por hectárea en siembras de temporal muy retrasado, donde otras variedades de grano amarillo sólo rinden 2 toneladas por hectárea (Espinosa *et al.*, 2008).

Otra variedad recientemente liberada es la V- 54, representa una alternativa para cubrir la necesidad de variedades mejoradas, con mayor seguridad por su ciclo precoz y grano amarillo. Esta variedad se liberó en 2009. Es de ciclo precoz (135 días a madurez fisiológica), posee tolerancia al acame, es de textura semicristalina, rinde de 5 a 7 toneladas por hectárea, por su precocidad puede sembrarse a fines de mayo y todo junio, fechas de siembra retrasadas (Espinosa *et al.*, 2010).

En las tierras dedicadas al maíz donde el temporal no es favorable y se emplean fechas de siembras retrasadas una opción para avanzar hacia mejorar rendimientos es utilizar maíces amarillos, los cuales de entrada se conoce que poseen precocidad con respecto a los maíces blancos. Sin embargo como premisa fundamental, estos maíces amarillos además de poseer ventajas en precocidad deben superar en rendimiento a los materiales que usen como referencia. Por ello el presente trabajo busca definir híbridos con características de ciclo intermedio y con rendimientos competitivos.

2.13 Maíces amarillos generados en la UNAM

Conforme a Ramírez *et al.*, (2004) un problema fuerte que están enfrentando los productores de maíz amarillo, es la insatisfacción de las variedades disponibles en el mercado, debido al bajo rendimiento comparado con las variedades blancas, lo cual, se atribuye a que en México, los programas de mejoramiento se concentraron en la investigación de maíces blancos.

Por ello en los últimos años se han venido generando variedades amarillas para los Valles Altos, que han resultado competentes con buenos rendimientos, en la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC, UNAM), se ha desarrollado un programa de Mejoramiento de plantas, producción y tecnología de semillas orientado hacia el desarrollo de variedades de grano amarillo para ambientes de los Valles Altos (2200-2600 msnm), producto de estos trabajos se cuenta ahora para estas condiciones con cinco variedades precoces de grano amarillo (Oro Ultra 1C, Oro Ultra 2C, Oro Ultra 3C, Oro Plus 1D, Oro Plus 2D). Las nuevas variedades, además de la buena precocidad y alto rendimiento y otras características agronómicas favorables, han demostrado en parcelas de evaluación y validación en diversas localidades del Estado de México, Tlaxcala, Puebla y Guanajuato características favorables, desde el punto de vista de los agricultores que las han manejado. Durante 2003 y 2004 los materiales fueron reproducidos en el Rancho Almaraz de la FESC, UNAM, distribuyéndose la semilla con agricultores y una empresa de semillas interesada en estos maíces. Dos de estos materiales se iniciará con el proceso de registro ante el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación (CVC) (Tadeo, 2005; Espinosa *et al.*, 2004).

De acuerdo a Rodríguez (2005) con las variedades amarillas al ser precoces (135 días a madurez fisiológica) se obtuvo un grano que se puede almacenar sin riesgo para que seque lo bastante, siendo lo suficientemente atractivo para las industrias que desean maíz amarillo con bajo contenido de humedad.

2.14 Antecedentes de variedades mejoradas

Desde 1940 y hasta la fecha, en el Campo Experimental Valle de México, se trabaja en mejoramiento genético de maíz para los Valles Altos de México, por parte del INIFAP y las instituciones que le antecieron, es decir el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), la Oficina de Estudios Especiales (OEE) y el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA). Producto de estos trabajos fueron generadas diversas variedades e híbridos de maíz, los cuales han respondido en su momento a la necesidad de ofrecer semillas mejoradas a los productores.

Es importante señalar que se reconoce una deuda histórica de la investigación, ya que se ha orientado un mayor peso hacia las condiciones de alta productividad, lo que se trató de cambiar con el desarrollo de las variedades de polinización libre: VS-22, V-23 (Huamantla), V-25 (Tlaxcala), V-26 A (Cuapixtla), V-27 (Blanco Los Llanos), V-29 (Blanco San Juan), V-31 A

(Victoria), entre otras (Cuadro 2); sin embargo, las variedades de polinización libre liberadas son nueve con respecto a 25 híbridos, lo que muestra el desequilibrio señalado.

Cuadro 2. Híbridos y variedades mejoradas de maíz desarrolladas para Valles Altos. SAGARPA-INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. 2010.

Híbrido y/o Variedad	Tipo de híbrido o variedad	Año de liberación	Condición de humedad
H-24	H. Doble	1964	Temporal
H-28	H. Doble	1966	Temporal
H-30	H. Doble	1971	Temporal
H-32	H. Doble	1971	Temporal
H-125	H. Doble	1959	Riego
H-127	H. Doble	1965	Riego
H-129	H. Doble	1967	Riego
H-131	H. Doble	1971	Riego
H-133	H. Doble	1972	Riego
H-137	H. Doble	1990	Riego
H-139	H. Doble	1999	Riego
H-149	H. Trilineal	1990	Riego
VS-22	V. Sintética	1980	Temporal
V-23 (Huamantla)	V. Mejorada	1980	Temporal
V-25 (Tlaxcala)	V. Mejorada	1980	Temporal
V-26 A (Cuapiaxtla)	V. Mejorada	1980	Temporal
V-27 (Blanco Los Llanos)	V. Mejorada	1980	Temporal
V-29 (Blanco San Juan)	V. Mejorada	1980	Temporal
V-31 A (Victoria)	V. Mejorada	1980	Temporal
H-34	H. Simple	1990	Temporal
H-33	H. Doble	1992	Temporal
H-40	H. Trilineal	1998	Temporal
H-42	H. Trilineal	1998	Temporal
H-44	H. Trilineal	1998	Temporal
H-50	H. Doble	1998	Temporal
H-48	H. Trilineal	1999	Temporal
H-151	H. Trilineal	2000	Riego
H-153	H. Trilineal	2000	Riego
H-52	H. Trilineal	2006	Temporal
H-66	H. Trilineal	2009	Temporal
V-54 A	V. Mejorada	2009	Temporal
V-55 A	V. Mejorada	2009	Temporal

Fuente: Gámez *et al.*, 1996; Espinosa *et al.*, 2004;

2.15 Antecedentes de variedades de maíz de grano amarillo para valles altos en México.

En el pasado, se liberaron algunas variedades mejoradas de grano amarillo en los Valles Altos de México con adaptación a condiciones específicas, como fueron V-26 A (Cuapiaxtla) con rango de adaptación a los Valles Altos de Tlaxcala y Puebla; V-31 A (Victoria) para los Valles Altos de Puebla, ambas liberadas en 1980 por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Gámez *et al.*, 1996). De estos genotipos no se incrementa ni distribuye semilla comercialmente, lo que se debe en parte al cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), quien abastecía de esta semilla a los productores de maíz (Espinosa *et al.*, 2008a; Espinosa *et al.*, 2008b; Espinosa *et al.*, 2008c).

Otra variedad denominada Amarillo Zanahoria fue liberada por ICAMEX en 1990, la cual tampoco se emplea actualmente. Recientemente se promueven tres híbridos de empresas de semillas privadas, sin embargo, su ciclo vegetativo es intermedio – tardío, diferente al de las variedades de polinización libre precoces tipo Amarillo Zanahoria.

La variedad mejorada de polinización libre V-54 A es de ciclo precoz (135 días a madurez fisiológica), posee tolerancia al acame, es de textura semicristalina, rinde de 5.0 a 7.0 ton ha⁻¹, presenta ventajas por su precocidad y se puede sembrar a fines de mayo y todo junio, consideradas fechas de siembra retrasadas. V-54 A es una opción para temporales limitativos, lo que representa una oportunidad para abastecer de maíz de grano amarillo para su uso pecuario (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2008d).

El uso de semilla certificada de maíz en los Valles Altos de México es muy bajo (6%) y la adaptación de las variedades mejoradas que se han desarrollado corresponde a ciclo intermedio-tardío (Espinosa *et al.*, 1992; Espinosa, 1993; Espinosa *et al.*, 2008a; Espinosa *et al.*, 2008b; Espinosa *et al.*, 2008c), por lo que se requieren materiales para siembras en temporal retrasado. Aun cuando el potencial de producción es menor, la superficie ubicada en estas condiciones asciende a 800 mil hectáreas en los Valles Altos (Turrent, 1994), en las cuales el uso generalizado es con maíces criollos y en las que se pueden emplear variedades como V-54 A (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2008d), con la que se trata de compensar un poco la atención hacia la agricultura de temporal de mediana productividad en los Valles Altos.

En esta publicación se presenta información de la variedad de maíz de grano amarillo y polinización libre denominada V-54 A, la cual posee entre otras ventajas agronómicas, rendimientos competitivos en condiciones de temporal desfavorable, en siembras retrasadas de fines de mayo y junio, tolerancia al acame, porte bajo de planta, características que la ubican como una alternativa para incrementar rendimiento y calidad, para los productores de maíz temporal limitativo de los Valles Altos de México.

2.16 Producción, demanda y perspectivas en relación con maíz amarillo en México.

García *et al.*, (2004) menciona que durante las últimas décadas México ha importado grandes volúmenes de importaciones de maíz con el propósito de satisfacer la demanda interna de este producto básico. Según información de la secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), hoy Secretaría de Economía, en los años ochenta las compras externas de maíz se situaron alrededor de 3 millones de toneladas anuales. De 1990 a 1993 la producción y el majeo de inventarios de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) permitieron una notoria reducción en las compras de maíz al exterior, que para 1993 se situaron en 152 mil toneladas. A pesar de un incremento continuo en la producción nacional. En 1994, 1995 y 1997 las importaciones de maíz superaron los 2.2 millones de toneladas y en 1996, 1999 y 2000 se registró un aumento en las compras internacionales, con volúmenes no observados en los últimos 20 años, ubicándose en más de 5 millones de toneladas. Varios factores explican la variación de las compras al exterior a lo largo del tiempo. En primer lugar, el comportamiento de las importaciones de maíz, de un año a otro, están en función directa de la producción y los niveles de inventarios existentes (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura): FIRA, 1996 citado por García *et al.*, 2004. El comportamiento del consumo es otro factor que explica la variación de las importaciones. La eliminación de la prohibición de utilizar el maíz como alimento para animales aumentó el consumo animal durante los últimos años, llegando a constituir más de 6 millones de toneladas al año (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural: (SAGAR), 1996 Y 1998 citado por García *et al.*, 2004; de hecho este factor explica el crecimiento de las importaciones durante los años recientes. La política comercial practicada por el gobierno de México, de permitir la entrada de importaciones de maíz libres de

arancel superiores a la cuota establecida en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) también ha sido decisiva en el crecimiento de las importaciones durante los últimos años. Por último, la política cambiaria es otro de los factores que afectó la variación de las importaciones en el tiempo.

De manera que la demanda anual aparente de maíz amarillo para la elaboración y transformación es de 12.6 millones de toneladas, así lo indico los estudios estadístico de la Cámara Nacional de Maíz Industrializado (CANAMI, 2005). México requiere incrementar la producción de maíz de grano amarillo para subsanar y evitar la importación (Espinosa *et al.*, 2010).

Así pues, esta problemática de las importaciones aunado a la necesidad de que nuestro país debe abastecerse por sí solo, orilla a realizar investigaciones con este producto básico, generando maíz en cada región, que además de satisfacer la demanda, se esté mejorando constantemente para obtener rendimientos altos y poder reducir importaciones de otros países.

Con el cierre de actividades de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), se canceló el esquema de aprovechamiento, incremento y distribución de la semilla de los materiales mejorados del INIFAP, por lo que para fortalecer diversas estrategias de abastecimiento de semillas, se apoya el desarrollo de empresas de mediana y baja escala que multipliquen y comercialicen semilla certificada (Espinosa, 2003; Valdivia *et a.*, 2007); también se cuenta con participación de planes de apoyo al acceso de semilla por parte de los gobiernos estatales, para respaldar la producción de maíz en las diferentes regiones.

Con la fuerte demanda a nivel internacional del grano amarillo de maíz para el uso en la elaboración de etanol, particularmente en los Estados Unidos de Norteamérica, se prevé en los mercados a futuro que el precio internacional de maíz se mantendrá elevado y muy probablemente se incrementará, lo que seguramente dificultará el acceso a este grano para aquellos países que no son autosuficientes, como México (Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2008).

2.17 Características y adaptación de los híbridos H-48 y H- 33

El H-48 es un maíz híbrido de alto rendimiento, resistente al acame, es específico para condiciones de humedad residual, punta de riego o buen temporal en los Valles Altos (2200 a

2600 msnm), es un híbrido trilineal de ciclo vegetativo intermedio. Su altura de planta es de 245 cm. y de mazorca 135 cm. La floración masculina y femenina se presenta a los 82 días, y la madurez fisiológica a los 150 a 155 días en altitudes de 2240 msnm. La mazorca mide 16.8 cm., con 16 hileras, grano blanco, con buena calidad nixtamalera y para fabricación de harina. H-48 puede cosecharse con maquinaria, ya que tiene buena uniformidad en altura de mazorca.

El H-33 es un maíz híbrido de cruza doble, de ciclo intermedio, fue liberado en 1992, su altura de planta es de 265 cm. y de mazorca de 160 cm. La floración masculina se presenta a los 86 días, la femenina a los 87 días y la madurez fisiológica a los 159 días en altitudes de 2240 msnm. La mazorca mide 1.50 cm, con 16 hileras, grano blanco, con buena calidad nixtamalera. Es susceptible al acame, pero expresa buena rusticidad antes condiciones adversas y presenta hijos. Su rendimiento medio comercial, es de 6747 kg ha^{-1} . Este híbrido prospera bajo condiciones de temporal, humedad residual y punta de riego (Ortiz *et al.*, 2006; Espinosa, 2006).

El H-48 y H-33, en promedio de los años 1996 a 1999, rindió 8465 kg ha^{-1} ; valor superior en 26.2% al H-33, es de menor porte de planta, posee un rendimiento de 12500 kg ha^{-1} (Espinosa *et al.*, 2004; González *et al.*, 2008).

2.18 Industrialización del maíz

2.18.1 Industria básica

Procesa la materia prima es decir el maíz tal como se obtienen en el sector primario y se producen artículos que son utilizados como insumos de la industria complementaria o como productos para consumo final. El sector agrícola produce el maíz para industria básica que produce harina de maíz o masa, que son insumos para la industria complementaria en la fabricación de tortilla

2.18.3 Industria complementaria

Se caracteriza porque obtienen el producto final hasta su comercialización. De los cuales se obtienen:

Alimentos mezclados, concentrados o balanceados, obtenidos del grano blanco o amarillo o de la mezcla de subproductos de la industria (Reyes, 1990).

En forma de sorbitol, el maíz amarillo es un ingrediente incluido en la pasta de dientes para que esta no pierda elasticidad ni humedad. El café instantáneo contiene compuestos del mismo, igual que la crema en polvo, los cereales y hasta las aspirinas: la delgada capa que la cubre, está hecha con almidón. También se encuentra en algunas soluciones intravenosas.

2.18.4 Alimentos mezclados

El maíz es uno de los alimentos ricos en carbohidratos, que tradicionalmente ha sido empleado para engordas y como fuente de energía en la producción de ganado de carne, leche y huevo, en cerdos, aves. Algunos de estos subproductos derivados del maíz, son ricos en proteínas, o aceite, los cuales son ingredientes en la formulación completa y manufacturada de alimentos mezclados, concentrados o balanceados (Poehlman, 2003).

2.18.5 Industrias de fermentación y destilerías

Debido al alto contenido de almidón en los granos de maíz y los azúcares obtenidos de los mismos, proveen a las industrias fermentadoras y destilerías , con una fuente disponible y económica de carbohidratos, el uso de levaduras selectas, mohos, bacterias que actúan en sustratos conteniendo carbohidratos tales como: alcoholes, ácidos orgánicos, antibióticos, enzimas y vitaminas (Poehlman, 2003).

2.18.6 Industria de molienda en húmedo.

Esta industria también llamada refinación del maíz, es la fabricación de almidón puro de maíz y varios productos derivados exclusivamente del almidón. La separación de las partes de la semilla en el molino depende en gran parte del uso de agua, además de otros procesos químicos o enzimáticos para convertir el almidón a jarabes para animales. El almidón y sus productos modificados, empleados en cientos de aplicaciones de la industria complementaria, principalmente por sus propiedades espesantes, pegantes y por su capacidad de formar películas. La industrias que emplean almidón son: papelera y textilera, en la fermentación, en aceites y en la industria alimenticia; una gran cantidad de almidón se convierte directamente en jarabes y dextrosa, que se emplean como edulcorantes en muchos alimentos tales como: dulces, nieve o productos para panaderías. Adicionalmente la dextrosa es la materia prima para la producción de sorbitol y vitamina C (Reyes, 1990).

2.18.7 Industria de molienda en seco.

Los molinos modernos emplean un sistema de molido que remueve casi completamente el embrión y el pericarpio para la producción de sémola y harina de maíz. Estos productos consisten del endospermo triturado y molido y las diferentes harinas son separadas por medio de tamices (mallas), de diferente tamaño. La sémola es un producto de consistencia gruesa y usado industrialmente para la manufactura de hojuelas de maíz (Reyes, 1990).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

El presente trabajo se estableció en el ciclo primavera verano del 2012 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM (UNAM *campus* Cuautitlán), en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, ubicado a 19° 41' de latitud norte y 99°11' de longitud oeste, a una altitud de 2274 msnm.

3.2 Condiciones climáticas

De acuerdo a la clasificación de Köpen modificada por García (1981), el clima de Cuautitlán se clasifica como C_(w₀)(w)b (i''). La precipitación anual promedio histórico es de 609.2 mm (García, 1981).

3.3 Material genético

La primera etapa de la investigación, se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2010, en el cual se efectuaron polinizaciones manuales, es decir cruzamientos para obtener semilla de combinaciones de híbridos no convencionales, en donde se emplearon dos variedades de polinización libre del INIFAP, V-54 A y V-55 A, ya inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), por el INIFAP y por lo tanto en uso comercial (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011) y también tres variedades de la FESC-UAM: Oro Ultra 2C, Oro Ultra 3 C y Oro Plus 2D. Variedades que se recomiendan en siembras retrasadas de mayo y hasta junio, ya que son precoces. Estas cinco variedades fueron combinadas con la cruz simple de grano amarillo denominada CS156, es decir se obtuvieron cinco híbridos no convencionales (CS156XV 54 A, CS156XV 55 A, CS156XOU2C, CS156XOU3C, CS156XOP2D), se incluyeron dos híbridos no convencionales más CS155 X V 54 A y CS155 X V 53 A, además de incluirse las cruza simples (CS156 y CS155) y las variedades (V 53 A, V 54 A, V-55 A, OU2C, OU3C, OP2D) (Cuadro 3). Con la semilla obtenida, la segunda etapa se llevó

a cabo en el ciclo primavera verano 2012: en el cual se estableció un experimento en la FESC, UNAM.

En este trabajo los materiales testigos fueron las propias variedades señaladas, así como las dos cruza simples de grano amarillo denominadas CS152 y CS156, generadas en trabajos de colaboración del INIFAP y la UNAM. (Cuadro 3)

CUADRO 3. Productividad de híbridos varietales y variedades de maíz amarillo de valles altos. Primavera - Verano 2012. UNAM *campus* Cuautitlán

No. Trat.	GENOTIPO	TIPO DE CRUZA
1	CS152 X V-54 A	Híbrido Varietal
2	CS152 X V-53 A	Híbrido Varietal
3	CS152	Híbrido Simple
4	CS156	Híbrido Simple
5	CS156 X OP2D	Híbrido Varietal
6	CS156 X V-54 A	Híbrido Varietal
7	CS156 X OU3C	Híbrido Varietal
8	CS156 X OU2C	Híbrido Varietal
9	CS156 X V-55 A	Híbrido Varietal
10	V-53 A	Variedad
11	V-54 A	Variedad
12	V-55 A	Variedad
13	ORO ULTRA 3 C	Variedad
14	ORO ULTRA 2 C	Variedad
15	ORO PLUS 2 D	Variedad

3.4. Diseño experimental y análisis estadístico

Entre los genotipos evaluados, se probaron los híbridos no convencionales, así como los progenitores, es decir las cruza simples y las variedades.

Los híbridos no convencionales y las variedades que se evaluaron, se establecieron en campo utilizando un diseño de Bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se hizo un análisis de varianza y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey, a 0.05 de probabilidad de las variables en estudio.

3.4 Manejo Agronómico

La preparación del terreno se realizó de forma mecánica y consistió en barbecho, rastreo, cruza y surcado a 80 cm.

Fecha de siembra y cosecha

La siembra se realizó el 31 de mayo de 2012, ya que se considera una siembra retrasada para este tipo de variedades e híbridos varietales, a tapa pie depositando 3 semillas por mata cada 50 cm, aclarando posteriormente para obtener una densidad de población de 50,000 plantas por hectárea. La cosecha se llevó a cabo el 22 de noviembre del mismo año.

Control de malezas

Para el control de malezas se aplicó herbicida un día después de la siembra, utilizando una mezcla de 1 L de Hierbamina® y 2 kg de Gesaprim® calibre 90, por hectárea.

Variables evaluadas

Rendimiento, la cual se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{P.C} * \% \text{M.S.} * \% \text{G} * \text{F.C.}) / 8600$$

Dónde:

- **P.C.**, peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela expresada en kilogramos.
- **%M.S.**, porciento de materia seca de la muestra de grano de 5 mazorcas.
- **%G**, porcentaje de grano, se obtiene del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las 5 mazorcas con olote multiplicado por 100.

- **F.C.**, factor de conversión para obtener rendimiento por hectárea, que se obtiene al dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m².
- **8600**, es una constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial del 14%.
- El resultado obtenido se expresa en kg ha⁻¹.

Floración masculina: se registra el número de días transcurridos, desde la siembra hasta que aparece el 50% de las espigas, para cada uno de los surcos de cada genotipo, tomándose el promedio de ellas como dato final.

Floración femenina: se registra el número de días transcurridos, desde la siembra hasta la aparición del 50% de los estigmas, para cada uno de los surcos de cada genotipo, tomándose el promedio de ellas como dato final.

Altura de planta: se toman al azar 5 plantas, las cuales se mide desde la base de la planta o punto de inserción de las raíces, hasta el inicio de la panoja o donde la espiga comienza a dividirse, en la que se promediaron los datos entre ellas como dato final.

Altura de la mazorca: se toman al azar 5 plantas, en las cuales se midió la longitud desde la base de la planta hasta el nudo donde se inserta la mazorca más alta, tomándose el promedio de ellas como dato final.

Peso volumétrico: Se tomó una muestra de cinco mazorcas, se desgranaron, se pesa el grano en una balanza hectolétrica para obtener la relación de la muestra a un litro, se expresa kg HI⁻¹.

Peso de 200 granos: Se tomó una muestra de 5 mazorcas de cada parcela, se desgranaron, se cuentan 200 granos, se pesan y se expresa en gramos.

Longitud de mazorca: Se tomaron 5 mazorcas por parcela y se midió desde la base hasta la punta de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final y se expresa en centímetros.

% M.S. la mezcla de las 5 mazorcas de la muestra se obtuvo el porcentaje de humedad por medio de un determinador de humedad, este porcentaje se le restó el 100 % y el valor obtenido será el resultado de % M. S.

% de grano: Resulta de la relación entre el peso del grano y el peso total de la muestra que se obtuvo y se multiplica por 100.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para rendimiento detectó diferencias estadísticas altamente significativas para genotipos, no así para repeticiones, lo cual señala que existe una respuesta diferencial de los genotipos, lo que es explicable ya que los genotipos son de constitución diferente, al evaluarse variedades así como híbridos no convencionales, probablemente las condiciones de temporal retrasado en combinación con las características de suelo de la FESC, UNAM, propiciaron que se presente esta respuesta diferencial de los genotipos evaluados (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011). La media general del rendimiento fue de 4 304 kg ha⁻¹ y el coeficiente de variación 18.9 %.

Para floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, hilera/mazorca y granos/mazorca se detectaron diferencias altamente significativas para el factor de variación tratamientos, en cambio para las variables peso de 200 granos, longitud de mazorca y granos por hilera no se detectaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadros medios y significancia estadística para rendimiento (Kg ha⁻¹) y variables evaluadas en variedades de maíz de grano amarillo del INIFAP y UNAM y combinaciones con 2 cruza simples de maíz amarillo evaluadas en la UNAM campus Cuautitlán. Ciclo primavera-verano 2012.

Variables	Cuadros Medios			
	Tratamientos	Repeticiones	C.V. (%)	Media
Rendimiento	9831915.1**	934707.2	18.9	4,304
Días a Floración Masculina	11.03**	3.75	1.6	76
Días a Floración Femenina	24.0**	2.22	2.4	78
Altura de Planta	1335.97**	45.78	9.4	196
Altura de mazorca	385.29**	174.72	8.7	84
Peso Volumétrico	478.17*	760.55*	1.6	762
Peso de 200 granos	78.69	155.35	9.6	61.8
Longitud de Mazorca	3.48	1.06	8.5	15.9
Hileras por mazorca	7.00**	0.600	6.3	15
Granos por hilera	18.12	9.08	9.5	30
Granos por mazorca	14244.5**	4115.3	12.9	460

En la comparación de medias para genotipos, para rendimiento se presentaron seis grupos de significancia, en el grupo de mayor rendimiento, en los cinco primeros lugares se ubicaron las combinaciones no convencionales CS156 x V 54 A (7,148 kg ha⁻¹), CS156 x OU2C (6,334 kg ha⁻¹), CS152 x V 53 A (6,082 kg ha⁻¹), CS156 xV-55A (5,291 kg ha⁻¹) y CS152 xV-54 A (5,120 kg ha⁻¹), en los dos primeros híbridos no convencionales, participa como progenitor hembra la cruza simple CS156, en combinación con las variedades V 54 A de INIFAP y OU 2C de la UNAM, respectivamente. Las variedades V 54 A, V 53 A y V 55 A que proceden de INIFAP, se ubicaron en los cuatro primeros lugares en rendimiento (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011) y Oro Ultra 2 C que procede de la FESC-UNAM (Tadeo *et al.*, 2010), se colocó en el segundo lugar (Cuadro 5).

La cruza simple (CS152), exhibió el mejor rendimiento (5,047 kg ha⁻¹) entre los progenitores, por su parte la variedad V 53 A (4,672 kg ha⁻¹) fue la variedad de mejor rendimiento. El rendimiento de la cruza CS152 x V 53 A (6,082 kg ha⁻¹), fue mejor 20.5 % con respecto a la CS152 (5,047 kg ha⁻¹) y 30.1 % con respecto a la V 53 A (4,672 kg ha⁻¹), lo que probablemente se deba a que mostró efecto heterótico esta combinación (Cuadro 5).

En las variables como floración masculina, floración femenina, altura de planta y mazorca, peso volumétrico, se presentaron diferencias entre las variedades, que probablemente se debe a la limitada humedad presente en el ciclo, que probablemente propicia expresiones diferentes de los genotipos (Tadeo *et al.*, 2012). La floración masculina y floración femenina presentada por cada una de las variedades, en especial de los híbridos no convencionales muestran que estas presentaron similares valores estadísticamente, con respecto a las variedades, lo que permitió confirmar la precocidad de las variedades en evaluación (Tadeo *et al.*, 2012; Espinosa *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Comparación de medias de variables evaluadas en quince genotipos (variedades, cruza simples y combinaciones), de maíz en la UNAM *campus* Cuautitlán. Ciclo primavera-verano 2012.

Genotipos	Rendimiento (Kg ha)	Días Floración Masculina	Días Floración Femenina	Altura Planta	Altura Mazorca	Peso Volumétrico	Peso 200 Granos
CS156 xV-54 A	7148 a	74 d	77 bcd	209 abc	82 abc	770 a	65 a
CS156 XOU2C	6334 ab	75 cd	76 cd	217 a	95 ab	762 ab	62 a
CS152 xV-53A	6082 ab	76 bcd	77 bcd	204 abc	91 abc	759 ab	68 a
CS156 xV-55A	5291 abc	76 bcd	77 bcd	199 abc	84 abc	757 ab	66 a
CS152 xV-54A	5120 abcd	76 bcd	76 cd	207 abc	94 abc	763 ab	60 a
CS152	5047 abcd	79 abc	81 abc	193 abc	74 bcd	728 b	58 a
V-53 A	4672 bcd	76 cd	77 bcd	193 abc	97 a	763 ab	68 a
CS156 x OP2D	4523 bcd	75 d	75 d	216 ab	88 abc	760 ab	65 a
V-55 A	4367 bcd	75 cd	75 d	220 a	96 ab	768 a	67 a
CS156 xOU3C	4268 bcd	76 bcd	77 bcd		87 abc	775 a	61 a
V-54 A	4219 bcd	74 dc	77 bcd	187 abc	89 abc	780 a	65 a
CS156	3088 cde	81 a	85 a	208 abc	82 abc	753 ab	50 a
ORO ULTRA 3C	2705 def	75 cd	76 cd	159 c	69 dc	770 a	59 a
ORO PLUS 2D	1145 ef	77 abcd	79 bcd	157 c	59 d	750 ab	59 a
ORO ULTRA 2C	548 f	80 ab	81 ab	161 bc	28 cd	775 a	54 a
D.S.H. (0.05)	2471	4	6	55	22	38	18

*Las medias con la misma letra estadísticamente en el sentido de las columnas, no tienen diferencia significativa (Tukey al 0,05) de significancia.

V. CONCLUSIONES

En los cinco primeros lugares en rendimiento se ubicaron las combinaciones no convencionales CS156 x V 54 A (7,148 kg ha⁻¹), CS156 x OU2C (6,334 kg ha⁻¹), CS152xV 53 A (6,082 kg ha⁻¹), CS156 xV-55A (5,291 kg ha⁻¹) y CS152 xV-54 A (5,120 kg ha⁻¹).

La mejor combinación no convencional fue la cruce simple x variedad, (CS156) x V 54 A (7,148 kg ha⁻¹), que fue superior en rendimiento con respecto a cada uno de sus progenitores. En forma similar ocurrió con la cruce simple CS156 x OU2C (6,334 kg ha⁻¹), la cual fue superior a cada uno de sus progenitores.

Los resultados obtenidos señalan que se incrementa el rendimiento al cruzar las variedades mejoradas de grano amarillo con cruces simples, lo que representa una alternativa para ofrecer genotipos con mayor capacidad productiva manteniendo ciclo vegetativo y con facilidad para el abastecimiento de semilla de productores de maíz.

VI. BIBLIOGRAFIA

Alfaro Y., V. Segovia, M. Mireles, P. Monasterios, G. Alejos y M. Pérez. 2004. El maíz amarillo para la molienda húmeda. Revista digital CENIAP HOY Número 6, septiembre – diciembre 2004. Maracay, Aragua, Venezuela. En línea <http://sian.inia.gob.ve>

Arenas H. 2004. Producción insuficiente de maíz amarillo en México. Agro-síntesis. Diciembre 2004. p. 28-30.

Avila, P. M. A.; Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J. y Gámez, V. A. J. 2009. H-52 híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. Agric. Téc. Méx. 35(2):237-240.

Blanco G., L., S., y Paulino R., F. 2001. Potencial de rendimiento de seis genotipos de maíz de temporal, con dos densidades de población. Tesis de licenciatura. UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México. pp 11-13.

Cámara Nacional de Maíz Industrializado CANAMI. 2005. Estadísticas. En línea: <http://www.cnmaíz.com.mx/estadística/index.html>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT. 1985 Manejo de los ensayos e informe de datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, DF.

Centro de Investigaciones Agrarias. 1980. El Cultivo de Maíz en México. Ed. Mexicana, México.

Espinosa, C., A., Tadeo, R., M., Piña D V., A., Martínez, M. R., 1997. Capacidad productiva de cruza de variedades de maíz de polinización libre combinadas con híbridos simples de maíz. Agronomía Mesoamericana, Vol. 8:139- 142, Costa Rica.

Espinosa, C., A., Tadeo, R., M., Tapia, N. A. 1999. Variedades mejoradas no convencionales de maíz como alternativa para agrosistemas de mediana productividad. Agricultura Técnica en México, Vol. 25 (2): 83-87, Costa Rica.

Espinosa C., A., M. Tadeo R., J. Lothrop, S. Azpiroz R., R. Martínez M., J.P. Pérez C., C. Tut y C., J. Bonilla B., A. María R., y Y. Salinas M. 2003. H-48 nuevo híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del Centro de México. *Agricultura Técnica en México*. 29 (1): 85-87.

Espinosa C., A., M. Tadeo R., R. Martínez M. 2004. Nuevas variedades de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México generados en la UNAM. *Agrosíntesis*. P 17-21.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M. y Martínez, M. R. 2005. Nuevas variedades de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México generados en la UNAM. *Agrosíntesis*. 17-21 pp.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N. y Sierra, M. M. 2007. V-54 A variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos (2 200 a 2 600 msnm) de México. Chapingo, México. *Memoria técnica*. Núm. 8. 29-30 pp.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Martínez, M. R.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2008. V-54 A variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos. Chapingo, México. *Memoria técnica*. Núm. 9. 35-36 pp.

Espinosa C. A.; Turrent F., A.; Tadeo R. M.; Gómez M. N.; Sierra M. M.; Caballero H. F. 2008. Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en México. *En: Desde los Colores del maíz, Una agenda para el campo mexicano*. Coordinador J. Luis Seefó Luján. El Colegio de Michoacán. Volumen I: 233-255.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Turrent, F. A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Caballero, H. F. y Valdivia, B. R. 2008. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*. 92-93:118-125.

Espinosa, A; Tadeo, M; Martínez, R; Gómez, N; Sierra, M; Virgen, J; Palafox, A; Vázquez, G; Salinas, Y. 2009 a. V-53A: Variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. *Memoria Técnica* Numero 10. 9^a Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP Campo experimental Valle de México. p 41-42.

Espinosa C. A.; Tadeo R. M.; Turrent F., A.; Gómez M. N.; Sierra M. M.; Palafox C., A.; Caballero H., F.; Valdivia B., R.; Rodríguez M., F. 2009 d. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM. 92-93: 118-125.

Espinosa C. A.; Tadeo R. M.; Sierra M. M.; Turrent F., A.; Valdivia B., R.; Zamudio G., B. 2009 c. Híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. Agronomía Mesoamericana. 20 (2): 211-216.

Espinosa C. A. Tadeo R.M., Martínez M. R., Gómez M.N., Sierra M. M., Virgen V. J., Palafox C. A., Caballero H. F., Vázquez C. G. y Salinas M. Y. 2009 a. V54A: Variedad mejorada precoz de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP Campo experimental Valle de México. p 43-44.

Espinosa, A; Tadeo, M; Martínez, R; Gómez, N; Sierra, M; Virgen, J; Palafox, A; Caballero, F; Vázquez, G; Salinas, Y. 2009 b. V-55A: Variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP Campo experimental Valle de México. p. 46-46.

Espinosa, A; Tadeo, M; Gómez, N; Sierra, M; Virgen, J; Palafox, A; Caballero, F; Arteaga, I; Canales, E; Vázquez, G; Salinas, Y. 2010. V-55 A: variedad mejorada de grano amarillo y ciclo precoz para Valles Altos de México. In: Memoria Técnica No. 11, Día de Campo CEVAMEX 2010. Coatlinchán, México. pp:27-28.

Espinosa C., A., M. Tadeo R., N. Gómez M., M. Sierra M., J. Virgen V., A. Palafox C., F. Caballero H., G. Vázquez C., Y. Salinas M., I. Arteaga e., F. A. Rodríguez M., D. Meza G., R. Valdivia B. 2010. V-54 A, nueva variedad precoz de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. En: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, Campeche 2010. Compiladores: José Antonio Cueto Wong, Laura Verónica Macías García, Olivia Elizabeth Ortiz Rivas, INIFAP, Campeche, Campeche. Pp. 269-269.

Espinosa, C; Tadeo, M; Gómez, N; Sierra, M; Martínez, R; Virgen, J; Palafox, A; Caballero, F;

Arteaga, I; Canales, E; Vázquez, G; Salinas, Y. 2010. H-47 AE híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. En: Memoria Técnica No. 11, Día de Campo: CEVAMEX 2010. Chapingo, México. pp. 15-16.

Espinosa, C. A., Tadeo R., M., Gómez M., N., Sierra M., M., Virgen V., J., Palafox C., A., Caballero H., F., Vázquez C., G., Rodríguez M., F. A., Valdivia B., R., Arteaga E., I., González R., I. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 34 (2): 149 – 150.

Espinosa C. A. Tadeo R.M., Martínez M. R., Gómez M.N., Sierra M. M., Virgen V. J., Palafox C. A., Caballero H. F., Vázquez C. G. y Salinas M. Y. 2011 a. V55A: Variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP Campo experimental Valle de México. p. 46-46.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.

García S. J.A., M. J. Santiago C. Importaciones de maíz en México: un análisis espacial y temporal. Investigación Económica. LXIII (250): 131-160.

González E., A., J. Islas G., A. Espinosa C., J. A. Vázquez C., S. Wood. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido H-48. Publicación Especial No. 25. INIFAP. México, D. F. p. 48.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias INIFAP. 2010. Reporte anual 2009 ciencia y tecnología para el campo. Publicación especial Núm. 5. En línea: <http://www.inifap.gob.mx/investigación/reportes/reporteannual2009>.

Llanos, C.M. 1984. Economía de la producción. El maíz. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, pp. 255.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. En línea: <http://www.fao.org/corp/statistics>.

Ortiz T. C., A. Espinosa C., H. S. Azpiroz R. y S. Sahagún C. 2006. Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y Zonas de transición. INIFAP. CIRCE. Campo experimental Valle de Toluca. Libro técnico No. 3 Zinacantepec, Estado de México. 118 p.

Ortiz-Cereceres, J; Ortega-Paczka, R; Molina-Galan, J; Mendoza-Rodríguez, M; Mendoza-Castillo, C; Castillo-González, F; Muñoz-Orozco, A; Turrent-Fernández, A; Kato-Yamakake, T A. 2007. Análisis de la Problemática de la producción nacional de maíz y propuestas de acción. Grupo Xilonen, Universidad Autónoma Chapingo- Colegio de Postgraduados-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. 29 p.

Pérez D. T. 2005. Cuestión de color. Cambiar de blanco a amarillo podría salvar el libre comercio del maíz. Expansión. En línea: <http://www.expansión.com.mx/nivel2>.

Poehlman J.M, Allen S.D. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Ed. Limusa. México

Primero S. R. 2006. Rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en Chapingo México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo.

Ramírez D. J. L., M. C. Bonaparte, L. S. Díaz, J.F. Moreno, A. M. Valencia, F. C. Hernández, H. D. Martínez, R. V. Bernal, J.R. Parra (2004). Patrón heterocíclico de maíz amarillo para la región centro – occidente de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Año/Vol. 27, núm. especial 1, pp 13-17.

Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Primera edición. A.G.T. Editor, S.A. México D.F.

Reyes C. P., 1985. Fitogenotécnica básica y aplicada. AGT Editor, S. A. México. pp 19-20.

Reyes M. C. A., M.A. Cantú A., M. de la Garza C., G. Vázquez C. y H. Córdova O. 2009. H-443A, Híbrido de maíz de grano amarillo para el noreste de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 32 (4): 331 -333.

Rodríguez I. L. 2005. Capacidad productiva de variedades de polinización libre y ciclo precoz de maíz amarillo para Valles Altos de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 82 p.

Salcido. G. 1997. Maíz tortilla, políticas y alternativas. UNAM. México p.141

Salinas M. Y., S. Saavedra A., J. Soria R., y E. Espinosa T. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. Agricultura Técnica en México. 34 (3): 357-364.

SAS Institute. 1996. Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP) 2011; Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México D.F. En línea <http://siap.Sagarpa.gob.mx>.

Tadeo, M; Espinosa, C. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria. 4(14):5-10.

Tadeo, M; Espinosa, A; Martínez R; Ganesan S; Beck D; Lothrop J; Torres L; Azpiroz, S. 2004. Puma 1075 y Puma 1076 híbridos de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm). Rev. Fitotecnia mexicana. 27 (2): 211-212.

Tadeo, M; Espinosa, A; Martínez, R; Arias, R. 2005. Producción y tecnología de semillas, desarrollo y difusión de híbridos y variedades de maíz de la UNAM para su adopción extensiva en México. In: XX Reunión Latinoamericana de maíz. (Ed.) Barandiaran, G. M.; Chávez, C. A.; Sevilla, P. R. y Teodoro, N. L. Lima, Perú. 435-441 pp.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., R. Martínez M. 2005 b. Procedimientos técnicos para producción de semilla de híbridos y variedades de maíz en México.

Tadeo R. M. 2005 a. Nuevas Variedades de maíz de grano amarillo. Agro-síntesis. pp 17-21.

Tadeo, M; Espinosa, A; Martínez, R; Salazar, D; Cosme, T; Osorio, J M. 2006. Plant breeding and maize seed production at the Agricultural Engineering Department of the National University of Mexico (UNAM) In: Book of poster Abstracts. International Plant Breeding Symposium. Ed. Sophie Higman, Mexico, City. 20-25 august2006. 118, -119 pp.

Tadeo R., M., Espinosa C., A., Valdivia B., R., Gómez M., N., Sierra M., M. y Zamudio G., B. 2010. Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 2 (1): 31-38.

Tadeo, M; Espinosa, A; Arteaga, I; Trejo, V; Sierra, M; Valdivia, R; Zamudio, B. 2012. Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.3 (7): 1417-1423.

Turrent, A. 1994. Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH, Publicación especial Núm. 12, Chapingo, México. 55 p. Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. In: *Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM*. 92-93:126-129.

Turrent, F A. 2009. El potencial productivo del maíz. En: *Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM*. 92-93:126-129.