



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

---

**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE  
VERSIONES ANDROESTÉRIL Y FÉRTIL DE NUEVOS  
HÍBRIDOS DE MAÍZ**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:**

**Ingeniero Agrícola**

**Presenta**

**BENJAMÍN MARTÍNEZ NUÑEZ**

**ASESOR: M.C. MARGARITA TADEO ROBLEDO**  
**COASESOR: DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

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 comunicarle a usted que revisamos **La Tesis:**

**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE VERSIONES ANDROESTÉRILES Y FÉRTIL DE NUEVOS HÍBRIDOS DE MÁIZ**

Que presenta el pasante: **BENJAMIN MARTÍNEZ NUÑEZ**  
Con número de cuenta: **30615436-8** 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. a 09 de Mayo de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
VOCAL	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
SECRETARIO	Ing. Arturo Leodegario Ortiz Cornejo	
1er SUPLENTE	Dr. Joob Anastasio Zaragoza Esparza	
2do SUPLENTE	Ing. Ángel Cipriano López Cortés	

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*

*Primeramente a mi madre Cristina por haberme dado la vida, a mi abuela Juana por haberme cuidado desde pequeño, a esas dos mujeres mi dedicatoria por igual, ya que sin su colaboración no estaría hasta el peldaño donde me encuentro.*

*A mis hermanos, a mi abuelo Rafael, a mi familia en general, que siempre me motivaron para seguir adelante, y que aunque a veces el camino fue difícil, jamás se rindieron y me dieron las fuerzas y el ánimo necesarios para continuar.*

*A todas esas personas que me dieron consejos y apoyo cuando lo necesite, en especial a ti mi niña hermosa Diana, que a pesar de los tragos amargos, nunca me dejaste solo, y que cuando mas perdido estaba, siempre supiste guiarme por el camino correcto.*

*A ti, mi bello ángel, que desde donde estés, se que jamás te olvidas de mi, desearía estuvieras conmigo en este momento tan especial, esperemos un poco más porque algún día estaremos juntos, te extraño bebe, esto es por ti, te lo prometí.*

## *Agradecimientos*

*A la maravillosa y máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, que desde años atrás me permitió formar parte de la mejor universidad de nuestro país, y de la cual me siento orgulloso y siempre representare dando lo mejor de mí.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por aceptarme en sus aulas, y por darme la oportunidad de pertenecer a la carrera de Ingeniería Agrícola, para así poder continuar en esta camino trazado desde la infancia, y que me brindo muy buena formación académica, la cual hoy en día me mantiene compitiendo entre los mejores del campo laboral.*

*Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IT201312-3, por otorgar recursos económicos, que sin duda alguna fueron un gran apoyo para la realización de este trabajo de investigación.*

*Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por otorgarme la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo como ayudante de investigador nivel III, y otorgarme una beca del Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que ayudo durante la realización de este trabajo.*

*A la M.C. Margarita Tadeo Robledo por aceptarme ser parte de su equipo de trabajo, por apoyarme en todo lo posible en la realización del mismo. Por sus regaños y consejos para seguir adelante.*

*Al equipo de trabajo de Producción de granos y semillas, donde día a día trabajamos juntos, por su apoyo, dedicación, confianza y ganas de seguir adelante. A todos ustedes muchachos, en especial a Israel y Consuelo, muchas gracias.*

*A mis compañeros de la generación 34, por siempre estar presentes en diversas etapas académicas, y por las experiencias vividas a lo largo de cinco años.*

*A los miembros del jurado, al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, al Dr. Joob Anastasio Zaragoza Esparza, al Ingeniero Edgar Órnelas Díaz, al Ingeniero Arturo Leodegario Ortiz Cornejo, y al Ingeniero Ángel Cipriano López Cortes.*

*A todas aquellas personas, que han hecho mostrar en mi el orgullo y valor de seguir adelante, y cada día pisando más fuerte.*

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
Índice de cuadros y figuras	iii
Resumen	v
I. Introducción	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis	3
II. Revisión de literatura	4
2.1. Generalidades del maíz	4
2.2. Producción de maíz en México	5
2.3. Descripción de los Valles Altos	7
2.4. La producción de semilla híbrida de maíz en México	8
2.5. Tipos de producción de semilla híbrida de maíz en México	10
2.5.1. Producción de semilla con progenitores de fertilidad normal	10
2.5.2. Producción de semilla con progenitores androestériles	11
2.6. Semillas mejoradas de maíz y sus tipos	12
2.6.1. Híbridos convencionales	12
2.6.2. Híbridos no convencionales	13
2.6.3. Híbridos genéticamente modificados o transgénicos	14
2.6.4. Variedades sintéticas	14
2.7. Androesterilidad y sus tipos	15
2.7.1. Esterilidad masculina genética	16
2.7.2 Esterilidad masculina citoplasmática	16
2.7.3 Esterilidad génico-citoplásmica	17
2.8. Androesterilidad como técnica de producción de semilla híbrida de	17

maíz	
2.9 Rendimiento	19
III. Materiales y métodos	21
3.1. Descripción de la zona de estudio	21
3.2. Condiciones edafoclimaticas	21
3.3. Material genético	22
3.4. Diseño experimental	23
3.5. Manejo agronómico	23
3.6. Variables evaluadas	23
IV. Resultados y discusión	26
V. Conclusiones	34
VI. Literatura citada	35

## Índice de cuadros y figuras

Cuadro		Pág.
1	Superficie, rendimiento, volúmenes de producción de maíz y crecimiento de la población en dos periodos distintos. (SIAP 2011).	6
2	Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio medio rural y valor de la producción de maíz, en los estados que conforman los Valles Altos de México. (SIAP 2013).	7
3	. Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio medio rural y valor de la producción de maíz, en los distritos agrícolas que conforman el Estado de México. (SIAP 2013).	8
4	Híbridos de maíz en versión androestéril y fértil desarrollados en la FESC-UNAM y en el INIFAP, los cuales se evaluaron para definir la capacidad de rendimiento en la localidad de la FESC-UNAM. Ciclo primavera – verano 2012.	22
5	Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos de variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.	26
6	Comparación de medias para las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP, considerando la media de las versiones AE y F, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.	28
7	Comparación de medias para las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP, considerando la media de las versiones AE y F, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012	29
8	Comparación de medias para las variables evaluadas en las versiones androestéril y fértil considerando la media de cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.	30

9 Resultados obtenidos de las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de la FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012 31

10 Resultados obtenidos de las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de la FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012. 33

### **Figura**

1 Rendimiento ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ) de cinco híbridos de maíz evaluados en su versión androestéril (AE) y fértil (F), en la FESC-UNAM. Ciclo primavera verano 2012. 32

## RESUMEN

En México, el cultivo de maíz (*Zea mays*), es el más importante debido a que se consume como alimento, forraje y materia prima para la industria. Hoy en día se hacen grandes esfuerzos para incrementar el rendimiento productivo de su grano. Donde la siembra de semillas mejoradas, precedida por la producción y utilización de insumos de óptima calidad, ofrecen la perspectiva de un rápido y considerable aumento en la productividad de este grano.

Una alternativa para elevar este nivel de producción es el uso de semillas mejoradas de maíz, tales como los híbridos. El área sembrada de maíz en los Valles Altos de la Mesa Central de México (2200 a 2600 m de altitud), en condiciones de riego, humedad residual o temporal (secano) favorable, es de 700 mil hectáreas (Turrent, 1994). De esta superficie, por lo menos 300 mil pueden sembrarse con semilla de híbridos y producir  $6.0 \text{ t ha}^{-1}$  de grano, si se utilizan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por el INIFAP.

Para el caso de los Valles Altos, se han desarrollado diversos materiales híbridos de maíz, con un buen potencial productivo, mismos que han sido producto de la investigación por parte de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM), y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y que últimamente se han enfocado a incorporar la androesterilidad, con el fin de producir semilla de alta calidad y reducir costos de producción.

Las plantas androestériles a diferencia de las fértiles no producen polen. En las plantas androestériles, las flores no producen anteras o polen viable, pero los estigmas funcionan normalmente. Aunque estas no pueden ser autopolinizadas, se pueden cruzar con otras fuentes de polen. En la producción de semilla híbrida de maíz, la inflorescencia masculina en el progenitor femenino debe ser eliminada antes de la floración o liberación de polen, para conservar la pureza genética de la semilla a producir, labor que es muy laboriosa y costosa.

Mientras tanto, la producción de semilla con progenitores androestériles, se realiza sin necesidad de realizar dicha labor, conocida como desespigue, mediante la utilización de la androesterilidad. Para ello, es importante contar con información de los híbridos y su capacidad productiva en sus versiones androestériles y fértiles. Donde para lograrlo se deben efectuar investigaciones en aspectos básicos y tecnológicos de la producción de semilla.

En la FESC-UNAM, se trabaja en mejoramiento genético y con la androesterilidad en progenitores de híbridos de maíz, producto de esos trabajos, en los últimos años con financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM y en colaboración con investigadores del INIFAP, se ha logrado contar con materiales para ser inscritos en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), para promover su uso extensivo comercial (Tadeo 2007).

En este trabajo se evaluó la productividad de los híbridos de la FESC-UNAM e INIFAP: Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2, TSIRI Puma 2, TSIRI Puma 3 y H-47 AE, en las versiones androestériles y fértiles, en un experimento establecido en una localidad de la Zona de Transición Bajío-Valles Altos (2254 msnm). El objetivo de este trabajo fue definir la capacidad productiva de los híbridos en las versiones androestériles y fértiles.

Esta investigación se realizó durante el ciclo primavera verano 2012, estableciéndose en la FESC-UNAM. Los tratamientos que se consideraron en el estudio fueron los cinco híbridos señalados, en sus versiones androestéril y fértil. El análisis estadístico se efectuó en forma de bloques completos al azar, considerando los factores principales híbridos y versión de androesterilidad/fertilidad, así como las interacciones entre estos dos factores.

Para rendimiento se detectaron diferencias altamente significativas en híbridos, pero no para el factor androesterilidad/fertilidad, no hubo diferencia significativa para el factor repetición y para la interacción híbridos/androesterilidad/fertilidad. El coeficiente de variación fue de 9.4 % y la media fue de 9892 kg ha<sup>-1</sup>.

## I. INTRODUCCIÓN

Es imposible desvincular al maíz de la vida de México; es historia, tradición y cultura. Es el cultivo que cubre la mayor parte de la superficie sembrada, así como el primer generador de empleo y el principal abasto de alimentos básicos en el país porque constituye la dieta esencial de la gran mayoría de los mexicanos.

El grano del maíz tiene un amplio uso en la preparación de alimentos; los maíces poseen características especiales que son básicas para la alimentación del pueblo mexicano, la industria alimentaria (harinas, aceites, jarabes, cereales, entre otros) y la alimentación del ganado; por lo demás, los subproductos del cultivo se les da diferentes usos, el rastrojo se utiliza para mejorar las características de los suelos e incrementar el contenido de materia orgánica.

En México se siembran anualmente 8.5 millones de hectáreas de maíz, las cuales producen un poco más de 23 millones de toneladas de grano; sin embargo, cada año se importan siete y tres millones de toneladas de grano entero y quebrado de maíz respectivamente. Este nivel de importación se explica, en parte, por el rendimiento medio que se obtiene en el país, que es de  $2.8 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP México, 2012).

En los Valles Altos de la Mesa Central de México, que se localiza en los estados de Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal con una altitud superior a 2200 msnm, se cultivan cerca de 1.5 millones de hectáreas con maíz, lo cual representa cerca de 20% de la superficie nacional establecida con esta especie, de dicha extensión cerca de 50% (700 000 ha) se ubican en zonas de riego y/o buen temporal. Donde por lo menos 300 mil ha pueden sembrarse con semilla de híbridos desarrollados por el INIFAP (Espinosa *et al*, 2008 a; Espinosa *et al*, 2008 b; Espinosa *et al*, 2012a).

Es indudable, que la semilla de buena calidad física, fisiológica, genética y sanitaria es el principal insumo para el buen rendimiento de un cultivo. Se ha señalado que una semilla mejorada contribuye hasta con un 60% del rendimiento final, lo cual indica que es un insumo fundamental para lograr una buena producción (Espinosa *et al*, 2008a; Turrent, 2009).

Hoy en día, la producción de semilla híbrida de maíz certificada, se ha enfrentado a una de las labores conocidas como desespigue, misma que busca evitarse con la introducción de la androesterilidad en las líneas progenitores.

La producción de semilla con progenitores de fertilidad normal, se realiza en campos alternando dos surcos de macho por seis de hembra, dependiendo del polen producido por el progenitor masculino. (Tadeo *et al.*, 2010). En este sistema de producción, la inflorescencia masculina en el progenitor femenino debe ser eliminada antes de la floración o liberación de polen, para conservar la pureza y la estabilidad genética de la semilla del híbrido que se desea producir.

Mientras que la producción de semilla con progenitores androestériles, se realiza sin necesidad de realizar la labor de desespigue, mediante la utilización de la androesterilidad. En este esquema de producción de semilla híbrida de maíz son necesarias líneas androestériles, por lo que debe convertirse una línea fértil en estéril mediante un programa de retrocruzamiento, en el cual el progenitor donante es la línea estéril y el progenitor recurrente la que se desea transformar en estéril, suponiendo que ésta es fértil y no restauradora, dicha línea estéril es la que se utiliza como progenitor femenino donde se produce la semilla (Poehlman, 2003; Reyes, 1990).

Un ejemplo del uso de la androesterilidad, se dio en Estados Unidos de América, aunque dejó de utilizarse por las empresas productoras de semilla desde 1970, debido a que la única fuente de esterilidad citoplasmática denominada cms-T (incorporada a la mayoría de los híbridos para facilitar la producción de semilla), mostró susceptibilidad al tizón foliar causado por el hongo *Helminthosporium maydis* raza T, de tal manera que ocasionó una epifitía que afectó el 90% de las siembras de ese país (Grogan *et al.*, 1971; Airy *et al.*, 1978; Tadeo *et al.*, 1997).

Para el caso de los Valles Altos en el centro de México, se han desarrollado diversos materiales híbridos de maíz, los cuales prometen altos rendimientos, mismos que han sido producto de la investigación por parte de la UNAM y del INIFAP. Estos materiales, sin embargo, no se han usado tanto como se esperaría por limitaciones, al cerrarse a la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), por lo que se ha recurrido a la promoción

de microempresas de semillas, para las cuales es conveniente ofrecer esquemas que faciliten la producción de semilla y así utilizar los materiales disponibles (Espinosa *et al.*, 2003; Ortiz *et al.*, 2007).

Para ello, es importante contar con información de los híbridos y su rendimiento de grano en sus versiones androestériles y fértiles (Tadeo y Espinosa, 2003; Espinosa *et al.*, 2009). Por lo que se recurre a trabajos de investigación como este, en donde se valida la capacidad productiva de diversos materiales, con el fin de definir cuál de ellos es el que promete mayores rendimientos y así establecer estrategias que fomenten su uso y por ende, beneficios mayores a la sociedad en general.

## **1.1. OBJETIVOS**

Determinar el rendimiento de grano de la versión androestéril y fértil de híbridos de maíz, en proceso de validación.

Definir el mejor híbrido por su rendimiento de grano y características agronómicas, para establecer sus perspectivas de uso comercial.

## **1.2. HIPOTESIS**

1. Existe diferencia en el rendimiento de los híbridos en evaluación, puesto que exhibe mayor rendimiento de grano la versión androesteril que la fértil.
2. Existe diferencia en la capacidad de rendimiento de los híbridos de ambas versiones evaluados en este trabajo.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del maíz

El maíz es un cultivo antiguo que a pesar de que su origen no está muy claro, se considera que pertenece a la zona de México, pues sus hallazgos más antiguos que datan de unos 7000 años de antigüedad, se han encontrado aquí. El nombre proviene de las Antillas, donde los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, y le llamaron *mahíz*, pero en México los nahuas lo denominaron *centli*, a la mazorca y *tlaoilli* al grano (Reyes, 1990).

Cuando Cristóbal Colón descubrió América en 1492, el maíz se cultivaba en casi todo el continente. Fue a partir de este momento cuando comenzó a expandirse por todo el mundo: primero se cultivó en lugares con clima cálido, como los países cercanos al Mediterráneo, y después a otros puntos de Europa y Asia. Por sus características el maíz puede crecer en distintas condiciones geográficas, como climas áridos o lugares montañosos, e incluso zonas urbanas, como por ejemplo, en las megaciudades como el Distrito Federal, Guadalajara o Monterrey (Reyes, 1990).

Hoy en día su cultivo está diseminado por todo el planeta. En América, Estados Unidos es el principal país que destaca por su alta producción de grano. Es el cereal más cultivado en el mundo. Más allá de sus virtudes como alimento, el maíz tiene otros usos como ingrediente básico para procesos industriales.

El maíz, es una planta gramínea del reino Plantae, que botánicamente se encuentra en la clase *Angiosperma* y subclase *monocotiledonea*, del orden de los *cereales*. Pertenece a la familia *Poaceae*. Su nombre científico es *Zea mays*, donde *Zea* es el género y *mays* la especie. Siendo uno de sus ancestros el *teocintle*.

La planta del maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual, alcanza de medio a seis metros de alto. Las hojas forman una vaina enrollada al tallo y un limbo más ancho y alargado. Del tallo nacen inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en espigas, en la axila de las hojas. En cada mazorca se ven las filas de

granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta. A cada grano le corresponde un hilo sedoso que sobresale por el extremo de la mazorca.

El tallo de la planta está rematado en el extremo por una gran panoja de pequeñas flores masculinas; que cuando el polen ha sido derramado, se vuelven secas y parduscas (Poehlman, 2003).

## **2.2. Producción de maíz en México**

De acuerdo a datos recopilados, en 1940 los rendimientos promedio de maíz fueron de 450 kg/ha y se incrementaron hasta 1.8 t/ha en el año de 1980 (Sánchez *et al*, 1998). La superficie sembrada de maíz creció en 4.1 millones de hectáreas al pasar de 3.5 a 7.6 millones de hectáreas en ese periodo.

Ese crecimiento, aunado a los incrementos en los rendimientos, permitió abastecer la creciente demanda de maíz de la población hasta 1980, sin dejar de reconocer que se importaba maíz para el consumo ganadero e industrial.

En el periodo de 1980 a 2010, los rendimientos de maíz se incrementaron en 81%, la superficie sembrada permaneció casi constante y el volumen de producción de maíz creció 89% lo que permitió satisfacer parte de las demandas del consumo de este grano a la creciente población.

A pesar de estos incrementos, debe destacarse que se ha tenido que importar maíz para abastecer la demanda de la ganadería e industria en México (Ver Cuadro 1).

Es importante destacar que las importaciones sustanciales de maíz empezaron en los años 80 y se han incrementado a través del tiempo ya que en los últimos años, han variado de 2.5 millones de toneladas en 1994, a 8.0 en 2010. Esto indica que para 2010, se tenía un volumen de maíz disponible para el consumo, de 22.3 millones de toneladas de maíz, de los cuales 5.21 se destinaría al consumo humano, 3.36 a la ganadería, 10.4 a la industria, y el resto a otros usos y para formar parte del inventario de granos en México (SIAP 2012).

**Cuadro 1.** Superficie, rendimiento, volúmenes de producción de maíz y crecimiento de la población en tres periodos distintos. (SIAP 2012).

<b>Periodo</b>	<b>Superficie (mil. De ha)</b>	<b>Rendimiento (ton/ha)</b>	<b>Producción (mil. De ton)</b>	<b>Población (mil. De hab)</b>
1940	3.50	0.45	1.58	19.60
1980	7.59	1.80	13.70	66.80
<b>Cambio</b>	<b>4.09</b>	<b>1.35</b>	<b>10.72</b>	<b>47.20</b>
1980	7.59	1.80	13.70	66.80
2010	7.86	2.66	22.30	112.33
<b>Cambio</b>	<b>0.27</b>	<b>1.46</b>	<b>11.00</b>	<b>45.53</b>
2010	7.86	2.66	22.30	112.33
2012	8.50	2.80	23.80	113.47
<b>Cambio</b>	<b>0.64</b>	<b>0.14</b>	<b>1.50</b>	<b>1.14</b>

El maíz ha sido y es por mucho, el cultivo más importante de México. A nivel mundial, Estados Unidos de América, es el mayor productor de maíz abarcando el 41% de la producción mundial, seguido por China con el 19.4%, y en tercer lugar Brasil con el 6.9% (SIAP 2012).

México ocupa el sexto lugar en su producción a nivel mundial. Los datos más recientes, revelan que se producen poco más de 23 millones de toneladas. Donde el principal estado productor es Sinaloa, que produjo 5 millones 227 mil 872 toneladas, con un valor de poco más 12 mil millones de pesos (SIAP 2012).

El valor de la producción nacional alcanza 88 mil 489 millones de pesos. Todo ello gracias a una superficie sembrada de ocho millones 572 mil 218 hectáreas. Donde el maíz representa el 10.3% de volumen respecto a la producción agrícola nacional. Se considera que solamente cinco entidades federativas generan 6 de cada 10 kilogramos de grano de maíz que se consume en México. Esto es Sinaloa 22.4%, Jalisco 14.6%, Estado de México 6.7%, Michoacán 6.6% y Guerrero 6.1% (SIAP 2012).

### 2.3. Descripción de los Valles Altos

En la República Mexicana, la región de los Valles Altos está determinada geográficamente por aquellas zonas que se encuentran entre los 2200 y 2600 msnm. Se localiza principalmente en los estados de Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal (Ávila, *et al*, 2009). Es el área maicera de mayor extensión a nivel nacional, puesto que cuenta con una superficie potencial de 3.5 millones de hectáreas.

Esta región se caracteriza por presentar una amplia gama de condiciones ambientales, algunas de las cuales son muy favorables. Anualmente se establecen casi 1.5 millones de hectáreas con maíz, 80% se cultivan bajo condiciones de temporal y el resto en punta de riego, con un rendimiento medio de 3.7 t ha, tanto que en la entidad mexiquense se producen alrededor de dos millones de toneladas de esta gramínea. En esta región hay un área potencial de uso de híbridos de maíz superior a 300 mil hectáreas, para las cuales se requieren 7500 toneladas de semilla (Espinosa *et al*, 2012b).

**Cuadro 2.** Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio medio rural y valor de la producción de maíz, en los estados que conforman los Valles Altos de México. (SIAP 2012).

Estado	Sup. Sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
MEXICO	556,325.32	1,575,300.48	2.97	4,533.32	7,141,338.54
PUEBLA	574,768.50	1,002,278.01	1.77	4,249.46	4,259,140.84
HIDALGO	260,841.16	704,421.71	2.84	4,183.95	2,947,266.98
TLAXCALA	118,142.31	313,879.28	2.83	3,768.77	1,182,938.78
QUERETARO	114,484.00	272,414.42	2.53	3,799.82	1,035,124.83
MORELOS	27,564.58	86,478.78	3.14	4,091.77	353,851.18
D.F.	4,003.00	5,520.99	1.38	5,255.50	29,015.54

En el caso de los Valles Altos, el Estado de México destaca por su mayor área de influencia y como el mayor productor, tan solo en el 2012 ocupó el cuarto lugar de la producción nacional con 1 millón 575 mil 300 toneladas de grano (Cuadro 2), solo atrás de Sinaloa, Jalisco y Michoacán.

El Estado de México, destaca con una superficie sembrada de 556 mil 325 hectáreas de maíz, donde resaltan los distritos de riego del Valle Toluca-Atlacomulco como el punto donde más se cultiva esta gramínea (SIAP 2012). (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio medio rural y valor de la producción de maíz, en los distritos agrícolas que conforman el Estado de México. (SIAP 2012).

<b>Distrito</b>	<b>Sup. Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rend. (Ton/Ha)</b>	<b>PMR (\$/Ton)</b>	<b>Valor Producción (Miles de Pesos)</b>
ATLACOMULCO	161,292.00	447,566.32	2.86	3,988.05	1,784,918.76
TOLUCA	132,019.95	380,882.64	3.42	4,567.99	1,739,869.45
TEJUPILCO	51,633.20	150,588.77	2.92	4,921.61	741,139.89
VALLE BRAVO DE	51,034.50	159,601.36	3.13	4,971.69	793,487.70
JILOTEPEC	48,890.00	141,468.47	2.91	4,787.66	677,302.63
ZUMPANGO	48,539.88	98,798.72	2.06	4,160.66	411,067.72
COATEPEC HARINAS	32,118.00	99,971.25	3.11	5,093.80	509,233.80
TEXCOCO	30,797.79	96,422.95	3.14	5,022.86	484,318.59

#### **2.4. La producción de semilla híbrida de maíz en México**

El maíz, como lo conocemos en la actualidad, es el resultado de trabajos acumulados en mejoramiento genético por parte de investigadores y de forma inconsciente por los campesinos. Esto lleva a reconocer la participación que en México han tenido los fitomejoradores, tanto como las diversas dependencias públicas y privadas, que

intentando realizar los esfuerzos de investigación en esta materia, han permitido el desarrollo ordenado de actividades que, por su propia naturaleza, requieren de constancia y clara definición de los objetivos en el cultivo del maíz.

El uso de semilla mejorada se ha incrementado fuertemente, sobre todo con el aprovechamiento de áreas mecanizables, como el caso de la participación de Sinaloa y de otras áreas de riego en el país, constituyéndose estas zonas en las principales áreas productoras de maíz en México, con rendimientos elevados de siete y hasta 18 t/ha, que contrastan con rendimientos de 300 a 500 kg/ha en zonas marginales.

En el mercado de semillas de maíz hay una participación importante de empresas privadas, 60 por ciento lo abarcan las transnacionales, como Monsanto y Pioneer. De acuerdo con la Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2012) hay más de 103 productores de semillas certificadas de maíz, desde pequeños productores hasta asociaciones de agricultores y empresas pequeñas y medianas, sobre todo en Guanajuato, Jalisco y Michoacán. Aunque es importante destacar, que las empresas transnacionales han investigado y patentado sus variedades de semillas. (SNICS, 2013).

Para 2010, el INIFAP y sus antecesores INIA, IIA Y OEE habían "liberado" 231 híbridos y variedades mejoradas, registrando posteriormente 25 nuevas variedades en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), para dar un total estimado de 256 nuevas variedades o híbridos, generados en su totalidad con líneas provenientes de las Razas de maíz descritas como mexicanas (SNICS, 2013).

Otras instituciones de enseñanza e investigación, como la Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Colegio de Postgraduados, Universidad Nacional Autónoma de México e ICAMEX, han registrado variedades e híbridos en el CNVV, después de haberlas obtenido de líneas provenientes de las Razas de maíz mexicanas (SNICS, 2013).

Ante esto, el escenario de la producción de semilla de maíz es optimista pues se obtiene mayor rentabilidad que su cultivo de grano comercial, y a diferencia de éste, el precio de venta es mayor y no es tan fluctuante. Sin embargo, es necesario desarrollar

canales de producción y tecnología de semillas que fomenten la participación de semillas mejoradas en áreas potenciales, y con ello contribuir al aumento del promedio nacional de rendimiento de grano de maíz, y sobretodo ofrecerlas con disponibilidad y calidad al productor.

## **2.5. Tipos de producción de semilla híbrida de maíz en México**

En México, existen dos métodos utilizados, los cuales son: la producción de semilla con progenitores de fertilidad normal y la producción de semilla con progenitores androestériles.

**2.5.1. Producción de semilla con progenitores de fertilidad normal.** Para producir semilla con este tipo de progenitores, generalmente los campos son sembrados alternando dos surcos de macho por seis de hembra, aunque esto puede variar, dependiendo principalmente de la cantidad del polen producido por el progenitor masculino y se debe cultivar el menor número de surcos macho posibles, pero es importante que se produzca el polen suficiente para asegurar una fertilización completa (Reyes, 1990).

En este caso, son importantes otros factores como la estructura morfológica de la hembra y la disposición de las hojas, puesto que pueden representar una barrera física que limite que el polen llegue a su destino. Los campos de producción de semilla deben ser inspeccionados antes del desespigamiento, con el fin de descubrir deficiencias de aislamientos y corregirlas, o dar de baja el lote de producción. Asegurando el aislamiento antes de que se produzca la floración de ambos progenitores. También se procede a la depuración, que consiste en eliminar las plantas fuera de tipo, tanto en las plantas hembra como en las macho (Reyes, 1990).

La inflorescencia masculina en el progenitor femenino debe ser eliminada antes de la floración o liberación del polen, para conservar la pureza y la estabilidad genética de la semilla del híbrido que se desea producir. El desespigamiento manual es laborioso y costoso, ya que se requiere de gran número de personas que trabajen en él; además esa labor puede llevar de una a cinco semanas, e implica el empleo de 21 a 34 jornales

por hectárea, y depende de varios factores, por lo cual se han buscado métodos para el emasculado mecánico, que pueden ser muy eficaces si se les maneja en forma adecuada (Tadeo, *et al*, 2001).

Lo anterior depende de una buena nivelación del terreno y de las características que presente el progenitor femenino, como es la uniformidad de las plantas en altura y floración, así como que la espiga, al momento de la emisión del polen, no se encuentre envuelta por más de una hoja, ya que el material foliar dañado representa un punto de entrada para las enfermedades, además de que diversos estudios señalan que el área foliar que se encuentra encima de la mazorca tiene un efecto importante sobre la cantidad y calidad de la semilla producida ( Tadeo, 2001).

El desespigamiento mecánico debe complementarse con el desespigamiento manual, para eliminar las espigas omitidas o de maduración tardía, y otra forma de realizar este último es utilizando una plataforma móvil, que es empujada y sobre la cual van los trabajadores que realizan la labor. La tarea de desespigue debe hacerse de modo que, en un día determinado, no más del 1% de las espigas del progenitor femenino estén soltando polen. En tres inspecciones, cualquiera que sea la liberación acumulativa del polen no debe exceder del 2% (Airy *et al.*, 1978).

**2.5.2. Producción de semilla con progenitores androestériles.** La semilla de maíz híbrido puede producirse sin necesidad de realizar la labor de desespigue, mediante la utilización de la androesterilidad. En México han sido pocos los trabajos para el aprovechamiento de la androesterilidad masculina en la producción de semilla, a últimos años, instituciones públicas como el INIFAP y la UNAM han desarrollado trabajos de investigación basados en ese principio. Sin embargo, en países como Rusia, la investigación sobre la androesterilidad se practica desde hace muchos años, con programas en los que se incluye la identificación genética de fuentes de esterilidad citoplasmática masculina.

Como se mencionó anteriormente, en la producción de semilla híbrida de maíz utilizando la androesterilidad, es necesario líneas androestériles, por lo que una línea fértil debe convertirse en estéril mediante un retrocruzamiento, en el cual el progenitor

donante es la línea estéril y el progenitor recurrente la que se desea transformar en estéril, suponiendo que ésta es fértil y no restauradora; dicha línea estéril es la que se utiliza como progenitor femenino donde se produce la semilla (Reyes, 1990).

Si una planta de maíz con androesterilidad citoplasmática es polinizada por otra planta fértil normal, pero que no contiene genes restauradores de la fertilidad masculina, la progenie que se produce será androestéril, por lo que la utilización de la androesterilidad en la producción de semilla se hace mediante dos métodos (la mezcla y los genes restauradores de la fertilidad masculina), para asegurar que en la parcela del productor de grano exista una fuente de polen que asegure la polinización, fertilización y producción (Reyes, 1990).

## **2.6. Semillas mejoradas de maíz y sus tipos**

La semilla es el producto final de los programas de fitomejoramiento, los cuales solamente serán exitosos cuando ese producto final pueda llegar y sea efectivamente utilizado por los agricultores. Lamentablemente, este concepto no es comprendido por muchos programas de investigación, puesto que en muchos lugares no se explota el potencial del área sembrada con maíz, para ser cubierta con el uso de variedades mejoradas o híbridos.

La planta de maíz es monoica, lo que quiere decir que sus sexos están separados en la misma planta. A su vez, es una planta alógama, es decir, de polinización cruzada, pero que también permite que se puedan manipular sus órganos reproductores con el fin de obtener materiales mejorados. Respecto a ello, resultan las semillas mejoradas de las cuales destaca el híbrido, que es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas. Por otro lado, se encuentra la variedad que es un conjunto de individuos formados a partir de una polinización libre (Reyes, 1990).

### **2.6.1. Híbridos convencionales**

#### **Híbridos de cruce simple**

Son el resultado de la progenie derivada de una cruce entre únicamente dos líneas, donde una de ellas es la hembra y la otra el macho, las cuales son endogámicas. Los

híbridos simples son más vigorosos y productivos que sus progenitores, al recuperar el vigor híbrido que se perdió en el proceso de autofecundación. Tienen la más alta uniformidad fenotípica y potencial de rendimiento de grano más alto, son utilizados por agricultores que utilizan alta tecnología. (Poehlman, 2003).

En la producción de semilla certificada de híbridos simples, generalmente, se utiliza la relación Hembra: Macho 4:2 o 6:2, pero dado que la hembra es una línea endogámica el manejo agronómico es más exigente que en los otros tipos de híbridos para lograr alto rendimiento de semilla. Solamente se requieren tres lotes aislados para lograr su producción. (Tadeo, *et al.* 2003).

### **Híbridos trilineales**

Son más uniformes que las cruzas dobles, pero menos uniformes que los simples, y están formados por tres líneas endogámicas, donde dos de ellas forman la cruce simple hembra y la tercera se utiliza como macho, se requieren cinco lotes aislados para formar el híbrido. En la producción de semilla certificada, generalmente, se emplea la relación Hembra: Macho 4:2, debido a que la línea macho tiene menos vigor que una cruce simple y por tanto no sólo produce menor cantidad de polen, sino también su periodo de producción es más corto. (Poehlman, 2003).

### **Híbridos dobles**

Están formados por cuatro líneas endogámicas, la cruce de dos de ellas dan origen a la hembra y la de las otras dos al macho, se requieren siete lotes aislados para formar al híbrido. En la producción de semilla certificada se utiliza una relación Hembra: Macho 6:2, debido a que el macho es una cruce simple buena productora de polen. (Poehlman, 2003).

### **2.6.2. Híbridos no convencionales**

Se caracterizan por tener poca uniformidad fenotípica y producen menos rendimiento de grano que los híbridos convencionales, aunque no es una regla porque en condiciones adversas llegan a superarlos; además tienen la ventaja que en la

producción de semilla sólo se maneja uno o ningún progenitor endogámico, lo cual reduce el costo de la semilla certificada al agricultor. Se clasifican en cuatro categorías:

a) Híbridos intervarietales, son los más comunes y están formados por la cruce de dos variedades de polinización libre.

b) Híbridos familiares, se forman por la cruce entre dos familias de maíz de hermanos completos o de medios hermanos, que vienen de la misma o de diferentes poblaciones.

c) Híbridos mestizos, son el resultado de cruzar una variedad de polinización libre o una familia con una línea endogámica.

d) Híbridos mestizos dobles, involucran a una cruce simple en combinación con una variedad, un sintético, una población o una familia (Vasal y González, 1999).

### **2.6.3. Híbridos genéticamente modificados o transgénicos**

Son materiales formados con líneas endogámicas en las cuales se insertaron genes que no pertenecen al genoma del maíz. Se caracterizan porque los genes insertados, les confieren resistencia a herbicidas como al glifosato, y a algunas plagas del follaje, de la mazorca y del sistema radical. Son utilizados ampliamente en países como E.U., Canadá, Argentina, Brasil, entre otros; pero su uso ha causado grandes controversias entre los grupos de ecologistas, debido al desconocimiento de sus probables efectos negativos.

En México el Comité de Bioseguridad no ha autorizado su uso comercial, debido a que es centro de origen del maíz y no se tienen los estudios de impacto ambiental. Sin embargo, recientemente se autorizó hacer investigación con maíces transgénicos en los estados de Sonora, Sinaloa y Tamaulipas, los cuales iniciaron en el ciclo agrícola de Otoño-Invierno 2008-2009.

### **2.6.3. Variedades**

Son un grupo de individuos de una especie y raza con rasgos diferenciales más estrechos que aquellos manifestados por las razas. Las variedades agronómicas son producto de la selección humana que tiende a formar grupo de plantas similares con

sus ventajas para ellos. Las variedades se cruzan libremente y forman poblaciones diferenciales. Se caracterizan por tener plantas con alto vigor y en la producción de semilla certificada no se requiere sembrar surcos hembra y macho. (Espinosa, *et al.* 2009).

Se clasifican en las siguientes categorías:

**a) Variedades sintéticas.** Se le conoce así a la generación avanzada que procede de la semilla obtenida mediante polinización libre entre varios genotipos, donde pueden ser líneas consanguíneas, clones o poblaciones seleccionadas por diferentes procesos de mejoras.

**b) Variedades mejoradas.** Es un conjunto de plantas con cierto nivel de uniformidad, resultante de la aplicación de técnicas de mejoramiento genético, con características bien definidas y que reúne las condiciones de ser diferentes a otros, siendo estable en características esenciales.

**c) Variedades criollas.** Son materiales locales que se han obtenido por un proceso de selección dado por los agricultores a través de los diferentes ciclos agrícolas de forma inconsciente y que prevalecen por algunas características deseables. (Poehlman, 2003).

## **2.7. Androesterilidad y sus tipos**

Es la imposibilidad por parte de la planta de generar órganos reproductivos o polen viable para la fertilización de la flor femenina. Esta condición puede ser hereditaria y puede deberse a causas genéticas o citoplasmáticas. Esto elimina la necesidad del proceso de emasculación en plantas como cebolla y sorgo, así como el desespigamiento del maíz. En las líneas de macho estéril las flores no producen anteras funcionales, por lo que no puede haber autopolinización. La esterilidad masculina puede ser controlada por la acción de genes específicos o por mecanismos hereditarios en el citoplasma (Poehlman, 2003).

Existen tres tipos de androesterilidad

- a) Androesterilidad genética (genes nucleares).
- b) Androesterilidad citoplasmática (genes citoplasmáticos).
- c) Androesterilidad génico-citoplásmica (interacción de ambos).

### **2.7.1. Esterilidad masculina genética**

Se manifiesta por medio de la actividad de genes nucleares que inhiben el desarrollo normal de las anteras y el polen. La etapa precisa en la que se interrumpe el desarrollo del polen varía con la especie, o bien con el gen específico que determina la esterilidad masculina. Es determinada predominantemente por un alelo recesivo “ms”; el alelo dominante “Ms” (male sterility), resulta en la formación de anteras y polen normales. En el caso de las especies diploides el genotipo “msms” corresponde a la esterilidad masculina, en tanto los genotipos MsMs y Msms corresponden a la fertilidad masculina (Poehlman, 2003).

### **2.7.2 Esterilidad masculina citoplasmática**

Es controlada por el citoplasma, pero puede ser influenciada por genes de los cromosomas. El citoplasma hace que un organismo presente esterilidad masculina recibe el nombre de citoplasma estéril (S) o (CMS), en contraste con el citoplasma normal (N), que permite el desarrollo normal de anteras y polen funcionales. Con frecuencia el citoplasma estéril resulta de introducir cromosomas nucleares en un citoplasma extraño. Debido a que el citoplasma es transferido únicamente por medio de la célula huevo y célula espermática aporta una cantidad sumamente pequeña de citoplasma al cigoto, la esterilidad masculina citoplasmática se transmite sólo por medio de la planta hembra. Dentro de esta función se desplazó el sistema de desespigamiento de las plantas hembras o formadoras de semilla para producir semilla híbrida (Poehlman, 2003).

### **2.7.3 Androesterilidad génico-citoplásmica**

Está determinada por la interacción entre el citoplasma (portador de plasmagenes que producen androesterilidad o no) y un par de alelos nucleares (que se denominan R y r).

La diferencia entre este tipo de androesterilidad y la citoplásmica radica en que la descendencia obtenida por el cruzamiento de una planta androestéril (como femenina) y una fértil no tiene que ser necesariamente androestéril sino que depende del genotipo de la planta que actúa como parental masculino.

El citoplasma siempre se hereda por vía materna y puede ser:

- el citoplasma normal o fértil (N) o (F)
- el citoplasma estéril o androestéril (S)

En el núcleo:

- el alelo recesivo "r" en homocigosis es el responsable de la androesterilidad
- el alelo dominante "R" codifica para plantas androfértiles.

### **2.8. Androesterilidad como técnica de producción de semilla híbrida de maíz**

La androesterilidad puede ser inducida mediante sustancias químicas que actúan como gametocidas selectivos (2,3 dicloroisobutirato sódico, hidracida maleica, giberelinas, entre otros). Una alternativa que ofrece usar la esterilidad masculina de tipo genética o de tipo citoplasmático para la producción de semilla híbrida.

Las sustancias químicas que inducen la esterilidad masculina reciben el nombre de gameticidas, inhibidores de polen o agentes químicos de hibridación, ya que estos permiten suprimir el procedimiento de emasculación antes de llevar a cabo las polinizaciones, pero no daña los órganos reproductores pistilados ni afecta el desarrollo de la semilla, pero las flores producirán semilla abundante con la polinización cruzada (Poehlman, 2003).

El uso de la androesterilidad y la capacidad restauradora de la fertilidad masculina en la producción de semilla híbrida de maíz, limita los problemas que ocurren en la

eliminación de la panoja en progenitores hembra, reduciendo las dificultades en esta etapa facilitando el control de la calidad e identidad genética de los híbridos producidos además de una reducción en los costos de producción por labor de despanojado.

En México, algunas instituciones públicas de investigación y enseñanza, así como empresas privadas, han incorporado la androesterilidad citoplásmica en líneas élite de maíz. Según Tadeo *et al.* (2001), en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se dispone del esquema completo de androesterilidad para producir los híbridos comerciales H-47 AE, H-48 AE, H-50 AE y H-153 AE, y están en proceso programas genotécnicos para incorporar la androesterilidad en maíces normales (Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2, Puma 1187 AEC y H-57 AE), y con alta calidad de proteína.

Las causas del aumento en rendimiento de semilla de las versiones androestériles sobre las fértiles no han sido totalmente dilucidadas, se desconoce hasta qué punto la esterilidad del polen *per se* contribuye a las diferencias en el rendimiento de grano entre estos materiales. Sin embargo, Uhart y Andrade (1995) indican que el efecto positivo de la esterilidad del polen puede ser explicado en términos nutrimentales, debido a que en la formación del polen fértil se requiere una demanda de nutrientes, tales como el nitrógeno, de modo que su abastecimiento a los órganos femeninos se reduce y ocasiona la disminución del rendimiento potencial de semilla.

En México, el uso de variedades mejoradas e híbridos de maíz ha sido importante para incrementar la producción y el rendimiento de grano de este cultivo. Ante el retiro en el mercado comercial de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) la demanda de semilla híbrida de esta especie se ha satisfecho mediante la participación de nuevas compañías especializadas en la generación y adopción de técnicas propias de la producción de este insumo (Espinosa, *et al.*, 2003).

Estas técnicas, como el desespigamiento manual y la proporción de surcos hembras y machos, tienen el objetivo de que la semilla de los híbridos que los fitomejoradores generan pueda producirse en la cantidad y con la calidad que permitan una expedita utilización comercial. Sin embargo, la aplicación de esas técnicas, como el

desespigamiento manual en los lotes de producción de semilla híbrida, ocasiona un incremento en los costos de producción, lo que obliga a las empresas a buscar otras opciones que permitan realizar la misma labor, a menor costo, y de ser posible, con mayor eficiencia.

Una de esas opciones es emplear diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica a través de la utilización de líneas androestériles como progenitores femeninos, lo cual disminuye los costos de producción pues se elimina la necesidad de desespigar (Tadeo, *et al.*, 2001, 2003; Martínez, *et al.*, 2005).

## **2.9. Rendimiento**

El rendimiento es la consideración fundamental en la producción de maíz. La capacidad del maíz híbrido para producir rendimientos superiores es la principal razón de que haya sustituido en forma tan rápida a las variedades de polinización libre en muchos lugares.

El rendimiento es el objetivo más complejo con que trabaja el fitomejorador del maíz. Básicamente está determinado por la acción de numerosos genes, muchos de los cuales afectan a procesos vitales dentro de la planta como la nutrición, la fotosíntesis, la transpiración, la translocación y el almacenamiento de los principios nutritivos.

También afectan directa o indirectamente al rendimiento, la precocidad, la resistencia al acame, resistencia a los insectos y enfermedades. Así como otras características que pueden evaluarse con mayor precisión que el rendimiento, por selección visual.

El rendimiento final de un cultivo se encuentra determinado por diversos componentes iniciales, ya que pueden estar determinados o afectados por factores ambientales, factores genéticos, manejo agronómico y la interacción de cada uno de los factores sobre el cultivo a través de sus diferentes etapas fenológicas. (Vazquez, 1998).

El rendimiento, tal como le interesa al productor, es el peso del grano seco producido por hectárea, en donde su incremento es el criterio fundamental en el mejoramiento genético del maíz en México y otros países del mundo (Cruz, 1995).

Se dice que el rendimiento es la consideración fundamental en la producción de maíz, y esta en función del genotipo, ambiente que lo rodea y de la interacción de estos factores, manifestado a través del funcionamiento y de la interacción de muchos componentes de procesos fisiológicos de la planta, los cuales varían con el genotipo (Tellez 2008). Por lo tanto, un mayor rendimiento de grano se logra solamente cuando se puede obtener una combinación apropiada de genotipo ambiente (Reyes, 1990).

Lo anterior se confirma, al explicar que existen componentes correlativos del rendimiento como son: longitud, número de hileras, peso del grano y número de mazorcas por planta, los cuales presentan baja heredabilidad, es decir, se ven sumamente afectados por el medio ambiente, por lo que no se puede elegir una variedad o híbrido porque tenga espigas grandes, muchas hileras de granos, granos grandes o varias espigas por planta, e inmediatamente asegurar que producirá un rendimiento inmejorable. (Poelhman, 2003).

Ante las consideraciones anteriores, se puede decir, que el mejor procedimiento para determinar un material con alta capacidad productiva, consiste en experimentar mediante ensayos y examinar los registros de las pruebas de comportamiento realizadas en su zona durante varios ciclos, y evaluar el rendimiento en su propio establecimiento.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Descripción de la zona de estudio**

El trabajo experimental se desarrolló en la parcela número 7, dentro de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Dicho lugar está ubicado a  $19^{\circ} 42'35''$  de latitud norte y  $99^{\circ} 11'42''$  de longitud oeste, a una altitud de 2254 msnm.

#### **3.2. Condiciones edafoclimáticas**

##### **3.2.1. Clima**

De acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Koppen, modificado por Enriqueta García (2004), a la zona donde se desarrolló el trabajo, le corresponde un clima  $C_{bw_o}(w)(i)g$ ; esto representa un templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano e invierno seco (menos del 5% de la precipitación anual) con verano largo y fresco, con temperatura extremosa respecto a la oscilación.

De acuerdo al registro de las normales climáticas, la temperatura media anual es de  $15,7^{\circ}C$ , el mes más frío es enero con  $11,8^{\circ}C$ , mientras el más caliente es junio con  $18,3^{\circ}C$ . La precipitación promedio es de 605 mm, abarcando la mayor concentración en los meses junio a octubre. El promedio anual de días con presencia de heladas es alto, con 64, considerándose desde octubre hasta abril.

##### **3.2.2. Suelo**

Los suelos que se encuentran en la FES Cuautitlán son vertisoles pélicos y presentan una textura fina, son suelos arcillosos; son suelos pesados y duros cuando se secan, formando unas grietas profundas que los caracterizan y que pueden ser impermeables al agua de lluvia o riego. El pH oscila entre 6 a 7.

### 3.3. Material genético

El trabajo experimental, se llevó a cabo utilizando cinco híbridos de maíz, cada uno de ellos en su versión androestéril y fértil, por lo que fueron en total 10 tratamientos para el ensayo, con seis repeticiones para cada tratamiento (Cuadro 4).

Las variables a medir en el experimento fueron: Altura de planta, Altura de mazorca, días a floración masculina y femenina, peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de la mazorca, hileras por mazorca, numero de granos por mazorca, porcentaje de grano y rendimiento por tratamiento.

**Cuadro 4. Híbridos de maíz en versión androestéril y fértil desarrollados en la FESC-UNAM y en el INIFAP, los cuales se evaluaron para definir la capacidad de rendimiento en la localidad de la FESC-UNAM. Ciclo primavera – verano 2012.**

No. Trat	Híbrido	Versión AE( Androestéri) / F (Androfértil)
1	PUMA 1183 AEC1	AE
2	PUMA 1183 F1	F
3	PUMA 1183 AEC2	AE
4	PUMA 1183 F2	F
5	TSIRI PUMA 2	AE
6	TSIRI PUMA 2	F
7	TSIRI PUMA 3	AE
8	TSIRI PUMA 3	F
9	H-47 AE	AE
10	H-47 AE	F

### 3.4. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó en campo fue Bloques Completos al Azar. Utilizando 10 genotipos diferentes, con 6 repeticiones cada uno, en total fueron 60 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en un surco de cinco metros de largo, con 26 plantas por surco, para dar una densidad de 65,000 plantas por hectárea de acuerdo a las recomendaciones técnicas que se señalan en publicaciones de los Días de Campo del CEVAMEX para Valles Altos (Espinosa *et al.*, 2010a). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 3.5. Manejo agronómico

Para el ensayo se preparó el terreno de forma mecánica, que consistió en pasar una vez el arado, un rastreo, la nivelación y el surcado a 80 cm. La siembra se realizó el 31 de Mayo de 2012, depositando 2 semillas cada 25 cm, y posteriormente haciendo un aclareo a los 35 días, para obtener la densidad de población deseada.

Para el control de malezas se efectuaron aplicaciones de herbicida un día después de la siembra, utilizando una mezcla de 2 L de Hierbamina (2,4 D amina) y 3 kg de Gesaprim calibre 90 (atrazina), por hectárea. 30 días después a la siembra se aplicó una mezcla de 3 L de Sansón 4 SC (nicosulfuron), 3 L de Hierbamina y 3 kg de Gesaprim calibre 90, por hectárea.

Se tuvo constante vigilancia durante el desarrollo del cultivo, se etiquetó cada material para su identificación. Se tomaron variables a medir como floraciones, alturas, entre otras. La cosecha se efectuó de forma manual el día 10 de diciembre de 2012, colectando todas las mazorcas, incluyendo las dañadas.

### 3.6. Variables a evaluar

- **Rendimiento**, es la productividad de grano que presenta un material vegetal, y se obtiene 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.= por ciento 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 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup>.

8600 = constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial del 14%.

El resultado obtenido se expresa en kg ha<sup>-1</sup>.

- **Floración masculina**, 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**, 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 miden 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 promedian los datos entre ellas como dato final.
- **Altura de la mazorca**, se toman al azar 5 plantas, en las cuales se mide 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 toma una muestra de cinco mazorcas, se desgranar, se pesa el grano en una balanza hectolétrica para obtener la relación de la muestra a un litro, se expresa  $\text{kg hl}^{-1}$ .
- **Peso de 200 granos**, se toma una muestra de 5 mazorcas de cada parcela, se desgranar, se cuentan 200 granos, se pesan y se expresa en gramos.
- **Longitud de mazorca**. Se toman 5 mazorcas por parcela y se miden desde la base hasta la punta de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final y se expresa en centímetros.
- **Hileras por mazorca**, se toma la muestra de 5 mazorcas, se cuenta el número de hileras de cada mazorca, tomando el promedio de ellas como dato final.
- **Granos por hilera**, es la muestra de 5 mazorcas, donde se cuenta el número de granos por hilera de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final.
- **Granos por mazorca**, se obtiene de la multiplicación de los promedios de hileras por mazorca, tomándose el promedio de ellas como dato final.
- **% M.S.**, se obtiene a partir de la mezcla de las 5 mazorcas de la muestra de cada parcela ya desgranadas, y por medio de un determinador de humedad, se obtiene el % de humedad, al cual se le resta 100, siendo el valor obtenido 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.

$\% \text{ grano} = (\text{peso sin olote} / \text{peso con olote})$

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 5 se presentan los cuadrados medios y la significancia de factores de variación para diversas variables evaluadas. El análisis de varianza para rendimiento muestra diferencia altamente significativa para híbridos, no siendo así en el caso de la versión androestéril/fértil y tampoco para la interacción híbrido por versión androestéril/fértil, pero detecta diferencia significativa en el caso de las repeticiones. La media general de rendimiento fue 9892 kg ha<sup>-1</sup>, y un coeficiente de variación de 9.4%.

**Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos de variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Variable	Híbridos	Versión (AE/F)	Repetición	Interacción H x (AE/F)	Media	CV
<b>Rendimiento</b>	18987910.17**	87399.18	3008548.09*	1318651.90	9892	9.4
<b>FM</b>	30.06**	22.80*	3.42	0.19	81	1.7
<b>FF</b>	40.43**	0.60	3.00	3.35	82	2.3
<b>AP</b>	569.53**	114.82	369.99**	137.78	230	4.3
<b>AM</b>	2101.52**	228.15	709.15**	11.40	117	7.4
<b>Peso Volumétrico</b>	1300.93**	277.35	240.55	521.10	775	2.2
<b>Peso de 200 granos</b>	44.19	2.02	52.78	73.06	71	9.5
<b>Longitud de mazorca</b>	0.96	0.00	1.72	2.13	16	5.9
<b>Hileras por mazorca</b>	5.85**	1.07	1.08	0.82	16	5.9
<b>Granos por hilera</b>	5.13	2.02	1.51	3.06	31	6.0
<b>Granos por mazorca</b>	1797.64	2318.82	2145.22	1287.61	496	8.7
<b>% grano</b>	15.61**	0.18	0.80	1.96	85	1.6
<b>% MS</b>	7.46	4.2	2.9	1.4	86.2	1.8

\*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01 F) \*Diferencia significativa (P< 0.05 F)

FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca.

Para híbridos, en las variables floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico, hileras por mazorca y porcentaje de grano se detectaron diferencias altamente significativas, no habiendo alguna diferencia significativa en las demás variables evaluadas (Cuadro 5).

En el caso del factor de variación versión androestérilidad/fértil para la variable floración masculina, donde sí se presentó diferencia significativa, en las otras variables no se detectaron diferencias (Cuadro 5). Se destaca que en el factor repetición se obtuvo diferencia significativa para el rendimiento y altamente significativa en altura de planta y mazorca, no habiendo diferencia estadística en las demás variables (Cuadro 5).

En lo que corresponde al factor de variación interacción (híbridos por versión androestéril/fértil) no se detectaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables en estudio (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos, concuerdan con la revisión de literatura, donde se menciona que existen diferentes componentes del rendimiento, y por lo cual no necesariamente una marca la diferencia en la capacidad productiva de los híbridos, ya que en este caso, se ve afectado el rendimiento por las diferencias estadísticas encontradas en las variables evaluadas.

En lo que respecta a la comparación de medias para diversas variables evaluadas, en cinco híbridos considerando la media de las versiones fértil y androestéril, para el caso de rendimiento, se establecieron estadísticamente tres grupos de significancia (Cuadro 6).

En rendimiento el híbrido de maíz TSIRI PUMA 2 se ubicó en el primer lugar, es decir el rendimiento más alto ( $11050 \text{ kg ha}^{-1}$ ), que corresponde al primer grupo de significancia que lo integran H-47 AE Y TSIRI PUMA 3 con rendimientos de  $10685 \text{ kg ha}^{-1}$ , y  $10085 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Los menores rendimientos los exhibieron PUMA 1183 AEC2 y PUMA 1183 AEC1 con  $7814 \text{ kg/ha}^{-1}$  y  $7814 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Comparación de medias para las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP, considerando la media de las versiones AE y F, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Hibrido	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
<b>TSIRI PUMA 2</b>	11050 a	81 b	81 b	238 a	119 b
<b>H-47 AE</b>	10685 ab	80 bc	81 b	236 ab	139 a
<b>TSIRI PUMA 3</b>	10085 ab	79c	81 b	231 b	111 c
<b>PUMA 1183 AEC2</b>	9827 b	81b	82 b	225 bc	111 c
<b>PUMA 1183 AEC1</b>	7814 c	84a	85 a	222 c	105 c
<b>DHS (0.05)</b>	1082	1.6	2.2	11.4	10

FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca

En floración masculina, el híbrido de mayor precocidad fue TSIRI PUMA 3 a los 79 días, mientras que el más tardío fue PUMA 1183 AEC1 con 84 días posteriores a la siembra. Para floración femenina todos los materiales presentan igualdad estadística, a excepción de PUMA 1183 AEC1, que resultó ser el más tardío con 85 días (Cuadro 6).

En cuanto a altura de planta, el de mayor tamaño resulto ser TSIRI PUMA 2 con 238 cm, lo que es importante y pudiese ser un elemento para utilizarse este híbrido para doble propósito, es decir grano y forraje, en particular en este caso, es necesario señalar que una versión de TSIRI PUMA, está en proceso de inscripción ante el Catalogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), por lo cual conviene continuar evaluando este material (Tadeo, 2014; comunicación personal).

El híbrido de menor altura de planta fue PUMA 1183 AEC1 con 222 cm. Mientras que en altura de mazorca, destaca H-47 presentando el mayor valor con 139 cms, quedando con el menor valor PUMA 1183 AEC1 con 105 cms, pero compartiendo el bloque con PUMA 1183 AEC2 y TSIRI PUMA 3.

En lo que respecta a la variable peso volumétrico, el mayor valor correspondió a TSIRI PUMA 2 (785 kg/HL) y el de menor valor fue H-47 AE (758 kg/HL). Mientras que en el

número de hileras por mazorca, los materiales se agruparon en el mismo grupo de significancia, excepto PUMA 1183 AEC2 que resultó ser el de menor valor con 15. Caso similar en porcentaje de grano, donde sobresalió H-47 AE con el mayor valor de 87 (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Comparación de medias para las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP, considerando la media de las versiones AE y F, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Hibrido	PV (kg/HI)	200 granos (g)	LM (cm)	HM	GH	GM	% Grano	% MS
<b>TSIRI PUMA 2</b>	785 a	72 a	16 a	16 a	31 a	497 a	85 ab	85.9a
<b>H-47 AE</b>	758 b	72 a	15 a	17 a	31 a	511 a	87 a	87a
<b>TSIRI PUMA 3</b>	779 a	69 a	15 a	16 a	31 a	500 a	84 b	87a
<b>PUMA 1183 AEC2</b>	778 a	73 a	16 a	15 ab	32 a	477 a	84 b	85.1a
<b>PUMA 1183 AEC1</b>	775 ab	68 a	16 a	16 a	31 a	498 a	84 b	86.2a
DHS (0.05)	19.7	7.8	1.1	1.1	2.2	50.2	1.6	1.9

PV: peso volumétrico; LM: longitud de mazorca; HM: hileras por mazorca; GH: granos por hilera; GM: granos por mazorca; % MS: materia seca.

Para las variables peso de 200 granos, longitud de mazorca, granos por hilera, granos por mazorca y porcentaje de materia seca, se observa que en todos los casos no hubo diferencias significativas, por lo que en todos los casos hubo un solo grupo integrado por los cinco híbridos (Cuadro 7).

En este caso, también se demuestra que a pesar de que a todos los materiales evaluados se les dio el mismo manejo agronómico, las componentes a evaluar en algunos casos fueron diferentes, lo cual hace referencia a que cada híbrido posee un genotipo que lo hace diferente de los demás individuos de su especie.

En la comparación de medias para rendimiento en el factor de variación versión androestéril/fértil, la versión androestéril con un rendimiento de 9930 Kg ha<sup>-1</sup> fue estadísticamente similar a la versión fértil (9854 Kg ha<sup>-1</sup>), lo anterior considera la media de los cinco híbridos evaluados y señala que en los materiales en estudio el efecto de esterilidad masculina con respecto a la versión fértil de la media de los cinco híbridos no hay efecto significativo, lo que concuerda con otros estudios, donde se han encontrado rendimientos similares (Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2010). (Cuadro 8).

Para las demás variables, la media de la versión androestéril con respecto a la versión fértil, considerando, no mostró diferencias estadísticas, presentando respuesta y valores estadísticos similares, excepto en la variable floración masculina (Cuadro 8), donde resulta ser más precoz la versión fértil con una floración a los 80 días después de la siembra, mientras que la versión androestéril la presenta a los 82 días.

**Cuadro 8. Comparación de medias para las variables evaluadas en las versiones androestéril y fértil considerando la media de cinco híbridos de maíz de FESC UNAM e INIFAP en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Variable	Versión		
	Androestéril (AE)	Fértil (F)	DHS (0.05)
Rendimiento (Kg/ha <sup>-1</sup> )	9930 a	9854 a	485
Floración masculina (días)	82 a	80 b	0.7
Floración femenina (días)	82 a	82 a	0.9
Altura de planta (cm)	229 a	232 a	5.1
Altura de mazorca (cm)	119 a	115 a	4.6
Peso Volumétrico (Kg/Hl)	773 a	777 a	8.8
Peso de 200 granos (g)	71 a	71 a	3.5
Longitud de mazorca (cm)	16 a	16 a	0.5
Hileras por mazorca	16 a	16 a	0.5
Granos por hilera	31 a	31 a	0.9
Granos por mazorca	490 a	503 a	22.5
% grano	85 a	85 a	0.7

Lo anterior indica que los valores confirman que en todos los casos son genotipos isogénicos, es decir que la diferencia es la formación y expulsión de granos de polen (Martínez *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2012).

De acuerdo a los resultados, la mayor expresión de rendimiento la presentó TSIRI PUMA 2 en su versión androestéril (11466 kg/ha<sup>-1</sup>), señalando, que este material es un híbrido trilineal producto de reciente investigación y se encuentra en proceso de liberación comercial, por ello fue se tomó en cuenta para este trabajo. (Cuadro 9).

Después se encuentra H-47 en su versión fértil con 11096 kg/ha<sup>-1</sup>, destacando que este material, si bien está en proceso de inscripción en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), ha sido un referente en los últimos años, porque de manera consistente ha mostrado ventajas en diversas evaluaciones agronómicas (Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2012 a; Tadeo *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014). (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Resultados obtenidos de las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de la FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Hibrido	Versión	Rendimiento (kg/ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
PUMA 1183 AEC1	AE	8043	84	85	223	108
PUMA 1183 AEC1	F	7586	83	85	221	102
PUMA 1183 AEC2	AE	9967	82	82	220	112
PUMA 1183 AEC2	F	9687	81	83	231	111
TSIRI PUMA2	AE	11466	82	81	237	120
TSIRI PUMA2	F	10634	80	82	238	118
TSIRI PUMA3	AE	9902	80	80	234	113
TSIRI PUMA3	F	10267	79	82	229	109
H-47	AE	10274	81	81	233	142
H-47	F	11096	79	80	240	137

FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca

El híbrido que menor rendimiento presentó fue PUMA 1183 AEC1 en su versión fértil con 7586 kg/ha<sup>-1</sup>. Es importante señalar que de los cinco híbridos en estudio en tres casos, la mejor expresión del rendimiento se presentó en la versión androestéril esto fue en TSIRI PUMA2, PUMA 1183 AEC1 y PUMA 1183 AEC2, lo que se podría explicar con base al menor gasto de fotosintatos al no fabricar granos de polen (Tadeo *et al.*, 2007), mientras que en TSIRI PUMA 3 y H-47 AE, se presentó en la versión fértil, esto puede ser explicado debido a la respuesta diferencial de los materiales, aun cuando son isogénicos en cuanto a sus versiones. (Cuadro 9). (Figura 1).

En el caso de las floraciones, en ocho materiales la floración masculina ocurre antes que la femenina, a excepción de PUMA 1183 AEC2 AE donde ocurren en la misma fecha y de TSIRI PUMA 2 AE donde ocurre primero la floración femenina.

En la variable altura de planta y de mazorca, todos los materiales presentaron valores un tanto similares, cercanos a la media general de 230 cms y 117 cms respectivamente. El híbrido de maíz H-47 AE fue el material más alto y PUMA 1183 AEC2 AE como el de menor tamaño.

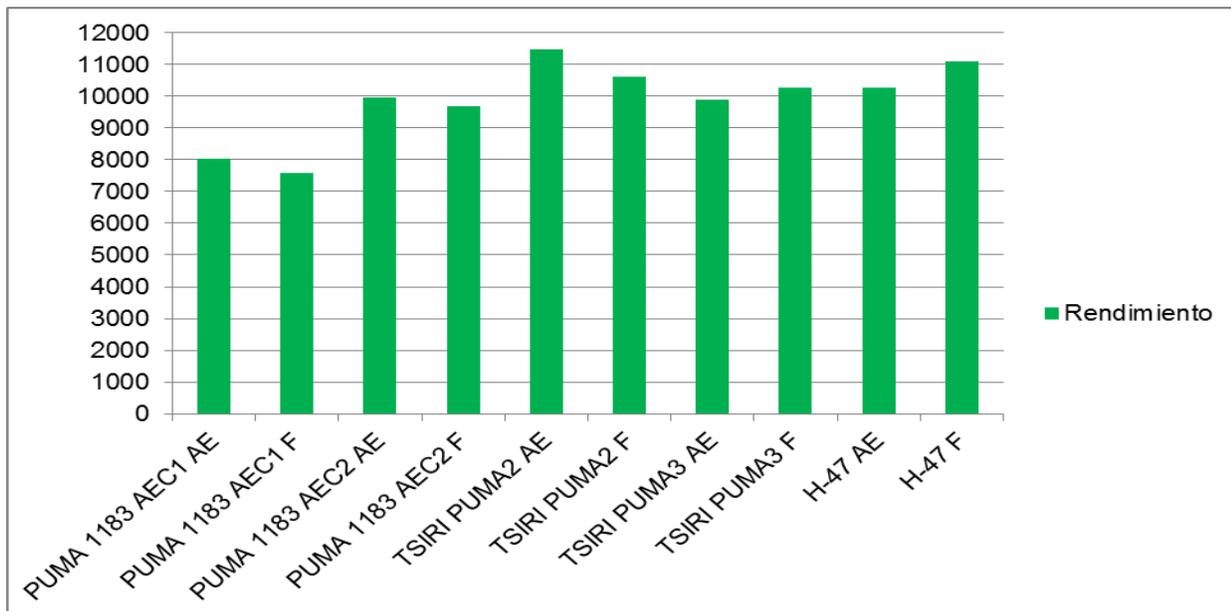


Figura 1. Rendimiento (kg/ha<sup>-1</sup>) de cinco híbridos de maíz evaluados en su versión androestéril (AE) y fértil (F), en la FESC-UNAM. Ciclo primavera verano 2012.

En las demás variables, destaca TSIRI PUMA 2 F por la mayor longitud de mazorca (17 cms), y H-47 F con el mayor número de hileras al igual que el mayor número de granos, estas características explican porque este material está en proceso de registro para su uso comercial en los Valles Altos de México (Tadeo *et al.*, 2014). (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Resultados obtenidos de las variables evaluadas en cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil de la FESC UNAM e INIFAP, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo Primavera-Verano 2012.**

Hibrido	Versión	PV (kh/Hi)	200 Granos (g)	LM (cm)	HM	GH	GM	% Grano
<b>PUMA AEC1</b>	1183 AE	773	66	16	16	31	484	84
<b>PUMA AEC1</b>	1183 F	778	71	15	16	32	512	85
<b>PUMA AEC2</b>	1183 AE	783	72	16	15	32	474	83
<b>PUMA AEC2</b>	1183 F	773	74	15	15	32	480	84
<b>TSIRI PUMA2</b>	AE	787	73	15	16	30	495	86
<b>TSIRI PUMA2</b>	F	783	71	17	16	32	499	85
<b>TSIRI PUMA3</b>	AE	777	73	16	16	31	507	85
<b>TSIRI PUMA3</b>	F	782	66	15	16	30	493	84
<b>H-47</b>	AE	745	70	15	16	30	492	87
<b>H-47</b>	F	770	74	15	17	31	530	87

PV: peso volumétrico; LM: longitud de mazorca; HM: hileras por mazorca; GH: granos por hilera; GM: granos por mazorca

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, así como lo señalado en la discusión de este trabajo, se concluye:

La versión androestéril ( $9930 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en la media de los cinco híbridos evaluados, exhibió rendimiento medio similar con respecto a la versión fértil ( $9854 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ya que estadísticamente no hubo diferencia significativa, lo que confirma que los cinco híbridos en el estudio son isogénicos, y solo difieren en la capacidad para producir o no polen.

El híbrido de maíz TSIRI PUMA 2, fue el mejor material, considerando la media de las versiones androestériles y fértiles, en su combinación con la versión androestéril fue el material con mejor rendimiento, lo que confirma sus buenas características agronómicas que hacen que una versión de él este en proceso de registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), para su uso comercial en los Valles Altos de México.

El híbrido de maíz TSIRI PUMA 2 exhibió el mayor valor en altura de planta (238 cm), lo que podría ser importante para ser utilizado como un material para doble propósito, es decir grano y forraje.

El utilizar genotipos androestériles en la producción de semilla de maíz, y su uso en forma comercial para obtención del del grano, representan ventajas dentro del sistema de producción agrícola, ya que disminuyen costos de producción, eliminando la tarea del desespigue, y representa un incremento en el rendimiento del grano, lo cual es de gran interés al productor.

## VI. LITERATURA CITADA

Airy J. M., Tatum L. A. y Sorenson J. W. 1978. La Producción de semillas, producción de semilla híbrida de maíz y sorgo para grano. Anuario estadístico de semillas. Trad. de la 4ª ed. en inglés por Antonio Marino y Pánfilo Rodríguez. Ed. CECOSA. México. Pp 274-285.

Avila P. M. A., J. L. Arellano V., J. Virgen V. y A. J. Gamez V. 2009. H-52 híbrido de maíz para Valles Altos de la mesa central de Mexico. Agricultura Tecnica en Mexico. 35 (2): 237-240.

Cruz G., P. 1995. Capacidad productiva de maíz de riego bajo dos densidades de población en el Valle del Mezquital. Tesis de Licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola. FES C. Cuautitlan Izcalli, Mexico. Pp. 14-17.

Elías Calles E. S., Sánchez B. S., Hernández P. P. E., Muciño S. S. 2003. Proyecto Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología en el Estado de México: Cadena de Maíz Grano Valles Altos. Instituto de Investigación y Capacitación, Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). Metepec, Estado de México, México.

Espinosa C., A., Sierra M., M., Gómez M., N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Rev. Agronomía Mesoamericana. México. 14(2):117-121.

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

Espinosa C. A., Turrent F. A., Tadeo R. M., Gómez M. N., Sierra M. M., Caballero H. F. 2008 b. 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. Editor J. Luis Seefoó. El Colegio de Michoacán, CONACYT. Zamora, Michoacán. Vol I. Pp 233-255.

Espinosa C. A. y Tadeo R. M. 2009. Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androesteril y fértil en México. *Revista Agronomía Mesoamericana*. 20 (2). Pp 211-216.

Espinosa C. A., Tadeo R. M., Gómez M. N., Sierra M. M., Virgen V. J., Palafox C. A., Caballero H. F., Arteaga E. I., Canales I. E. I., Vázquez C. G., Salinas M. Y. 2010 a. 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., Arteaga E. I., Canales I. E. I., Vázquez C. G., Salinas M. Y. 2010 b. H-51 AE: híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. *Memoria Técnica No. 11. Día de Campo CEVAMEX 2010*. Coatlinchán, México. Pp 17-18.

Espinosa C. A., Tadeo R. M., Virgen V., J., Rojas M., I., Gómez M. N., Sierra M. M., Palafox C. A., Vázquez C. G., Rodríguez M., F., Zamudio G., B., Arteaga E., I., Canales I., E., Martínez Y., B., Valdivia B., R. 2012 a. H-51 AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos del Centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol.35: 347-349.

Espinosa-Calderón, M Tadeo-Robledo , I Arteaga-Escamilla, A Turrent-Fernández, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, A Palafox-Caballero, R Valdivia-Bernal, V Trejo-Pastor, E Canales-Islas. 2012 b. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los Valles Altos de México. *Universidad y Ciencia*. 28(1):57-64.

Estacion Meteorologica Almaraz. 2012. FES Cuautitlan. Resumen anual del comportamiento climatico.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 2da. Edición. Dirección General de Publicaciones. UNAM. México. 246 p.

Grogan C. O., Francis C. A. and Sarvella P. A. 1971. Influence of cytoplasmic male sterility on dry matter accumulation in maize. *Rev. Crop Science*. Vol 5. Pp 365-367.

Martínez Lázaro C., Mendoza Onofre L. E., García de los Santos G., Mendoza Castillo Ma del C., Martínez Garza A. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28. Pp 127-133.

Ortiz Cereceres, J., Ortega Paczka J. R., Molina Galán M., Mendoza Rodríguez M. C., Mendoza Castillo F., Castillo González A., Muñoz Orozco A., Turrent Fernández y 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 e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México.

Poehlman, Jhon Milton. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa. México. Pp 511.

Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editor S. A. México.

Sánchez R., Martínez M. F. A., López L. A. 1998. Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. FIRA, Boletín Informativo, Núm. 309. XXX. Pp 88.

Tadeo R. M., Espinosa C. A., Solano A. M., Martínez R. 2001. Esterilidad masculina para producir semilla híbrida de maíz. *Ciencia y Desarrollo*. Vol. XXVII (157). Pp 62-73.

Tadeo R. M., Espinosa C. A., Solano A. M., Martínez R. 2003 Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Revista Agronomía Mesoamericana* 14(1). Pp 15-19.

Tadeo R. M., Espinosa C. A., Martínez R., Solano A. M., and Piña D. V. A. 1997. Use of CIMMYT germplasm to develop maize hybrids at the UNAM. In: *The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium*. CIMMYT, México city, México. Pp 240-241.

Tadeo R. M. y Espinosa C. A. 2007. Rendimiento de semilla de cruza simple fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Revista Agricultura Técnica en México*. 33(2). Pp 175-180.

Tadeo Robledo M., Espinosa Calderón A., Serrano Reyes J., Sierra Macías M., Caballero Hernández F., Valdivia Bernal R., Gómez Montiel N. O., Palafox Caballero A., Rodríguez Montalvo F. A., y Zamudio González B. 2010. Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1. Pp 273-287.

Tadeo R., M., Espinosa C., A., Turrent F., A., Zamudio G., B., Valdivia B., R., Andrés M., P. 2014. Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52.

Tellez, Cosme. 2008. Productividad de híbridos de maíz de Valles Altos obtenidos con semillas de progenitores fértiles y androestériles. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola. FES C. Cuautitlan Izcalli, Mexico.

Turrent F. A. y Espinosa C. A. 2006. Seguridad alimentaria y el mercado nacional de semillas. En: *Memorias del ciclo de conferencias. 10 Años de Enlace, Innovación, Progreso.* Fundación Hidalgo Produce. INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Pachuca, Pachuca, Hidalgo. Pp: 44- 50.

Turrent Fernández A. 2009. Potencial productivo de maíz. *Revista Ciencias*. Pp 92-93,126-129.

Turrent Fernández A. 1994. Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH. *Publicación Especial No. 12.* Chapingo, México. Pp 55.

Uhart, S. A y F. H Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I Effects on crop growth, development, dry mater partitioning. *Crop Sci.* 35:1376-1383.

Vasal, S. K. 1988. Development of quality protein maize (QPM) hybrids conventional and non-conventional. In N.N Singh (ed.), New Delhi, India. Pp: 57-75.

Vasal, S. K. and F. Gonzalez. 1999. Non-conventional maize hybrids and their seed production. *Advanced Seed Production Course in Maize, ICAR-CIMMYT Collaborative Program, and Hyderabad, India. 8-12 March, 1999.* Pp 16.

Vazquez S. I. 1998. Evaluacion de rendimiento en los maices hibridos puma para Valles Altos y Zona de Transicion. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingenieria Agricola. FES C. Cuautitlan Izcalli, Mexico.