



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

PRODUCTIVIDAD DE SEMILLA, GRANO, FORRAJE Y USO DE  
ANDROESTERILIDAD EN EL HÍBRIDO DE MAÍZ TSÍRI PUMA

MARGARITA TADEO ROBLEDO

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis, titulada: **Productividad de semilla, grano, forraje y uso de androesterilidad en el híbrido de maíz Tsíri PUMA**, realizada por la alumna: Margarita Tadeo Robledo, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GENÉTICA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



DR. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA

DIRECTOR DE TESIS



DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN

ASESOR



DR. RICARDO LOBATO ORTÍZ

ASESOR



DR. NOEL ORLANDO GÓMEZ MONTIEL

ASESOR



DR. MAURO SIERRA MACÍAS

ASESOR



DR. ROBERTO VALDIVIA BERNAL

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, insustituibles instituciones que necesita México, que han permitido desarrollarme como profesora e investigadora.

Al Colegio de Postgraduados por la formación académica obtenida a través de su personal académico.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: IT201215) de la UNAM y al Programa Interno de Apoyo a Proyectos de Investigación de la FESC, por el financiamiento, para la realización de los trabajos experimentales que han permitido que conjuntemos un valioso equipo de investigación de profesores, investigadores y estudiantes.

Al Dr. J. Jesús García Zavala, por su valioso apoyo y aliento para la conclusión de este proyecto, agradezco sus consejos y apoyo moral, así como la confianza de que este esfuerzo podría terminar sin complicaciones.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por su motivación, enseñanzas, y empeño para la terminación de mis estudios doctorales.

Al Dr. Ricardo Lobato Ortíz, por su valioso apoyo para la terminación de mis estudios doctorales, su buena voluntad y respaldo en todo lo que se requería para lograr que se cubrieran los trámites necesarios.

Al Dr. Noel Orlando Gómez Montiel, por su respaldo en el trabajo inicial de investigación, testigo de que se trabajó arduamente y que merecía culminarse aquel esfuerzo. En este trabajo nuevamente su apoyo fue importante.

Al Dr. Mauro Sierra Macías por su apoyo y amistad de tantos años, desde los tiempos del Campo Experimental Cotaxtla, con los incontables colegas y todo lo que hemos pasado.

Al Dr. Roberto Valdivia Bernal por tantos años de amistad y su apoyo de siempre.

A los compañeros profesores, investigadores, estudiantes actuales y los que han formado parte del grupo de maíz en otros tiempos en la FESC-UNAM, Enrique Canales Islas, Israel Arteaga Escamilla, Beatriz Martínez Yañez, Consuelo López López, Job Zaragoza Esparza, Karina Mora García, Alma Lili Cárdenas Marcelo, Benjamín Martínez Nuñez, Hugo Alcantar Lugo, Ana María Solano (qepd), Rafael Martínez Mendoza, Ángel Piña del Valle, Miguel Bayardo Parra, por su importante ayuda en los trabajos de campo y laboratorio, sin su colaboración este trabajo no sería posible. Para ustedes mi reconocimiento, amistad y admiración. Por todo lo que hemos vivido en relación siempre al maíz.

A mis amigos de siempre Jorge Tortora Pérez y Alfredo Cuellar Ordáz, por su constante apoyo e invaluable amistad de tantos años, con la firme creencia de que nada es más importante que la amistad.

## DEDICATORIA

*Alejandro:*

Para ti, por toda una vida compartida,  
nuevamente por tu fe inquebrantable en mí, con  
profundo amor.

*A mis hijos:*

Alejandro, Arlen, Aldo y Elizabeth, para  
ustedes con todo mi amor

Para mis dos amores:

*Diego Alejandro y Andrés* dos seres  
maravillosos que han venido a traer alegría a  
nuestra vida, los amo profundamente.

*Gracias por existir.*

*A la memoria de mis padres.*

*A mis hermanos con cariño.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL	xiv
OBJETIVOS GENERALES	xvi
<b>CAPÍTULO I: TSÍRI PUMA, HÍBRIDO DE MAÍZ PARA VALLES ALTOS CON ESQUEMA DE ANDROESTERILIDAD PARA PRODUCCION DE SEMILLAS.</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción varietal Híbrido de maíz Tsíri PUMA	1
1.2 Literatura citada	5
<b>CAPÍTULO II: PRODUCTIVIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ BAJO DIFERENTES PROPORCIONES DE SEMILLA ANDROESTÉRIL Y FÉRIL</b>	<b>7</b>
2.1 Resumen	7
2.2 Abstract	8
2.3 Introducción	8
2.4 Materiales y Métodos	11
2.5 Resultados y discusión	13
2.6 Conclusiones	18
2.7 Literatura citada	18
<b>CAPÍTULO III: PRODUCTIVIDAD DE HÍBRIDOS ANDROESTÉRILES Y FÉRILES DE MAÍZ EN CUATRO AMBIENTES DE EVALUACIÓN.</b>	<b>21</b>
3.1 Resumen	21
3.2 Abstract	22
3.3 Introducción	23
3.4 Materiales y Métodos	25
3.5 Resultados y discusión	27
3.6 Conclusiones	31

3.7	Literatura citada	32
<b>CAPÍTULO IV: PRODUCTIVIDAD DE GRANO Y FORRAJE DEL HÍBRIDO DE MAÍZ TSÍRI PUMA EN DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN</b>		34
4.1	Resumen	34
4.2	Abstract	35
4.3	Introducción	36
4.4	Materiales y Métodos	38
4.5	Resultados y discusión	43
4.6	Conclusiones	54
4.7	Literatura citada	55
<b>CAPÍTULO V: BIOFERTILIZACIÓN EN HÍBRIDOS DE MAÍZ ANDROESTÉRILES Y FÉRTILES PARA LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO</b>		58
5.1	Resumen	58
5.2	Abstract	59
5.3	Introducción	60
5.4	Materiales y Métodos	62
5.5	Resultados y discusión	66
5.6	Conclusiones	73
5.7	Literatura citada	74
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN GENERAL		77
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES GENERALES		85
CAPÍTULO VIII: LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL		88

## ÍNDICE DE CUADROS

No. de Cuadro	Título	Pág.
1	Proporciones de semilla fértil y androestéril de tres híbridos trilineales de maíz (Tsíri PUMA 1, Tsíri PUMA 2 y H-47 AE) utilizados para la evaluación de su capacidad productiva.	11
2	Cuadrados medios y significancia estadística de variables evaluadas en tres híbridos de maíz bajo seis proporciones de semilla androestéril y fértil en dos fechas de siembra. Cuautitlán Izcalli, México. FESC-UNAM, Ciclo primavera – verano 2012.	13
3	Comparación de medias (Tukey) de dos fechas de siembra para diferentes variables evaluadas en tres híbridos de maíz considerando la media de seis proporciones de semilla androestéril y fértil. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.	15
4	Comparación de medias (Tukey) de tres híbridos para diferentes variables evaluadas considerando la media de dos fechas de siembra y seis proporciones de semilla androestéril y fértil. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.	16
5	Comparación de medias (Tukey) de proporciones de semilla androestéril y fértil para diferentes variables evaluadas, considerando la media de tres híbridos de maíz y dos fechas de siembra. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.	17
6	Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y otras variables evaluadas en cuatro ambientes (A) de cinco híbridos de maíz (B) en sus versiones fértiles y androestériles (C) de Valles Altos. Primavera-Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.	28
7	Comparación de medias entre cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles, considerando la media de cuatro ambientes, para rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.	29
8	Comparación de medias entre las versiones androestéril y fértil de los híbridos evaluados, considerando el promedio de cinco híbridos y cuatro ambientes de evaluación, para rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.	30
9	Comparación de medias entre cuatro ambientes de evaluación, considerando el promedio de cinco híbridos y sus dos versiones androestériles y fértiles, para rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.	31
10	Híbridos de maíz de grano blanco de ciclo intermedio en sus versiones androestériles y fértiles, evaluados en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población para determinar su productividad de grano y forraje. Ciclo primavera-verano 2012.	38



11	Cuadrados medios y significancia estadística de seis variables evaluadas para producción de forraje en híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértiles, en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	44
12	Cuadrados medios y significancia estadística de seis variables evaluadas para producción de grano en híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértiles, en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	45
13	Comparación de medias para producción de forraje entre ambientes de evaluación considerando la media de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	46
14	Comparación de medias del rendimiento de grano y otras variables entre ambientes, considerando la media de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	47
15	Comparación de medias para variables de calidad de forraje entre cinco híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértil considerando el promedio de dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	48
16	Comparación de medias para rendimiento de grano y otras variables evaluadas entre cinco híbridos de maíz considerando el promedio de sus versiones androestéril y fértil en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	49
17	Comparación de medias para rendimiento de forraje y otras variables evaluadas entre las versiones Androestéril y Fértil de cinco híbridos de maíz evaluados en dos ambientes y en dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.	50
18	Comparación de medias para producción de grano y otras variables entre versiones Androestéril y Fértil de cinco híbridos de maíz bajo dos densidades de población y en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.	51
19	Comparación de medias para producción de forraje entre dos densidades de población de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.	52
20	Comparación de medias para producción de grano y otras variables entre dos densidades de población de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.	52
21	Tratamientos evaluados en cada experimento de los cuatro ambientes (FESC F1, FESC F2, CEVAMEX F1, CEVAMEX F2). Ciclo	63

	primavera-verano 2012.	
22	Cuadrados medios y significancia estadística de nueve variables de cinco híbridos de maíz Fértiles y Androestériles evaluados con aplicación y sin aplicación de Biofertilizante en cuatro ambientes. Primavera -Verano 2012.	67
23	Comparación de medias entre cuatro ambientes de evaluación considerando el promedio de cinco híbridos de maíz en sus versiones Fértiles y Androestériles con y sin aplicación de Biofertilizante. Primavera – Verano 2012.	68
24	Comparación de medias para diferentes variables entre cinco híbridos de maíz en sus versiones Fértiles y Androestériles considerando el promedio de la aplicación y no aplicación de Biofertilizante, evaluados en cuatro ambientes. Primavera – Verano 2012.	69
25	Comparación de medias entre las versiones Fértiles y Androestériles de cinco híbridos con y sin aplicación de biofertilizante, evaluados en cuatro ambientes para diferentes variables. Primavera – Verano 2012.	70
26	Comparación de medias entre tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante para rendimiento y otras variables, considerando el promedio de cinco híbridos en sus versiones Fértiles y Androestériles evaluados en cuatro ambientes. Primavera – Verano 2012.	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

No. de Figura	Título	Pág.
1	Híbrido de maíz Tsíri PUMA.	2
2	Esquema de obtención del híbrido de maíz Tsíri PUMA.	4
3	Lote de producción de semillas utilizando androesterilidad	12
4	Rendimiento de cinco híbridos de maíz en promedio de sus versiones androestéril y fértil evaluados bajo dos densidades de población en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2012.	53

# **PRODUCTIVIDAD DE SEMILLA, GRANO, FORRAJE Y USO DE ANDROESTERILIDAD EN EL HÍBRIDO DE MAÍZ TSÍRI PUMA**

**Margarita Tadeo Robledo, D.C.**  
**Colegio de Postgraduados, 2015.**

## **RESUMEN GENERAL**

En la región de Valles Altos de México (2,200 a 2,600 msnm), el área sembrada con maíz (*Zea mays* L.) que cuenta con condiciones de riego, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables, es de aproximadamente 700 mil hectáreas. De esta superficie, por lo menos 300 mil hectáreas podrían ser sembradas con híbridos de maíz de alto rendimiento, los cuales, dadas las condiciones favorables de humedad existentes, exhibirían buena adaptación y productividad. El rendimiento promedio que se obtiene en la región, bajo las condiciones hídricas mencionadas, es de 3.5 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, mismo que podría incrementarse por lo menos a 6.0 t ha<sup>-1</sup> si se emplearan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP). La producción de semilla de maíz híbrido requiere que se quiten las espigas de las plantas usadas como hembras para mantener la calidad genética de la semilla, y ésta sola actividad requiere del empleo de 24 a 50 jornales ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad para retirar la espiga. Ante esta dificultad, una alternativa para facilitar la producción de semilla híbrida es usar líneas de maíces con androesterilidad como progenitores femeninos, pues éstas no producen polen, y entonces ya no sería necesario desespigarlas. Desde 1992, investigadores del INIFAP y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) trabajan conjuntamente con el carácter de esterilidad masculina en maíz y su incorporación a los progenitores de híbridos. Como producto de estos trabajos agradeciendo el financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT. Clave: IT201215), se desarrolló y obtuvo el híbrido de maíz denominado Tsíri PUMA, el cual fue inscrito en forma definitiva en el CNVV, con el número de registro MAZ - 1571 – 290514, además, está en proceso de incorporación en la UPOV, para que esta instancia otorgue el Título de Obtentor correspondiente a favor de la UNAM. Después de 23 años de iniciar los trabajos con

androesterilidad en maíz, en forma paralela se llevaron a cabo diferentes trabajos en líneas de investigación que permitieron que en este documento se presente información relacionada con el híbrido Tsíri PUMA; los resultados obtenidos apoyaron su definición para liberarse comercialmente, resaltando de este híbrido sus características agronómicas, su rendimiento y otros elementos que lo ubican como alternativa de uso con buen potencial para los productores de maíz de los Valles Altos de México. Los trabajos que se integran en este documento corresponden a cinco temas en torno al híbrido Tsíri PUMA; aquí se presenta una síntesis de las conclusiones en cada línea de investigación:

**1. Descripción Varietal: “Tsíri PUMA, híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas”.**

Tsíri PUMA es un híbrido trilineal de maíz, de grano blanco y textura semidentada, con adaptación favorable a la región de los Valles Altos (2,200 a 2,600 msnm) de México; sin embargo, prospera muy bien incluso en zonas que van de los 1,900 a los 2,600 msnm. Es un híbrido de maíz de madurez intermedia, ya que logra su floración masculina, o espigamiento, a los 84 días y su floración femenina, o jiloteo, a los 86 días, medidas éstas en evaluaciones hechas en altitudes de 2,250 msnm, resultando ligeramente más tardío que el híbrido H-48. Tsíri PUMA llega a madurez fisiológica a los 158 y 163 días, y puede cortarse, amogotarse y posteriormente pizcarse, si es que esta labor se hiciera manualmente; en cambio, usando maquinaria, éste se puede cortar a los 175 días con cosechadora mecánica. Este híbrido de maíz presenta una altura de planta de 255 a 270 cm y una altura de mazorca de 127 a 140 cm. La longitud de su mazorca es de 16.5 cm, con 16 hileras y 32 granos por hilera; su relación grano/mazorca es de 86 %. Tsíri PUMA es resistente al acame de raíz y tallo y a las principales enfermedades de planta y mazorca. Su rendimiento medio a través de varios años y localidades fue de 9.5 a 12.5 t ha<sup>-1</sup>, en el Estado de México, con un rendimiento medio de 8.5 t ha<sup>-1</sup>, valor que resultó superior en 20 % al del híbrido testigo H-48.

## **2. “Productividad de tres híbridos de maíz bajo diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil”:**

Se planteó como objetivo definir la capacidad productiva de tres híbridos de maíz, entre ellos Tsíri PUMA, en sus versiones androestéril y fértil, y determinar la mejor proporción de mezcla de semilla androestéril (AE) y fértil (F), en dos fechas de siembra. Para ello, se establecieron dos experimentos en el ciclo primavera-verano 2012 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM). Las fuentes de variación fueron fechas de siembra, híbridos, proporciones de semilla androestéril y fértil (0-100; 20-80; 40-60; 60-40; 80-20; 100-0) y sus interacciones. El rendimiento no tuvo diferencias significativas entre fechas de siembra, pero la comparación de medias entre genotipos detectó que el híbrido Tsíri PUMA ( $8,989 \text{ kg ha}^{-1}$ ) fue estadísticamente superior en rendimiento a H-47 AE ( $8,190 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La comparación de medias (Tukey, 0.05 de probabilidad) entre las proporciones de semilla androestéril y fértil, considerando la media de los tres genotipos evaluados y las dos fechas de siembra, detectó dos grupos de significancia, donde los dos mejores rendimientos fueron 100 % androestéril 0 % fértil ( $9,441 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y 80% androestéril + 20% fértil ( $9,390 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Debido a que la versión con sólo semilla androestéril no es prácticamente factible, una opción adecuada es la proporción 80:20, que optimiza el esquema por usar menor cantidad de jornales, pues requiere una fracción de 20% de semilla fértil. La proporción 100% semilla fértil tuvo el menor rendimiento ( $8,116 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

## **3.- “Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación”.**

Se evaluó la capacidad productiva de cinco híbridos trilineales de maíz (Tsíri PUMA, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, y PUMA 1183 AEC2) con versión androestéril y fértil cada uno. Los factores de este estudio fueron: los cinco híbridos trilineales, las dos versiones de los híbridos: androestéril y fértil, y los cuatro ambientes (resultado de combinar dos localidades y dos fechas de siembra). El análisis estadístico de los datos se efectuó en forma factorial, considerando las fuentes de variación: ambientes, híbridos, versiones de los híbridos (androestéril/fértil), y las interacciones. Para rendimiento se observó diferencia altamente significativa entre ambientes, entre híbridos, y en la interacción ambiente x híbridos. La interacción híbridos x versión androestéril/fértil resultó

significativa, pero no se detectó significancia entre versiones de los híbridos (androestéril/fértil) ni en el resto de interacciones. Se concluyó que el rendimiento promedio en la localidad FESC-F2 (9,892 kg ha<sup>-1</sup>) fue superior estadísticamente al promedio en los otros tres ambientes. El híbrido Tsíri PUMA produjo el mayor rendimiento (8,930 kg ha<sup>-1</sup>), mientras que PUMA 1183 AEC1 produjo el menor (6,321 kg ha<sup>-1</sup>). Por otro lado, el rendimiento promedio de la versión androestéril, considerando los cinco genotipos en los cuatro ambientes, fue de 7,327 kg ha<sup>-1</sup>, similar estadísticamente al rendimiento de la versión fértil (7,294 kg ha<sup>-1</sup>).

#### **4. “Productividad de grano y forraje del híbrido de maíz Tsíri PUMA en dos densidades de población”**

En esta investigación se evaluó un grupo de cinco híbridos de maíz en sus versiones androestéril y fértil bajo dos densidades de población. El objetivo fue determinar la productividad de grano y forraje, así como la calidad bromatológica del forraje producido por estos materiales. La evaluación se realizó en el ciclo primavera-verano 2012 en dos localidades, la UNAM campus Cuautitlán, en Cuautitlán Izcalli, y el Campo Experimental Valle de México-INIFAP, CEVAMEX, en Texcoco, México. Se concluyó que el mejor híbrido fue H-47 AE, con un rendimiento de grano de 10,138 kg ha<sup>-1</sup>, el cual fue similar al rendimiento de los híbridos Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2, y PUMA 1183 (2). Para rendimiento de forraje (83,369 kg ha<sup>-1</sup>), materia seca (24,623 kg ha<sup>-1</sup>) y porcentaje de digestibilidad (72.47 %), el híbrido H-47 AE también presentó los valores más altos. En porcentaje de proteína, el mejor híbrido fue el PUMA 1183 (1), con 9.04 %, seguido de PUMA 1183 (2). La versión androestéril de los híbridos tuvo mejores rendimientos de grano, forraje verde y materia seca que la versión fértil. La mejor densidad de población fue la de 95,000 plantas por hectárea, que mostró los mejores rendimientos para grano (10,143 kg ha<sup>-1</sup>), forraje verde (87,997 kg ha<sup>-1</sup>) y materia seca (25,561 kg ha<sup>-1</sup>).

#### **5. “Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México”**

Se evaluaron cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles con y sin aplicación de Micorriza (*Glomus intraradices*), para determinar su rendimiento de grano. La evaluación se realizó en cuatro experimentos, dos ubicados en la Facultad de Estudios

Superiores FES Cuautitlán-UNAM y dos en el Campo Experimental del Valle de México CEVAMEX, INIFAP, en Texcoco, México. El objetivo fue estudiar el efecto del biofertilizante en el rendimiento de grano de los híbridos. Para rendimiento se detectó significancia estadística entre ambientes y entre genotipos, no así para ningún otro factor o interacciones. La media general del rendimiento fue de 8,294 kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento obtenido en la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM fue de 9,939 kg ha<sup>-1</sup>, siendo superior al de la fecha 1 del CEVAMEX (6,071 kg ha<sup>-1</sup>). No hubo efecto de la aplicación de Micorriza en el rendimiento medio de los híbridos (8,310 kg ha<sup>-1</sup>), el cual fue similar al del testigo sin aplicación de micorriza (8,279 kg ha<sup>-1</sup>). El genotipo que tuvo el rendimiento más alto fue Tsíri PUMA, con 9,557 kg ha<sup>-1</sup>, y resultó diferente estadísticamente al del H-47 AE (8,692 kg ha<sup>-1</sup>). Tsíri PUMA y PUMA 1183 AE rindieron 8,687 kg ha<sup>-1</sup> y 8,150 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otro lado, el rendimiento medio de la versión androestéril de los híbridos fue de 8,447 kg ha<sup>-1</sup>, siendo similar estadísticamente al promedio de la versión fértil (8,142 kg ha<sup>-1</sup>).

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante a nivel mundial (FAO, 2015). En el año 2014, la producción de maíz fue de 1001.74 millones de toneladas de grano. En México, centro de origen de la especie, en cada ciclo agrícola se producen en promedio 22.1 millones de toneladas, con un rendimiento medio de 2.8 ton/ha; sin embargo, cada año se tiene que recurrir a la importación de más de 10 millones de toneladas de maíz amarillo, para poder satisfacer la demanda de grano y forraje para la producción de carne, leche y huevo, por lo que el consumo total aparente nacional requiere en total 32.1 millones de toneladas. En México se siembran 8.5 millones de ha<sup>-1</sup>, en 2.3 millones de unidades de producción (Ortiz et al., 2007; Turrent, 2009; Espinosa et al., 2008). Se estima que 330 generaciones de agricultores mesoamericanos lograron la hazaña tecnológica de mejorar al teocintle, su ancestro silvestre, de unos cuantos granos, hasta la mazorca moderna del maíz, de 350 a 500 semillas por mazorca. No hay otra especie con similar capacidad de multiplicación. Existen diferentes variedades de maíz para infinidad de agrosistemas, manejo del cultivo, ambientes, altitud, y otras condiciones, las cuales tienen usos específicos y especializados por los agricultores. Se conocen más de tres mil diferentes usos. En México, el 76% del maíz se cultiva bajo humedad de lluvia irregular y escasa y el 24% restante bajo riego (Turrent, 2009; Turrent, 2009 a).

En la región de Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm), el área sembrada con maíz que cuenta con condiciones de riego, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables, es de aproximadamente 700 mil hectáreas (Turrent, 1994); de esta superficie, por lo menos 300 mil hectáreas podrían ser sembradas con híbridos de alto rendimiento, los cuales, dadas las condiciones favorables de humedad existentes, exhibirían buena adaptación y productividad. El rendimiento promedio que se obtiene en la región, bajo las condiciones hídricas mencionadas, es de 3.5 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, mismo que podría incrementarse por lo menos a 6.0 t ha<sup>-1</sup> si se emplearan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por el INIFAP (Espinosa et al., 2010; Espinosa et al., 2012).



La producción de semilla de maíz híbrido requiere que se quiten las espigas de las plantas usadas como hembras para mantener la calidad genética de la semilla, y ésta sola actividad requiere del empleo de 24 a 50 jornales ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad para retirar la espiga (Tadeo et al., 2003; Martínez et al., 2005). Ante esta dificultad, una alternativa para facilitar la producción de semilla híbrida es usar líneas de maíces con androesterilidad como progenitores femeninos, pues éstas no producen polen, y entonces ya no sería necesario desespigarlas (Martínez et al., 2005; Espinosa et al., 2012).

Desde 1992, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) trabajan conjuntamente con la esterilidad masculina en maíz y su incorporación a los progenitores de híbridos (Tadeo et al., 2003; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014). Como producto de estos trabajos, se desarrolló y obtuvo el híbrido de maíz H-51 AE, el cual fue registrado por el INIFAP ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número definitivo MAZ-1145-040211 y ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), obteniéndose el Título de Obtentor 1474 a favor del INIFAP (Espinosa et al., 2012).

Posteriormente, como resultado de la investigación empleando androesterilidad, por parte de la UNAM se generó el híbrido de maíz denominado Tsíri PUMA, el cual fue inscrito en forma definitiva en el CNVV, con el número de registro MAZ - 1571 – 290514, además está en proceso de incorporación en la UPOV, para que esta instancia otorgue el Título de Obtentor correspondiente.

En este trabajo se presentan los resultados generados en relación con las líneas de investigación en torno al híbrido Tsíri PUMA, lo que incluye la descripción de sus características agronómicas, su rendimiento y otros elementos que lo ubican como alternativa de uso con buen potencial para los productores de maíz de los Valles Altos de México (Espinosa et al., 2010; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014). Pero también se presentan otros trabajos paralelos donde se estudia el uso eficiente de este genotipo.

Se presentan cinco trabajos relacionados con el híbrido Tsiri PUMA, los cuales tuvieron como objetivos:

**OBJETIVOS GENERALES:**

1. Establecer las características generales descriptivas, agronómicas y de adaptación del híbrido Tsiri PUMA.
2. Definir la capacidad productiva de tres híbridos de maíz, entre ellos Tsiri PUMA, en sus versiones androestéril y fértil y determinar la mejor proporción de mezcla de semilla androestéril (AE) y fértil (F), en dos fechas de siembra.
3. Determinar la capacidad productiva de híbridos evaluados, considerando sus versiones androestéril y fértil, así como la media de cuatro ambientes de evaluación.
4. Definir entre cinco híbridos de ciclo intermedio en sus versiones androestéril y fértil bajo dos densidades de población, su productividad de grano y su calidad de forraje.
5. Determinar la respuesta en productividad de grano de cinco híbridos trilineales de maíz, cada uno en sus versiones androestéril y fértil, ante la aplicación de un biofertilizante a base de una micorriza arbuscular, en comparación con un testigo sin aplicación de biofertilizante.

# **CAPÍTULO I: TSÍRI PUMA, HÍBRIDO DE MAÍZ PARA VALLES ALTOS CON ESQUEMA DE ANDROESTERILIDAD PARA PRODUCCION DE SEMILLAS**

## **1.1 DESCRIPCIÓN VARIETAL HÍBRIDO DE MAÍZ TSÍRI PUMA.**

En la región de Valles Altos de México (2,200 a 2,600 msnm), el área sembrada con maíz (*Zea mays* L.) que cuenta con condiciones de riego, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables, es de aproximadamente 700 mil hectáreas (Turrent, 1994); de esta superficie, por lo menos 300 mil hectáreas podrían ser sembradas con híbridos de alto rendimiento, los cuales, dadas las condiciones favorables de humedad existentes, exhibirían buena adaptación y productividad. El rendimiento promedio que se obtiene en la región, bajo las condiciones hídricas mencionadas, es de 3.5 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, mismo que podría incrementarse por lo menos a 6.0 t ha<sup>-1</sup> si se emplearan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por el INIFAP (Espinosa et al., 2010; Espinosa et al., 2012).

La producción de semilla de maíz híbrido requiere que se quiten las espigas de las plantas usadas como hembras para mantener la calidad genética de la semilla, y ésta sola actividad requiere del empleo de 24 a 50 jornales ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad para retirar la espiga (Tadeo et al., 2003; Martínez et al., 2005). Ante esta dificultad, una alternativa para facilitar la producción de semilla híbrida es usar líneas de maíces con androesterilidad como progenitores femeninos, pues éstas no producen polen, y entonces ya no sería necesario desespigarlas (Martínez et al., 2005; Espinosa et al., 2012).

Desde 1992, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) trabajan conjuntamente con la esterilidad masculina en maíz y su incorporación a los progenitores de híbridos (Tadeo et al., 2003; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014). Como producto de estos trabajos, se desarrolló y obtuvo el híbrido de maíz H-51 AE, el cual fue registrado por el INIFAP ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número definitivo MAZ-1145-040211 y ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), obteniéndose el Título de Obtentor 1474 a favor del INIFAP (Espinosa et al., 2012).

Posteriormente, como resultado de la investigación empleando androesterilidad, por parte de la UNAM se generó el híbrido de maíz denominado Tsíri PUMA, el cual fue inscrito en forma definitiva en el CNVV, con el número de registro MAZ - 1571 – 290514, además está en proceso de incorporación en la UPOV, para que esta instancia otorgue el Título de Obtentor correspondiente.

En este escrito se presenta la información del híbrido Tsíri PUMA, resaltando sus características agronómicas, su rendimiento y otros elementos que lo ubican como alternativa de uso con buen potencial para los productores de maíz de los Valles Altos de México (Espinosa et al., 2010; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014).

Tsíri PUMA es un híbrido trilineal, de grano blanco y textura semidentada, con adaptación favorable a la región de los Valles Altos (2,200 a 2,600 msnm) de México; sin embargo, prospera muy bien incluso en zonas que van de los 1,900 a los 2,600 msnm (Figura 1). Es un híbrido de maíz de madurez intermedia, ya que logra su floración masculina, o espigamiento, a los 84 días y su floración femenina, o jiloteo, a los 86 días, medidas éstas en evaluaciones hechas en altitudes de 2,250 msnm, resultando ligeramente más tardío que el híbrido H-48.



Figura 1. Híbrido de maíz Tsíri PUMA.

Tsíri PUMA llega a madurez fisiológica a los 158 y 163 días, y puede cortarse, amogotarse y posteriormente pizcarse, si es que esta labor se hiciera manualmente; en cambio, usando maquinaria, éste se puede cortar a los 175 días con cosechadora mecánica. Este híbrido de maíz presenta una altura de planta de 255 a 270 cm y una altura de mazorca de 127 a 140 cm. La longitud de su mazorca es de 16.5 cm, con 16 hileras y 32 granos por hilera; su relación grano/mazorca es de 86 %. Tsíri PUMA es resistente al acame de raíz y tallo y a las enfermedades de planta y mazorca. Su rendimiento medio a través de varios años y localidades fue de 9.5 a 12.5 t ha<sup>-1</sup>, en el Estado de México, con un rendimiento medio de 8,500 kg ha<sup>-1</sup>, valor que resultó superior en 20 % al del H-48. En trabajos de investigación para estudiar su uso como ensilado, Tsíri PUMA produjo muy buen forraje, por lo que ha sido recomendado para usarse con doble propósito; es decir, para producción de grano o bien para ensilado (López, 2014).

En la producción del híbrido trilineal de maíz Tsíri PUMA participan las líneas: IA424F, IA424 AEC, IA249, IA449. (Figura 2)

La línea IA424F se obtuvo a partir de germoplasma del CIMMYT, mediante selecciones en autofecundaciones, cruzamientos planta a planta, autofecundaciones y ciclos de avance fraternal, hasta identificar a la línea MIU424, que corresponde a la línea IA424F; la línea IA424 AEC fue desarrollada en la UNAM, al incorporarle a la línea IA424F la androesterilidad tipo C, la cual fue identificada en la UNAM con la genealogía CxP3PL7, y se caracteriza por su estabilidad y acción en el grupo C; IA424F fue utilizada como progenitor masculino para cruzarse con la fuente de androesterilidad; posteriormente se efectuaron seis retrocruzas hacia la línea IA424F para obtener su versión con esterilidad masculina, a la cual se denominó IA424AEC, siendo ésta una versión isogénica, cuya línea mantenedora es la propia IA424F en su versión fértil.

La línea IA249 es de la Raza Cónico y fue derivada y avanzada en la UNAM a partir de la generación F2 de un híbrido obtenido en la propia UNAM, mientras que la línea IA449 fue derivada y avanzada en la UNAM a partir de la generación F2 de un material comercial.

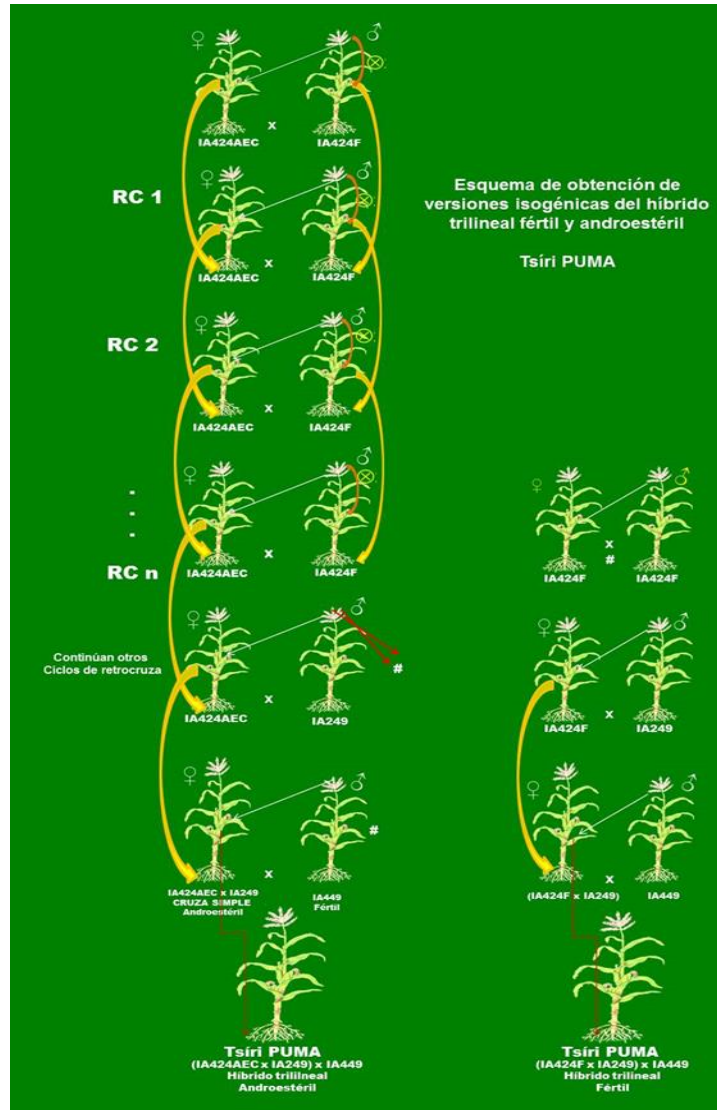


Figura 2. Esquema de obtención del híbrido de maíz Tsiri PUMA.

En resumen, la línea IA424F se obtuvo a través del método genealógico o de pedigrí. La línea IA424 AEC se obtuvo por retrocruzamientos manuales para incorporar la fuente de androesterilidad tipo “C” a la línea IA424F y por otros ciclos de retrocruzas para lograr la versión isogénica de la línea, pero con características de androesterilidad (IA424 AEC). Las líneas IA249 e IA449 fueron obtenidas a través del método de pedigrí.

La producción de semillas del híbrido Tsiri PUMA se puede hacer con facilidad, ya que sus progenitores coinciden en días a floración. Las cruza simple hembras (IA424AEC X IA249) y (IA424F X IA249), versión androestéril y versión fértil, respectivamente, exponen sus estigmas

en el mismo número de días (86) requerido por la línea IA449 macho para liberar polen. Ambas cruza hembra muestran una alta productividad, ya que rinden de 7.5 hasta 9.0 t ha<sup>-1</sup> de semilla comercial, la cual es de tamaño mediano y grande y con una alta proporción de semilla plana (70 %). En un mismo lote de producción del híbrido trilineal se pueden sembrar ambas cruza simples en la proporción 80% androestéril y 20% fértil, ya que el macho polinizador es el mismo para ambas.

En la cosecha se mezclan mazorcas de hembras androestériles y fértiles para obtener la proporción 80:20 señalada; con lo anterior se logra disminuir los costos de producción de semilla, por la menor proporción de plantas hembras que deben desespigarse, y además se favorece el control de calidad genética de la semilla híbrida que se obtiene; de esta manera se ha encontrado una productividad media de 8,116 kg ha<sup>-1</sup> de semilla. La producción de semilla del híbrido Tsíri PUMA puede hacerse en el Valle de México, Valle de Toluca, Atlacomulco, Valle de Puebla, y San Martín Texmelucan, y también en algunas localidades del estado de Tlaxcala.

## 1.2 LITERATURA CITADA

- Espinosa C A, M Tadeo R, N Gómez M, M Sierra M, J Virgen V, A Palafox C, F Caballero H, I Arteaga E, E I Canales I, G Vázquez C, Y Salinas M (2010)** H-51 AE: híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. *In: Memoria Técnica No. 11, Día de Campo CEVAMEX 2010. Coatlínchán, México. pp. 17-18.*
- Espinosa C A, M Tadeo R, J Virgen V, I Rojas M, N Gómez M, M Sierra M, A Palafox C, G Vázquez C, F Rodríguez M, B Zamudio G, I Arteaga E, E I Canales I, B Martínez Y, R Valdivia B (2012)** 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.*
- López L C (2014)** Productividad de grano y forraje en dos densidades de población de híbridos de maíz androestériles y fértiles. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Licenciatura. 49 p.
- Martínez-Lazaro C, L E Mendoza-Onofre, S G García-Santos, M C Mendoza-Castillo, A Martínez-Garza (2005)** Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androestériles y androestériles-isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex. 28(2):127-133.*

- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez M (2003)** Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 14(1):15-19.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (2): 273-287.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P Andrés-Meza (2014)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52
- Turrent F A (1994)** Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH, Publicación Especial No. 12, Chapingo, México.



## CAPÍTULO II: PRODUCTIVIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ BAJO DIFERENTES PROPORCIONES DE SEMILLA ANDROESTÉRIL Y FÉRTIL

### 2.1 RESUMEN

En esta investigación se planteó como objetivo definir la capacidad productiva de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.), entre ellos Tsíri PUMA, en sus versiones androestéril y fértil, y determinar la mejor proporción de mezcla de semilla androestéril (AE) y fértil (F), en dos fechas de siembra. Para ello, se establecieron dos experimentos en el ciclo primavera-verano 2012 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), empleándose un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las fuentes de variación fueron fechas de siembra, híbridos, proporciones de semilla androestéril y fértil (0-100; 20-80; 40-60; 60-40; 80-20; 100-0) y sus interacciones. El rendimiento no tuvo diferencias significativas entre fechas de siembra, pero la comparación de medias entre genotipos detectó que el híbrido Tsíri PUMA (8,989 kg ha<sup>-1</sup>) fue estadísticamente superior en rendimiento a H-47 AE (8,190 kg ha<sup>-1</sup>). La comparación de medias (Tukey, 0.05 de probabilidad) entre las proporciones de semilla androestéril y fértil, considerando la media de los tres genotipos evaluados y las dos fechas de siembra, detectó dos grupos de significancia, donde los dos mejores rendimientos fueron 100 % androestéril 0 % fértil (9,441 kg ha<sup>-1</sup>) y 80% androestéril + 20% fértil (9,390 kg ha<sup>-1</sup>). Debido a que la versión con sólo semilla androestéril no es prácticamente factible, una opción adecuada es la proporción 80:20, que optimiza el esquema por usar menor cantidad de jornales, pues requiere una fracción de 20% de semilla fértil. La proporción 100% semilla fértil tuvo el menor rendimiento (8,116 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palabras Clave:** *Zea mays*, androesterilidad, desespigamiento, producción de semillas, híbridos.

## PRODUCTIVITY OF THREE MAIZE HYBRIDS UNDER DIFFERENT PROPORTIONS OF MALE-STERILE AND FERTILE SEED

### 2.2 ABSTRACT

The objective of this research was to know the yield performance of three hybrids of maize (*Zea mays* L.), including Tsíri PUMA, in its male sterile and fertile versions, and also to determine the best mixing proportions of male-sterile (MS) and fertile (F) seeds, in two planting dates. Thus, two experiments were established at the School of Higher Studies Cuautitlán (FESC-UNAM) in the season spring/summer 2012, and a randomized complete block design with three replications was used. The sources of variation were planting dates, hybrids, male sterile and fertile seed proportions (0-100; 20-80; 40-60, 60-40, 80-20; 100-0) and their interactions. The yield was not significantly different between planting dates, but the comparison of means between genotypes detected that hybrid Tsíri PUMA 1 (8,989 kg ha<sup>-1</sup>) yielded statistically more than H-47 AE (8,190 kg ha<sup>-1</sup>). The comparison of means (Tukey, 0.05 probability) between the proportions of male sterile and fertile seed, considering the average of the three genotypes and the two planting dates, detected two groups of significance, where the two best yielding genotypes were those of 100% male sterile:0% fertile (9,441 kg ha<sup>-1</sup>) and 80% male sterile:20% fertile (9,390 kg ha<sup>-1</sup>) seed proportions. Because the version with only male sterile seed is not a practical feasible option, an appropriate choice is that of 80:20, which optimizes the production schema by needing less labor and requiring only a fraction of 20% of fertile seed. The proportion of 100% fertile seed had the lowest yield (8,116 kg ha<sup>-1</sup>) among all seed proportions.

**Key words:** *Zea mays*, male-sterile, dettasseling, seed production, hybrids.

### 2.3 INTRODUCCIÓN

La producción de semilla híbrida de maíz (*Zea mays* L.) requiere la eliminación física de las espigas de las plantas hembras en forma oportuna y adecuada, para lograr el cruzamiento planeado y obtener la calidad e identidad genética del híbrido correspondiente (Espinosa et al.,

2003; Beck y Torres, 2005). Este proceso involucra elevados costos por uso de jornales, ya que la eliminación de las espigas en forma manual o mecánica es cara, requiere de 24 a 50 jornales ha<sup>-1</sup> y depende de la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad para retirar la espiga (Jugenheimer, 1990; Tadeo et al., 2003; Martínez et al., 2005).

Como una alternativa a esta elevada inversión y esfuerzo, se propone el uso de tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica en maíz, ya que se podrían emplear líneas androestériles como progenitores femeninos, con lo cual se eliminaría el desespigamiento, permitiendo ofrecer un menor precio de semilla al productor (Tadeo et al., 2003; Martínez et al., 2005; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2013).

La androesterilidad en maíz dejó de utilizarse durante la década de los 70's del siglo pasado, debido a la susceptibilidad de las líneas androestériles a la enfermedad del tizón foliar causada por el hongo *Helminthosporium maydis raza T*, lo que ocasionó una epifitía en gran parte de la faja maicera en EE.UU. (Fleming et al., 1960; Stamp et al., 2000; Simmons et al., 2001). Con el descubrimiento de nuevas fuentes de esterilidad masculina en maíz, la producción de semilla híbrida usando la androesterilidad se retomó en diversos programas de mejoramiento de diferentes empresas de semillas (Liu et al., 2002; Weingartner et al., 2002; Weingartner et al., 2004).

Con las nuevas fuentes, y con el propósito de no depender de una sola y limitar de esta manera los problemas generales de la raza T, en la FESC-UNAM, desde 1992, se realizan trabajos para incorporar el carácter de androesterilidad a las líneas básicas del programa de mejoramiento genético de maíz que se desarrolla en la propia Universidad (Tadeo et al., 1997; Tadeo et al., 2001; Tadeo et al., 2003; Tadeo et al., Tadeo et al., 2010).

Las líneas endogámicas que se usan para producir híbridos y que se incrementan usando la androesterilidad, mantienen esta característica cuando se obtiene la semilla comercial, por lo que hay dos maneras de aprovechar la esterilidad masculina para asegurar que cuando los agricultores siembran híbridos producto de la androesterilidad, sus parcelas posean plantas

fértiles y/o una combinación de plantas fértiles y androestéridas que aseguren la polinización y fecundación, y por lo tanto la producción de grano:

- a) Una de las maneras para generar producción de grano es utilizar un progenitor masculino con capacidad restauradora que polinice a la cruza simple o línea androestérida (dependiendo de si se está incrementando una cruza simple o híbrido trilineal); este progenitor macho suprime la androesterilidad, y la cruza que se obtiene expresa la fertilidad en la generación siguiente, por lo que en los terrenos de los productores se tendrá el 100 % de las plantas fértiles. El caso más claro de este tipo de producción ocurre en sorgo (*Sorghum spp.*), donde toda la semilla híbrida se incrementa de esta manera (Simeonov, 1995; Allen et al., 2007);
- b) la otra alternativa es utilizar una fracción de semilla del híbrido que mantiene su característica androestérida, es decir, que no produce polen; esta semilla se mezcla con una proporción de semilla del mismo híbrido, pero éste obtenido con progenitores fértiles que producen polen; de esta manera, en los campos de los agricultores se presentarán tanto plantas con esterilidad masculina (sin producir polen) como plantas con fertilidad normal, siendo esta últimas las que polinizarán a todas las plantas del lote para obtener producción de grano (Airy et al., 1987; Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010).

Desde 1992, la FESC-UNAM y el INIFAP trabajan en conjunto con nuevas fuentes de esterilidad masculina, incorporando éste carácter a las líneas élite de maíz de ambas instituciones, para que los híbridos de maíz generados sean de alto rendimiento y que el incremento de su semilla por parte de los agricultores sea fácil (Tadeo et al., 1997; Tadeo et al., 2001). Producto de estas investigaciones conjuntas es el híbrido de maíz Tsíri PUMA, el cual fue registrado ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), y es el primer híbrido con esquema de androesterilidad que libera la FESC-UNAM.

En esta investigación se planteó como objetivo definir la capacidad productiva de tres híbridos de maíz, entre ellos Tsíri PUMA, en sus versiones androestérida y fértil y determinar la mejor proporción de mezcla de semilla androestérida (AE) y fértil (F), en dos fechas de siembra. Es decir, se evaluará la productividad de grano de los híbridos al combinar seis diferentes proporciones de mezclas de semilla androestérida y fértil (0-100; 20-80; 40-60; 60-40; 80-20; 100-0).

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo durante el ciclo primavera verano 2012, en terrenos del Rancho Almaraz de la FESC-UNAM, ubicado en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, a una altitud de 2,274 msnm. Se sembraron dos experimentos en diferente fecha de siembra, estableciéndose el primero el 21 de mayo de 2012 (fecha 1), y el segundo se sembró el 1 de junio de 2012 (fecha 2).

Se sembraron los híbridos trilineales de maíz Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2 y H-47 AE. Cada híbrido se sembró en diferentes combinaciones (mezclas) de semilla de sus versiones isogénicas fértil y androestéril. La semilla utilizada, 100% androestéril y 100% fértil, se obtuvo en el ciclo primavera – verano 2011, y fue producida a partir de cruza simples androestériles y fértiles, estas últimas se desespigaron las plantas hembra (Fig. 3). De cada uno de los híbridos trilineales se mezcló semilla en diferentes proporciones, como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Proporciones de semilla fértil y androestéril de tres híbridos trilineales de maíz (Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2 y H-47 AE) utilizados para la evaluación de su capacidad productiva.**

Genotipo		% DE SEMILLA		Genotipo		% DE SEMILLA	
		AE*	Fértil			Fértil	AE*
1	Tsíri PUMA	100	0	1	Tsíri PUMA 2	100	0
2	Tsíri PUMA	80	20	2	Tsíri PUMA 2	80	20
3	Tsíri PUMA	60	40	3	Tsíri PUMA 2	60	40
4	Tsíri PUMA	40	60	4	Tsíri PUMA 2	40	60
5	Tsíri PUMA	20	80	5	Tsíri PUMA 2	20	80
6	Tsíri PUMA	0	100	6	Tsíri PUMA 2	0	100
1	H-47 AE	100	0				
2	H-47 AE	80	20				
3	H-47 AE	60	40				
4	H-47 AE	40	60				
5	H-47 AE	20	80				
6	H-47 AE	0	100				

\*AE androestéril

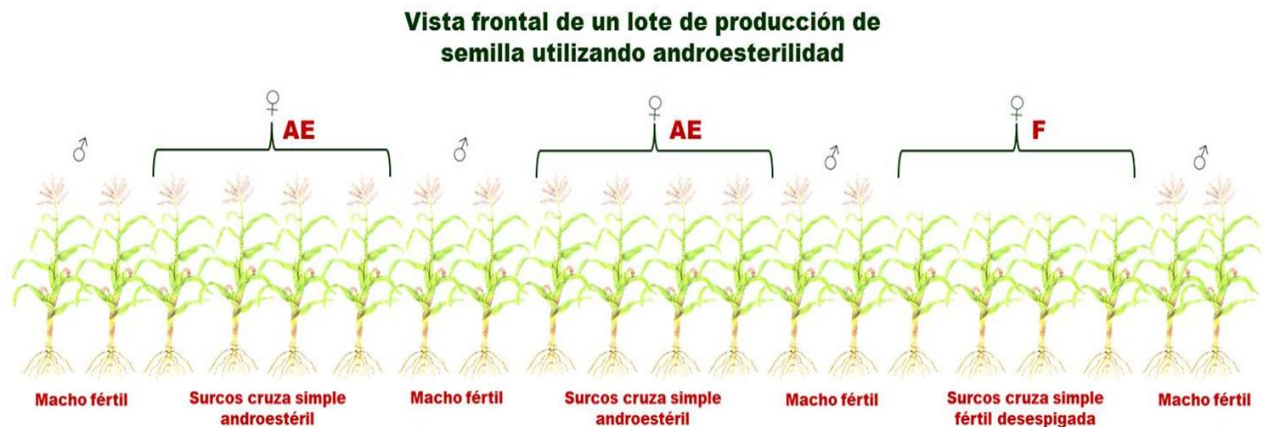


Fig. 3. Lote de producción de semillas utilizando androesterilidad.

Para evitar problemas con la disponibilidad de polen en los tratamientos 0 % fértil y 100 % androestéril en los dos híbridos, alrededor de los experimentos se sembró un bordo con un material fértil, pues lo que se quiso fue probar la productividad de las proporciones de plantas fértiles y androestériles. En el caso de la proporción 100 % androestéril: 0 fértil, ésta no sería utilizada comercialmente, ya que no se produciría fecundación, tampoco semilla y no se tendría rendimiento de grano.

La parcela experimental consistió de un surco de cinco metros de largo y 0.80 m entre surcos. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis estadístico se realizó como factorial, donde los factores de variación fueron: fechas de siembra (2), híbridos (3), proporciones de semilla androestéril y fértil (6), e interacciones entre híbridos, ambientes y proporciones de semilla fértil y androestéril. Se aplicó la dosis de fertilización 80 – 40 – 00 al momento del surcado, empleando como fuentes nitrato de amonio y sulfato de calcio triple. Para el control de malezas se aplicó Gesaprim (Atrazina) 2 kg ha<sup>-1</sup>, Hierbamina (2-4 D amina) 2 L ha<sup>-1</sup> y 1 litro de nicosulfuron ha<sup>-1</sup>. La cosecha se realizó el 10 de diciembre de 2012.

En cada parcela se tomaron datos de las siguientes variables: rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), días a floración masculina, altura de planta (cm), altura de mazorca (cm), número de mazorcas buenas (completas, con más de 80 % sana, sin daño por enfermedad), número de mazorcas malas (más de 20 % podridas o con daño de enfermedad), peso hectolítrico, peso de 200 granos (gr), longitud de mazorca (cm), número de hileras por mazorca, número de granos por hilera,

diámetro mazorca (cm), y número de granos por mazorca. Estas últimas siete variables se midieron en una muestra de cinco mazorcas por parcela. Se hizo un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad mediante el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los cuadrados medios y significancia estadística para cada una de las variables evaluadas. Para rendimiento de grano el coeficiente de variación fue de 15.7 % y la media general de rendimiento de 8,692 kg ha<sup>-1</sup>. Entre proporciones de semilla androestéril y fértil se detectaron diferencias altamente significativas para rendimiento. Por otro lado, el rendimiento no tuvo diferencias significativas entre fechas de siembra ni entre híbridos; tampoco hubo significancia en ninguna de las interacciones para esta variable (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de variables evaluadas en tres híbridos de maíz bajo seis proporciones de semilla androestéril y fértil en dos fechas de siembra. Cuautitlán Izcalli, México. FESC-UNAM, Ciclo primavera – verano 2012.**

Variable	Fecha Siembra	Híbridos	Androestéril/ Fértil	Fecha Siembra x Híbridos	Fecha Siembra x Androestéril/ Fértil	Híbridos x Androestéril/ Fértil	Fecha Siembra x Híbridos x Androestéril/ Fértil	CV (%)	Media
RG	3223443.3	6872182.9	8312351.9**	6199648	800621.8	5902925.0	674150.6	15.7	8692
FM	551.2**	1.75	2.53	2.28	1.748	2.716	0.809	1.4	78
FF	396.7**	39.4**	7.05	4.00	4.77	2.92	1.75	2.2	79
AP	26320.3**	354.9	456.4	1001.3	103.8	233.2	94.9	6.4	232
AM	17633.3**	5865.4**	97.1	144.7	169.2	159.9	122.6	9.0	122
PHCO	20694.6**	8019.4**	274.3	12.0	144.6	351.6	322.0	2.0	778
P200G	3050.7**	74.7	21.5	344.0**	27.5	41.3	37.5	7.4	72
LM	19.5**	1.81	0.41	2.92	0.72	0.54	1.12	7.1	14.8
GH	24.0*	6.02	5.6	6.6	3.9	6.3	7.3	5.0	31
GM	13134.0*	5026.8*	590.7	1327.8	1162.2	3597.5	3847.1	8.5	497

\*, \*\* Valores significativos y altamente significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad; CV= coeficiente de variación. RG: rendimiento de grano; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; PHCO: peso hectolítrico; LM: longitud de mazorca; HM: hileras por mazorca; GH: granos por hilera; GM: granos por mazorca.

Entre fechas de siembra hubo diferencias altamente significativas (0.01 de probabilidad) para las variables floración masculina, altura de planta, peso de 200 granos y longitud de mazorca, mientras que las variables floración femenina, altura de mazorca y peso hectolítrico tuvieron diferencias altamente significativas (0.01 de probabilidad) entre fechas de siembra y entre híbridos; entre los otros factores de variación, incluyendo las interacciones, no se detectaron diferencias significativas para el resto de variables (Cuadro 2).

Entre fechas de siembra hubo significancia ( $P < 0.05$ ) para las variables granos por hilera y granos por mazorca, mientras que entre híbridos hubo significancia únicamente para granos por mazorca. En los otros factores de variación, incluyendo las interacciones, no se detectaron diferencias estadísticas (Cuadro 2).

La comparación de medias para fechas de siembra, considerando el promedio de los tres híbridos evaluados bajo las seis diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil, no detectó diferencias significativas para el rendimiento entre las dos fechas de siembra (Cuadro 3), por lo que la producción de grano obtenida en ambas fechas fue muy similar; en contraste, los valores de la floración masculina y femenina en la segunda fecha (1 de junio de 2012) fueron estadísticamente superiores a los de la primera fecha de siembra (21 de mayo de 2012). Por otro lado, en la comparación de medias entre fechas de siembra para las variables altura de planta, altura de mazorca, peso hectolítrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, granos por hilera y granos por mazorca, los valores obtenidos en la fecha del 21 de mayo de 2012 fueron estadísticamente superiores a los de la segunda fecha (1 de junio de 2012) (Cuadro 3).

Con respecto a la comparación de medias entre los tres híbridos trilineales de maíz (Cuadro 4), se identificaron dos grupos de significancia para rendimiento, siendo Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 los híbridos superiores; en el segundo grupo de significancia se ubicó el H-47 AE. El rendimiento del híbrido Tsíri PUMA representó 109.7 % con respecto al del H-47 AE, lo cual es importante ya que H-47 AE ha mostrado buenos rendimientos en estudios previos, por lo que podría ser considerado como testigo en ensayos de rendimiento (Espinosa et al., 2010; Espinosa et al., 2012; Tadeo et al., 2014 b).



**Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey) de dos fechas de siembra para diferentes variables evaluadas en tres híbridos de maíz considerando la media de seis proporciones de semilla androestéril y fértil. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.**

Variable	1 junio 2012	21 mayo 2012	D.S.H. (0.05)
Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	8,865 a	8,519 a	523
Floración masculina (días)	80 a	76 b	0.4
Floración femenina (días)	81 a	77 b	0.6
Altura de planta (cm)	217 b	248 a	6
Altura de mazorca (cm)	110 b	135 a	4
Peso hectolítrico (kg hl <sup>-1</sup> )	763 b	791 a	6
Peso de 200 granos (g)	67.1 b	77.7 a	2.0
Longitud de mazorca (cm)	14.3 b	15.2 a	0.4
Granos por hilera	31 b	32 a	0.6
Granos por mazorca	486 b	508 a	16

Medias con la misma letra en la misma hilera no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

En esta evaluación, el híbrido Tsíri PUMA tuvo el mayor rendimiento. Esto confirma su alta capacidad productiva y buenos resultados observados en otros trabajos experimentales (Tadeo et al., 2014 a; Tadeo et al., 2014 b), lo que permitió que recientemente se inscribió en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). El rendimiento similar entre los híbridos Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 podría deberse a que en ambos maíces el progenitor macho que participa en su formación es el mismo. Los híbridos Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 tuvieron un menor número de días a floración femenina que H-47 AE. Esto es importante, ya que H-47 AE es considerado como material de ciclo intermedio (Espinosa et al., 2012), por lo que los híbridos Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 pueden ser considerados al menos igualmente como de ciclo intermedio, con las ventaja que ello representa.

En la comparación de medias entre híbridos para las variables floración masculina, altura de planta, peso hectolítrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, granos por hilera, y granos por mazorca, considerando el promedio de las dos fechas de siembra y las diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil, los tres híbridos evaluados tuvieron valores similares para las variables (Cuadro 3).

Por otro lado, los híbridos Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 tuvieron valores superiores de peso volumétrico con respecto a H-47 AE, y esto representa una ventaja al tener más calidad de grano, sobre todo al momento de utilizarse éste comercialmente.

En el análisis de varianza combinado, las proporciones de semilla tuvieron diferencias estadísticas en el rendimiento de grano, lo que indica que tuvieron un comportamiento diferente, como ha ocurrido en otros trabajos (Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010). Así, la comparación de medias de las diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil presentaron dos grupos de significancia (Cuadro 4). En el primero de ellos, que fue el de mayor rendimiento, se ubicaron cinco de los seis tratamientos de combinación de semilla androestéril y fértil en diferentes proporciones.

**Cuadro 4. Comparación de medias (Tukey) de tres híbridos para diferentes variables evaluadas considerando la media de dos fechas de siembra y seis proporciones de semilla androestéril y fértil. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.**

Variable	Tsíri PUMA	Tsíri PUMA 2	H-47 AE	D.S.H. (0.05)
Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )	8,989 a	8,897 ab	8,190 b	769
Floración masculina (días)	78 a	78 a	78 a	0.6
Floración femenina (días)	79 b	79 b	80 a	1
Altura de planta (cm)	235 a	229 a	233 a	8
Altura de mazorca (cm)	122 b	110 c	135 a	6
Peso hectolítrico (kg hl <sup>-1</sup> )	785 a	787 a	760 b	9
Peso de 200 granos (g)	73.0 a	70.8 a	73.4 a	3.0
Longitud de mazorca (cm)	15.0 a	14.8 a	14.5 a	0.6
Granos por hilera	32 a	31 a	31 a	0.9
Granos por mazorca	505 a	483 a	501 a	24

Medias con la misma letra en la misma hilera no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

El rendimiento numérico más elevado correspondió a la proporción 100 % androestéril: 0 % fértil, pero esta proporción no sería viable por cuestión práctica en producciones comerciales de semilla, ya que es necesario que haya un macho polinizador común para que polinice y ocurra la fecundación en las plantas, para que posteriormente haya formación de grano y rendimiento.

El menor rendimiento lo tuvo el segundo grupo de significancia, y correspondió a la proporción 60 % androestéril más 40 % fértil, resultado que no fue similar al de otros trabajos, donde la menor producción se obtuvo en el caso de 100 % de semilla fértil (Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010).

El hecho de que cinco de las seis proporciones de semilla evaluadas en este trabajo tuvieran rendimientos similares, confirma que en el caso de los híbridos evaluados aquí, como en otros materiales, la combinación de semilla androestéril y fértil podría hacerse en diferentes proporciones con cierta seguridad de que los resultados de la productividad en campos de producción comercial serán aceptables (Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010), como ocurrió en trabajos previos con otros materiales, donde se evaluó la combinación de semilla con las proporciones de 33% y 66 % de semilla androestéril y 67% y 34 % de semilla fértil, respectivamente (Canales et al., 2014), o bien proporciones de 90 % semilla androestéril y 10 % de semilla fértil.

**Cuadro 5. Comparación de medias (Tukey) de proporciones de semilla androestéril y fértil para diferentes variables evaluadas, considerando la media de tres híbridos de maíz y dos fechas de siembra. Ciclo primavera-verano 2012. FESC-UNAM.**

PROPORCION DE SEMILLA		Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	PV (Kg hl)	P200S (g)	LM (cm)	GM
AE	Fértil									
100	0	9,441 a	78 a	79 a	226 a	120 a	775 a	71 a	14.9 a	491 a
80	20	9,390 a	78 a	79 a	228 a	124 a	782 a	72 a	14.9 a	506 a
60	40	7,850 b	78 a	79 a	233 a	119 a	772 a	72 a	14.5 a	497 a
40	60	8,346 ab	78 a	79 a	233 a	125 a	779 a	73 a	14.9 a	490 a
20	80	9,011 ab	78 a	79 a	234 a	124 a	782 a	74 a	14.7 a	496 a
0	100	8,116 ab	77 a	80 a	240 a	123 a	777 a	72 a	14.8	498 a
D.S.H. (0.05)		1,331	1.1	1.7	15	11	16	5	1.0	41

RG: rendimiento de grano; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; PHCO: peso hectolítrico; LM: longitud de mazorca; GM: granos por mazorca; AE: androestéril. Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Lo anterior indica que al utilizar la androesterilidad en diferentes proporciones, el rendimiento resulta ser similar entre ellas, y otras veces podría incluso incrementarse (Cuadro 5). Además, la combinación de semilla androestéril y fértil podría mantener la calidad genética del híbrido, como se señala en trabajos previos (Feil et al., 2003; Weingartner et al., 2004; Martínez et al., 2005; Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014 b).

## **2.6 CONCLUSIONES**

Los híbridos Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 tuvieron un rendimiento de grano estadísticamente similar, considerando el promedio de las diferentes proporciones de semilla fértil y androestéril y de su evaluación en dos fechas de siembra.

Los rendimientos de los tres híbridos, considerando las seis proporciones de semilla androestéril y fértil, resultaron estadísticamente similares entre las dos fechas de siembra en las cuales se evaluaron los materiales.

En el ensayo de rendimiento de seis proporciones de semilla androestéril y fértil, cinco proporciones tuvieron rendimientos similares. Al considerar el promedio de rendimiento de los tres híbridos de las dos fechas de siembra, entre las diferentes proporciones de semilla la mejor mezcla en forma práctica sería aquella de utilizar 80 % de semilla androestéril y 20 % de semilla fértil, porque de esta manera se tendrá una alta proporción de plantas androestériles que no necesitarán desespigamiento durante la producción de semilla comercial, lo cual es conveniente para bajar sus costos y hacer más fácil su producción masiva.

## **2.7 LITERATURA CITADA**

- Airy J M, L Tatum A, W Sorenson J (1987)** La producción de Semillas. Producción de Semilla Híbrida de Maíz y Sorgo para Grano. Ed. C. E. C. S. A. México. p. 274-285.
- Allen J O, M Fauron C, Minx P, Roark L, Oddiraju S, N Lin G N, Meyer L, Sun H, Kim K, Wang C, Du F, Xu D, Gibson M, Cifrese J, W Clifton S, J Newton K (2007)** Comparisons Among Two Fertile and Three Male-Sterile Mitochondrial Genomas of Maize. *Genetics* 177: 1173-1192.

- Beck L D, J L Torres F (2005)** Desespigamiento. p. 44-55. *In*: Ortiz T., C., Espinosa C., A., Azpiroz R., H. S., Sahagún C., S. (Comp.). 2005. Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y zona de transición. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México, México. p. 44-55 (Libro Técnico Núm. 3).
- Canales I E I (2014)** Productividad de grano y semilla de híbridos trilineales, cruza simples androestériles y fértiles de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 72 p.
- Espinosa-Calderón A, M Tadeo-Robledo, M Sierra-Macías, A Turrent-Fernández, R Valdivia-Bernal, B Zamudio-González (2009)** Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 20, Núm. 2, 2009, pp. 211-216.
- Espinosa-Calderón A, M Tadeo-Robledo, D Meza-Guzmán, I Arteaga-Escamilla, D Matías-Bautista, R Valdivia-Bernal, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, A Palafox-Caballero, B Zamudio-González (2010)** Eliminación de espiga y hojas en un híbrido de maíz androestéril y fértil. *Universidad y Ciencia*. 26(3):215-22
- Espinosa C A, M Tadeo R, B Zamudio G, A Turrent F, I Arteaga E, V Trejo P, B Martínez Y, E I Canales I, J A Zaragoza E, M Sierra M, N Gómez M, R Valdivia B, A Palafox C (2012)** Rendimiento de cruza simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. *Ciencias Agrícolas Informa*. 21(2). 78-85.
- Feil B, Weingartner U, Stamp P (2003)** Controlling the release of pollen from genetically modified maize and increasing its grain yield by growing mixtures of male-sterile and male-fertile plants. *Euphytica* 130: 163-165.
- Fleming A A, M Koselnicky G y Browne B (1960)** Cytoplasmic effect on agronomic characters in a double cross maize hybrid. *Agron. J*. 52: 112-115.
- Jugenheimer R W (1990)** Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. p. 489-502.
- Liu Z S, Peter O, Long M, Weingartner U, Stamp P and Kaeser O (2002)** A PCR assay for rapid discrimination of sterile cytoplasm types in maize. *Crop Sci*. 42: 566-569.
- Martínez-Lázaro C, L Mendoza-Onofre, G García-de L S, M del C Mendoza-Castillo, a Martínez-Garza (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*. Vol. 28 (2): 127-133.
- SAS Institute Inc. (2002)** SAS Users' guide: Statistics, Version 6. Cary, NC. SAS Institute, Inc.
- Stamp P, Chowchong S, Menzi M, Weingartner U and Kaeser (2000)** Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Sci*. 40: 1586-1587.

- Simeonov N I (1995)** Effect of Male-Sterility Cytoplasm and Mode of Restoration on the Seed Production and Yield of the Single and Modified Maize Hybrid Knezha 530. *In: Rasteniev` dni-Nauki.* 32, 9-10 y 86-89.
- Simmons C R, Grant S, J Altier D, F Dowd P, Crasta O, Folkerts O, Yalpani N (2001)** Maize *rhm 1* Resistance to *Bipolaris maydis* is Associated with Few Differences in Pathogenesis-Related Proteins and Global mRNA Profiles. *Molecular Plant-Microbe Interactions.* 14 (8): 947-954.
- Tadeo R M, A Espinosa C, R Martínez M, A M Solano, A Piña D V (1997)** Use of CIMMYT Germplasm to Develop Maize Hybrids at the UNAM. *In: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. An International Symposium México.* p. 240-241.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez M (2001)** Esterilidad masculina para producir semilla híbrida de maíz. *Ciencia y Desarrollo,* 157: 64-75.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez M (2003)** Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 14(1): 15-19.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil de híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 1(3): 273-287.
- Tadeo R, M, A Espinosa C, V Trejo P, I Arteaga E, E Canales I, A Turrent F, M Sierra M, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, B Zamudio G (2013)** Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz ‘H-47’ y ‘H-49’. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (3): 245 – 250.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P Andrés-Meza (2014 a)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, R Valdivia-Bernal, J Virgen-Vargas (2014 b)** Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 (5): 883-891.
- Weingartner U, J Prest T, H Camp K and Stamp P (2002)** The Plus-hybrid system: a method to increase grain yield by combined cytoplasmic male sterility and xenia. *Maydica* 47. 127-134.
- Weingartner U, Camp K, Stamp P (2004)** Impact of male sterility and xenia on grain quality traits of maize. *European Journal of Agronomy* 21: 239-247

## CAPÍTULO III: PRODUCTIVIDAD DE HÍBRIDOS ANDROESTÉRILES Y FÉRTILES DE MAÍZ EN CUATRO AMBIENTES DE EVALUACIÓN

### 3.1 RESUMEN

En México se tiene un déficit grande de producción de maíz (*Zea mays* L.), por lo que anualmente se tienen que importar grandes volúmenes de grano. Una alternativa para aumentar la producción, y con ello resolver esta problemática, es contar con materiales mejorados de buen rendimiento. En este trabajo se evaluó la capacidad productiva de cinco híbridos trilineales de maíz (Tsíri PUMA, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, y PUMA 1183 AEC2) con versión androestéril y fértil cada uno. La evaluación se realizó en dos localidades de Valles Altos bajo dos fechas de siembra (F1 y F2). Los experimentos se establecieron en el ciclo primavera-verano de 2012, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), Texcoco, y en la FESC-UNAM. Los factores de este estudio fueron: los cinco híbridos trilineales, las dos versiones de los híbridos: androestéril y fértil, y los cuatro ambientes (resultado de combinar dos localidades y dos fechas de siembra). El análisis estadístico de los datos se efectuó en forma factorial, considerando las fuentes de variación: ambientes, híbridos, versiones de los híbridos (androestéril/fértil), y las interacciones. Para rendimiento se observó alta significancia entre ambientes, entre híbridos, y en la interacción ambiente x híbridos. La interacción híbridos x versión androestéril/fértil resultó significativa, pero no se detectó significancia entre versiones de los híbridos (androestéril/fértil) ni en el resto de interacciones. Se concluyó que el rendimiento promedio en la localidad FESC-F2 ( $9,892 \text{ kg ha}^{-1}$ ) fue superior estadísticamente al promedio en los otros tres ambientes. El híbrido TSÍRI PUMA produjo el mayor rendimiento ( $8,930 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mientras que PUMA 1183 AEC1 produjo el menor ( $6,321 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Por otro lado, el rendimiento promedio de la versión androestéril, considerando los cinco genotipos en los cuatro ambientes, fue de  $7,327 \text{ kg ha}^{-1}$ , similar estadísticamente al rendimiento de la versión fértil ( $7,294 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

**Palabras Clave:** *Zea mays*, hibridación, androesterilidad, rendimiento.

# PRODUCTIVITY OF MALE-STERILE AND FERTILE HYBRIDS OF MAIZE EVALUATED IN FOUR ENVIRONMENTS

## 3.2 ABSTRACT

In Mexico we have there is a large deficit of maize production (*Zea mays* L.), so every year it is necessary to import large volumes of grain. An alternative to increase production, and thus solve this problem, is to have and generate improved materials of high yield. In this work, the yield potential of five three-way hybrids of maize (Tsíri PUMA AE H-57, H-47 AE, PUMA AEC1 1183 and 1183 PUMA AEC2) each with male-sterile and fertile versions was evaluated. The evaluation was conducted at two locations in the High Valleys of México under two planting dates (F1 and F2). The experiments were established in the spring-summer season of 2012, in the Experimental Station Valley of Mexico (CEVAMEX), Texcoco, and in lands of the Faculty of Higher Studies Cuautitlán (FESC). The factors of this study were: the five three-way hybrids, the two versions of the hybrids: male-sterile and fertile, and the four environments (as a result of combining the two locations and the two planting dates). Data were analyzed in a factorial statistical analysis, considering the sources of variation: environments, hybrids, hybrid versions (male-sterile / fertile), and interactions. For grain yield it was detected high significance among environments, among hybrids, and in the environment x hybrid interaction. The interaction hybrids x (male-sterile / fertile) version was significant, but there was no significance between hybrid versions (male sterile / fertile) or in the other interactions. It was concluded that the average yield in the environment FESC-F2 (9892 kg ha<sup>-1</sup>) was statistically superior to the average in the other three environments. Hybrid PUMA Tsíri produced the highest yield (8,930 kg ha<sup>-1</sup>), while PUMA AEC1 1183 produced the lowest one (6,321 kg ha<sup>-1</sup>). On the other hand, the average yield of the male-sterile version, considering the five genotypes in four environments, was 7,327 kg ha<sup>-1</sup>, being statistically similar to that of the fertile version (7,294 kg ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** *Zea mays*, hybridization, male-sterility, grain yield.



### 3.3 INTRODUCCIÓN

Para obtener semilla de calidad de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) se requiere desespigar en forma oportuna y adecuada al progenitor femenino; de esta manera se logrará que el progenitor masculino se cruce con el femenino al 100 % y además se evitará que este último se contamine con su propio polen. Para obtener semilla de alta calidad y con buena identidad genética en la producción comercial de semilla híbrida de maíz, se requiere forzosamente la remoción física de las espigas de las líneas usadas como hembras. Esta actividad, conocida como desespigue, involucra el uso de 24 a 50 jornales por hectárea. Además de su alto costo económico y laboriosidad, el desespigue representa riesgos de perder calidad genética de la semilla si éste se efectúa en forma incorrecta. Ante ello, el empleo de la androesterilidad puede ser una opción viable y práctica para la obtención de semilla híbrida de adecuada calidad genética y para disminuir los costos de producción (Ramírez, 2006; Tadeo et al., 2007; Tadeo et al., 2014 b).

A partir de 1970, en EUA la esterilidad citoplasmática denominada cms-T dejó de ser usada por las empresas productoras de semillas, debido a los problemas de susceptibilidad de las líneas androestériles al tizón foliar causado por el hongo *Helminthosporium maydis* raza T. Esta enfermedad ocasionó una epifitia que afectó al 90% de las siembras en la faja maicera de ese país (Airy et al., 1978; Grogan et al., 1971; Tadeo et al., 1997).

A partir de 1980 se retomó la investigación con esterilidad masculina en maíz para producir híbridos, la cual se basó en el descubrimiento y desarrollo de nuevas fuentes de esterilidad masculina. Esta nueva estrategia combinó la forma génico citoplásmica, principalmente para los tipos de esterilidad C y S. Actualmente estos tipos se utilizan en cerca del 25% de la superficie dedicada a la producción de semilla híbrida en EUA (Liu et al., 2002; Beck y Torres, 2005). En todos los casos de producción de semillas híbridas se cuenta con diversas fuentes dentro de cada tipo de esterilidad, para no depender de una sola (Partas, 1997; Liu et al., 2002; Torres y Rodríguez, 2002; Tadeo et al., 1997; Thomson, 1979; Tadeo et al., 2007).

En la FESC-UNAM, y en el CEVAMEX del INIFAP, se han realizado trabajos conjuntos de mejoramiento genético para incorporar la esterilidad masculina a las líneas hembras de algunos

de los híbridos comerciales y experimentales desarrollados por la UNAM y el INIFAP, con énfasis en la fuente “C”, de interacción hereditaria de citoplasma y nuclear (Tadeo et al., 2007; Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010). A partir de 1992, se incorporó el carácter de esterilidad a las líneas básicas; posteriormente (1995-1997), se identificaron líneas con capacidad restauradora. Así, la estabilidad de la fuente de androesterilidad y la capacidad restauradora de las líneas desarrolladas, permitieron vislumbrar el uso potencial del esquema de androesterilidad, con lo que se podrían limitar, en cierta medida, algunos problemas relacionados con el desespigamiento, así como reducir los costos que implica esta actividad (Tadeo et al., 2007; Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014 a).

Como producto de la investigación y de trabajos en androesterilidad, en el año 2011 el INIFAP logró la inscripción del híbrido de maíz H-51 AE ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número de registro definitivo MAZ-1145-040211, así como su protección ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), obteniéndose el Título de Obtentor 1474 a favor del INIFAP. Por su parte, en 2014 la FESC-UNAM logró la inscripción del híbrido Tsíri PUMA ante el CNVV, con el número de registro definitivo MAZ - 1571 – 290514. Otros maíces con androesterilidad están en la última etapa de investigación, validación y transferencia antes de ser liberados comercialmente (Espinosa et al., 2008; Espinosa et al., 2010; Espinosa et al., 2009).

En este trabajo se evaluó la productividad de los híbridos trilineales: Tsíri PUMA, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, y PUMA 1183 AEC2, todos en sus versiones androestériles y fértiles. La evaluación se realizó en cuatro experimentos uniformes, dos en el CEVAMEX y otros dos en la FESC-UNAM, con fecha de siembra diferente entre ambos sitios. El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad productiva de los híbridos evaluados, considerando sus versiones androestéril y fértil, así como la media de los cuatro ambientes de evaluación. Se plantea la hipótesis de que la introducción del carácter de androesterilidad a cinco híbridos trilineales del Altiplano de México, no altera su potencialidad productiva, ni su fenología y/o morfología, ni genera interacción de los híbridos con los ambientes de evaluación.

### 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de los híbridos de la presente investigación se llevó a cabo en cuatro experimentos establecidos en el ciclo primavera verano del 2012. Dos de los experimentos se llevaron a cabo en el predio Santa Lucía de Prías del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP), ubicado en el Municipio de Texcoco, Estado de México; los otros dos experimentos se establecieron en terrenos del Campo Experimental “Rancho Almaraz” de la FESC-UNAM, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

El diseño experimental usado en cada experimento fue de bloques completos al azar, con seis repeticiones. El análisis estadístico de la información se efectuó en forma combinada, calculando las interacciones. Para probar el efecto de ambientes se tomaron los efectos de la interacción repeticiones x ambiente y se combinaron con el efecto de repeticiones, para integrar el error que se usó para la prueba de hipótesis del efecto del ambiente. Los factores y niveles del análisis integraron un factorial completo  $4 \times 5 \times 2$ , cuyos factores fueron los siguientes: cuatro ambientes (A), cinco híbridos trilineales (B), la versión androestéril o fértil (C), lo que generó 10 tratamientos en cada uno de los cuatro ambientes. En cada experimento, la unidad experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho.

Los cinco híbridos trilineales de maíz evaluados en este estudio fueron obtenidos por el INIFAP y la UNAM, y han sido identificados como Tsíri PUMA, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, y PUMA 1183 AEC2. La semilla de estos materiales fue obtenida utilizando cruza simples en versiones androestéril (AE) y fértil (F), combinadas con su progenitor masculino, durante el ciclo primavera – verano 2011.

La estructura de tratamientos estuvo conformada por los cuatro ambientes (Factor A), y los cinco híbridos trilineales mencionados (Factor B) en sus versiones fértil y androestéril (Factor C).

Para la evaluación de los materiales, la preparación mecánica del terreno consistió de un barbecho, una cruz y un paso de rastra. El surcado se hizo a 0.80 m entre surcos. La siembra en

el experimento de CEVAMEX-INIFAP F1 se efectuó el 16 de mayo de 2012 y la siembra del ambiente CEVAMEX-INIFAP F2 el 07 de junio de 2012; en ambos casos se sembró con pala y se aplicó un riego de siembra para germinación. En la FESC-UNAM F1, la siembra fue el 17 de mayo de 2012, dándose un riego de siembra; la siembra en la fecha dos, FESC-UNAM F2, fue el 01 de junio de 2012, con humedad de lluvia. En los dos experimentos de la FESC-UNAM la siembra se realizó a “tapa pie”, lo cual consiste en depositar la semilla al fondo del surco tapándola con tierra arrastrada con el pie.

En todos los casos, se depositaron cuatro semillas por mata cada 0.50 m. Después de la emergencia de las plántulas, se hizo un aclareo para dejar 24 plantas en cinco metros de largo, esto para lograr densidades de población uniformes de aproximadamente 60 000 plantas ha<sup>-1</sup>, ya que ésta es la densidad de población recomendada para maíz de grano en Valles Altos del Centro de México; es decir, para materiales similares a los que se emplearon en este estudio.

Para el control de malezas en los experimentos, se efectuaron dos aplicaciones de herbicida: la primera, un día después de la siembra, utilizando 1 L ha<sup>1</sup> de Hierbamina® y 2 kg de Gesaprim® calibre 90; la segunda se hizo 40 días después de la siembra, con un litro de Sansón® 4 SC, un litro de Hierbamina® y 2 kg de Gesaprim® calibre 90. La cosecha se realizó manualmente, llevándose a cabo en la primera quincena de diciembre de 2012. Se cosecharon y se colectaron todas las mazorcas, aunque sólo se consideraron para tomar datos a las que contenían grano sano con las características para su comercialización; es decir, que tuvieran grano sano en más del 60 % de la mazorca.

En campo se registraron datos de las siguientes variables: floración masculina (cuando el 50 % de las plantas en cada parcela liberaron polen), floración femenina (cuando el 50 % de las plantas de la parcela habían expuesto los estigmas, en por lo menos tres cm), altura de planta en cm (de la base del tallo al nudo de inserción de la espiga) y altura de mazorca en cm (de la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior).

En cinco de las mazorcas cosechadas por parcela se tomaron datos de otras variables, como: humedad en la semilla, con un determinador de humedad eléctrico tipo Burrows modelo 700;

porcentaje de grano/olote (cociente del peso de grano entre el peso de grano más olotes); también se midió la longitud de mazorca en cm, y se contó el número de hileras por mazorca y de granos por hilera.

Para calcular el rendimiento de grano (RG) por parcela se aplicó la siguiente fórmula:

$$RG = (PC \times \% MS \times \% G \times F.C.) / 8600$$

Dónde: PC es el peso de campo del total de las mazorcas cosechadas en la parcela, expresado en kg, % MS es el porcentaje de materia seca calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas, % G es el porcentaje de grano obtenido como el cociente entre el peso de grano y el peso de mazorca, F.C. es el factor de conversión a rendimiento por ha, el cual se obtiene de dividir 10,000 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil, determinado en m<sup>2</sup> (4 m<sup>2</sup>); 8,600 es una constante empleada para estimar el rendimiento con una humedad del grano del 14%.

Los datos registrados de cada una de las variables agronómicas fueron sometidos a un análisis de varianza, el cual se realizó considerando tres factores: ambientes (4), híbridos (5), versión (2) del genotipo androestéril o fértil, y las interacciones entre estos factores, es decir: Ambientes x híbridos, ambientes x androesterilidad o fertilidad, híbridos x androesterilidad o fertilidad, ambientes x híbridos x androesterilidad o fertilidad. Cuando los valores de F fueron significativos entre ambientes, entre híbridos, y entre versiones del genotipo para alguna variable, se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias al 5% de significancia.

### **3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De acuerdo con el análisis de varianza, para el rendimiento de grano se detectaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre ambientes, entre híbridos, y en la interacción ambientes x híbridos (Cuadro 6); por otro lado, para la misma variable, la interacción híbridos x androesterilidad/fertilidad resultó significativa. La fuente de variación androesterilidad/fertilidad

y el resto de las interacciones resultaron no significativas para rendimiento. El coeficiente de variación para rendimiento fue del 19.4 % y la media aritmética fue de 7,460 kg ha<sup>-1</sup>. Para las variables floración masculina y altura de planta también hubo diferencias altamente significativas (P<0.01) entre ambientes, entre híbridos y entre las versiones del genotipo androestéril o fértil; en el caso de altura de planta, la interacción ambiente x híbridos también resultó altamente significativa.

Para floración femenina y granos por mazorca hubo diferencias altamente significativas (P<0.01) entre ambientes y entre híbridos; para las otras variables no se detectó significancia. Para altura de mazorca, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas (P<0.01) entre híbridos y en la interacción ambientes x híbridos. (Cuadro 6)

**Cuadro 6. Cuadros medios y significancia estadística para rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) y otras variables evaluadas en cuatro ambientes (A) de cinco híbridos de maíz (B) en sus versiones fértiles y androestériles (C) de Valles Altos. Primavera-Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.**

Factor de variación	G L	Variables							
		Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras mazorca	Granos/mazorca
A	3	205710488**	592**	573.2**	18459**	215	51.4**	26.5**	153372* *
B	4	42904516**	118.9**	150.3**	12355**	8253.5**	3.6	13.6**	14771**
C	1	6635664	87.6**	0.18	2325**	166.6	0.70	3.75	904
A X B	12	12184585**	3.66	4.30	1077**	266.3**	3.20	1.06	2765
A X C	3	2793950	7.08	9.73	102.0	72.1	0.62	0.005	1119
B X C	4	9276712*	3.04	4.30	239.8	36.3	4.54	1.23	1756
A X B X C	12	3639850	1.00	4.70	103.3	24.2	1.20	1.18	2344
C.V. (%)		19.4	2.2	2.6	6.7	7.8	7.7	6.3	10.7
Media		7460	77	78	248	118	14.8	15	441

\*, \*\* Valores significativos y altamente significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

La comparación de medias del rendimiento entre híbridos detectó diferencias entre promedios, definiéndose tres grupos de significancia (Cuadro 7); el mayor rendimiento correspondió a Tsíri PUMA (8, 930 kg ha<sup>-1</sup>) y el menor lo tuvo el híbrido PUMA 1183 AEC1, con 6,321 kg ha<sup>-1</sup>. Al respecto, los cinco híbridos evaluados se obtuvieron con el esquema de androesterilidad, pero comercialmente se utilizan con el esquema de mezclas de semilla androestéril y fértil, que es la manera como se ha empleado la esterilidad masculina en otros materiales (Espinosa et al., 2009, Tadeo et al., 2010).

**Cuadro 7. Comparación de medias entre cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles, considerando la media de cuatro ambientes, para rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.**

Genotipo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras mazorca	Granos mazorca
Tsíri PUMA	8,930 a	77 b	78 b	256 b	118 b	15.2 a	15 ab	448 ab
H-57 AE	7,488 b	75 c	77 c	255 b	111 c	14.9 ab	15 ab	448 ab
H-47 AE	7,446 b	75 c	77 c	264 a	141 a	14.6 ab	15 a	463 a
PUMA 1183 AEC2	7,117 bc	77 b	79 b	238 c	113 bc	14.8 ab	14 c	421 c
PUMA 1183 AEC1	6,321 c	79 a	82 a	225 d	108 c	14.5 b	14 b	424 bc
D.M.S.H.(0.05)	815	0.9	1.1	8	5	0.6	0.5	26

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P<0.05).

El rendimiento similar mostrado por los híbridos H-57 AE y H-47 AE, y PUMA 1183 AEC2 y PUMA 1183 AEC2, puede deberse a que entre los dos materiales hay coincidencia en una o dos de las líneas que integran su estructura como híbridos. Estos materiales se han venido evaluando por varios años, sobresaliendo en varios ensayos de rendimiento, por lo que en el año de 2014 la FESC-UNAM inscribió uno de los híbridos y fue registrado en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). Este material registrado significa el primer híbrido con esterilidad masculina que libera comercialmente la UNAM (Espinosa et al., 2008; Espinosa et al., 2010; Tadeo et al., 2014 a; Tadeo et al., 2014 b).

La comparación de medias para rendimiento de grano mostró que la versión androestéril de los híbridos tuvo un rendimiento de grano estadísticamente similar al de la versión fértil (Cuadro 8).

Este resultado se explica debido a que las versiones androestériles son líneas isogénicas de las versiones fértiles, pues sólo difieren en la producción o no de granos de polen, como se señala en diversos trabajos (Tadeo et al., 2007; Martínez et al., 2005; Ramírez, 2006; Tadeo et al., 2014 a; Tadeo et al., 2014 b). Los resultados obtenidos aquí contrastan con los observados en otros estudios, donde se encontró que las versiones androestériles de los híbridos alcanzaron rendimientos estadísticamente superiores a los de las versiones fértiles (Martínez et al., 2005; Tadeo et al., 2007).

Por otro lado, la comparación de medias para floración masculina mostró que la versión androestéril de los híbridos fue más tardía que la versión fértil; en cambio, en altura de planta y número de hileras por mazorca, la versión fértil resultó superior a la versión androestéril. Para el resto de variables: floración femenina, altura de mazorca, longitud de mazorca y número de granos por mazorca, la comparación de medias no detectó diferencias significativas entre las versiones androestéril y fértil de los híbridos.

Este resultado puede atribuirse al hecho, como se ha señalado, a que ambas versiones son genéticamente similares, excepto para los genes génico-citoplásmicos relacionados con la esterilidad masculina Tipo C, que originan que en la versión androestéril no haya producción de polen, mientras que en la fértil sí (Tadeo et al., 2007; Tadeo et al., 2010).

**Cuadro 8. Comparación de medias entre las versiones androestéril y fértil de los híbridos evaluados, considerando el promedio de cinco híbridos y cuatro ambientes de evaluación, para rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.**

Tipo fertilidad	Rendimiento grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras mazorca	Granos mazorca
Androestéril	7,627 a	77 a	78 a	244 b	119 a	14.9 a	14.8 b	439 a
Fértil	7,294 a	76 b	78 a	251 a	117 a	14.7 a	15.0 a	443 a
D.M.S.H. (0.05)	369	0.4	0.5	3	2	0.2	0.2	12

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P < 0.05$ ).



Con respecto a la comparación de medias entre ambientes, la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM tuvo el mayor rendimiento promedio de grano (9,892 kg ha<sup>-1</sup>), el cual resultó significativamente diferente al rendimiento medio en los otros tres ambientes. Estos resultados pudieron deberse a que en la FESC-UNAM 1 probablemente hubo limitada humedad y en las dos fechas de siembra en el CEVAMEX la humedad disponible y el tipo de suelo arenoso influyeron en el rendimiento (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Comparación de medias entre cuatro ambientes de evaluación, considerando el promedio de cinco híbridos y sus dos versiones androestériles y fértiles, para rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) y otras variables. Primavera - Verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.**

Fechas de Siembra	Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras mazorca	Granos mazorca
FESC-UNAM F2	9,892 a	80 a	82 a	230 d	117 a	15.5 a	15.9 a	496 a
CEVAMEX F2	7,687 b	74 d	75 d	248 b	119 a	14.7 a	14.5 b	464 b
CEVAMEX F1	6,757 c	75 c	77 c	271 a	121 a	13.7 c	14.5 b	379 d
FESC-UNAM F1	5,504 d	78 b	80 b	242 c	117 a	14.4 b	14.7 b	423 c
D.M.S.H. (0.05)	686	0.7	0.9	7	5	0.5	0.4	22

\*Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P< 0.05).

### 3.6 CONCLUSIONES.

El mayor rendimiento de grano (9,892 kg ha<sup>-1</sup>) se produjo en el ambiente FESC-UNAM F2, el cual fue estadísticamente superior al obtenido en los otros tres ambientes de evaluación, donde prevalecieron condiciones de humedad de temporal.

Al considerar los cuatro ambientes de evaluación y las versiones androestéril y fértil de cada híbrido, resultó que el híbrido Tsíri PUMA tuvo la producción más alta (8, 930 kg ha<sup>-1</sup>) entre todos los materiales. Tres híbridos tuvieron un rendimiento de grano estadísticamente similar (H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC2), mientras que el híbrido PUMA 1183 AEC1 resultó con el rendimiento menor.

Se detectó que la versión androestéril de los materiales, considerando el promedio de los cinco híbridos y de los cuatro ambientes, tuvo un rendimiento estadísticamente similar (7,627 kg ha<sup>-1</sup>) al rendimiento de la versión fértil de los híbridos (7,294 kg ha<sup>-1</sup>).

El análisis estadístico de la información mostró que la interacción ambientes x híbridos fue altamente significativa, lo que indica la conveniencia de evaluar los genotipos en un mayor número de ambientes y realizar un análisis de estabilidad de los mismos.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Airy J M; L Tatum A, W Sorenson J (1978).** La Producción de semillas, producción de semilla híbrida de maíz y sorgo para grano. *In: Anuario estadístico de semillas.* Trad. de la 4ª ed. en inglés por Antonio Marino y Pánfilo Rodríguez. Ed. CECSA. México. p. 274-285.
- Beck L D Y J L Torres F (2005.)** Desespigamiento. p. 44-55. *In: Ortiz T., C., Espinosa C., A., Azpiroz R., H. S., Sahagún C., S. (Comp.). 2005. Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y zona de transición. INIFAP-CIRCE. Libro Técnico Núm. 3, Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México, México. p. 44-55.*
- Espinosa C A, M Tadeo R, N Gómez M, M Sierra M, R Martínez M, J Virgen V, A Palafox C, F Caballero H, G Vázquez C, Y Salinas M (2008)** H-49 AE híbrido de maíz para Valles Altos con androesterilidad para producción de semilla. En: Memoria Técnica No. 9, Día de Campo CEVAMEX. Chapingo, México. pp 13-14.
- Espinosa C A, M Tadeo R, M Sierra M, A Turrent F, R Valdivia B, B Zamudio G (2009).** Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana.* 20 (2): 211:216.
- Espinosa C A, M Tadeo R, N Gómez M, M Sierra M, R Martínez M, J Virgen V, A Palafox C, F Caballero H, I Arteaga E, E Canales I, G Vázquez C, Y Salinas M (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.
- Grogan C O, A Francis C, A Sarvella P (1971)** Influence of cytoplasmic male sterility on dry matter accumulation in maize. *Crop Sci.* 5:365-367.
- Liu Z P, O Long S, Weingartner M, Stamp U, P Kaeser O (2002)** A PCR assay for rapid discrimination of sterile cytoplasm types in maize. *Crop Sci.* 42:566-569.

- Martínez L C, L E Mendoza O, G García D L S, M C Mendoza C, A Martínez G, (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 (2): 127-133.
- Partas E K (1997)** Male sterility as an efficient method of exploiting heterosis in maize. p. 244-245. *In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT, Mexico city, Mexico.*
- Ramírez L (2006)** Utilización de la Androesterilidad para la producción de semilla híbrida. Cátedra de Producción vegetal genética y mejora vegetal. Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra, España. 7 p.
- Tadeo R M, A Espinosa C, R Martínez M, A M Solano, A Piña D V, (1997)** Use of CIMMYT germplasm to develop maize hybrids at the UNAM. p. 240-241. *In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT, Mexico city, Mexico.*
- Tadeo R M, A Espinosa C, D Beck L, J L Torres (2007)** Rendimiento de semilla de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México*. 33 (2): 175-180.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (2): 273-287.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P Andrés-Meza (2014 a)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, R Valdivia-Bernal, J Virgen-Vargas (2014 b)** Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 (5): 883-891.
- Torres C y Rodríguez E (2002)** Incorporación de la androesterilidad citoplásmica a línea cubana de maíz (*Zea mays* L.). *En: Resúmenes de XLVIII reunión anual PCCMCA 2002. Boca Chica, República Dominicana.* p. 49.
- Thomson J R (1979)** Introducción a la tecnología de las semillas. Trad. de la primera ed. en inglés por Paloma Melgarejo de Nardiz. Ed. Acribia. España. p. 68.

## **CAPÍTULO IV: PRODUCTIVIDAD DE GRANO Y FORRAJE DEL HÍBRIDO DE MAÍZ TSÍRI PUMA EN DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN**

### **4.1 RESUMEN**

Una de las problemáticas que encaran los productores de forraje de maíz (*Zea mays* L.) es la falta de variedades forrajeras mejoradas. Estos productores, ante la necesidad de alimentar al ganado, adquieren semilla de variedades que se han mejorado para la producción de grano. A veces las plantas de estas variedades presentan buenas características (porte alto, capacidad para producir follaje que permite obtener volúmenes altos de materia verde por hectárea), pero no siempre. Por eso, hay necesidad de generar híbridos de maíz de doble propósito, que produzcan alto rendimiento de grano y forraje de buena calidad nutritiva, con alto contenido de proteína, fibra y digestibilidad de la materia seca. Desde hace varios años, en la UNAM Campus Cuautitlán y en el Campo Experimental del Valle de México-INIFAP se han evaluado diversos híbridos de maíz, algunos de los cuales han expresado buen rendimiento de forraje. En esta investigación se evaluó un grupo de cinco híbridos en sus versiones androestéril y fértil bajo dos densidades de población. Algunos de estos híbridos sobresalieron de manera consistente en evaluaciones anteriores. El objetivo fue determinar la productividad de grano y forraje, así como la calidad bromatológica del forraje producido por estos materiales. La evaluación se realizó en el ciclo primavera-verano 2012 en dos localidades, la FESC-UNAM, en Cuautitlán Izcalli, y el CEVAMEX del INIFAP, en Texcoco, México. Se evaluaron cinco híbridos de grano blanco, dos de INIFAP y tres de la UNAM, (PUMA 1183 (1), PUMA 1183 (2), Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2 y H-47 AE) en sus versiones androestériles y fértiles. Se concluyó que el mejor híbrido fue H-47 AE, con un rendimiento de grano de 10,138 kg ha<sup>-1</sup>, el cual fue similar al rendimiento de los híbridos Tsíri PUMA 2, Tsíri PUMA , y PUMA 1183 (2). Para rendimiento de forraje (83,369 kg ha<sup>-1</sup>), materia seca (24,623 kg ha<sup>-1</sup>) y porcentaje de digestibilidad (72.47 %), el híbrido H-47 AE también presentó los valores más altos. En porcentaje de proteína, el mejor híbrido fue el PUMA 1183 (1), con 9.04 %, seguido de PUMA 1183 (2). La versión androestéril de los híbridos tuvo mejores rendimientos de grano, forraje verde y materia seca que la versión fértil. La mejor densidad de población fue la de 95,000 plantas por hectárea, que mostró los mejores rendimientos para grano (10,143 kg ha<sup>-1</sup>), forraje verde (87,997 kg ha<sup>-1</sup>) y materia seca (25,561 kg ha<sup>-1</sup>).

## GRAIN AND FORAGE PRODUCTIVITY OF THE HYBRID OF MAIZE TSÍRI PUMA UNDER TWO POPULATION DENSITIES

### 4.2 ABSTRACT

One of the problems faced by producers of forage maize (*Zea mays* L) is the lack of improved forage varieties. These producers find it necessary to feed their livestock, and so acquire seed of varieties that have been improved for grain production. Some plants of these varieties have good characteristics (good behavior, foliage production that allows for high volumes of green matter per hectare), but not always. Therefore, it is necessary to generate maize hybrids for double purpose; these should produce high grain yield and good nutritional quality forage, with high content of protein, fiber and good dry matter digestibility. For several years, in the FESC-UNAM and in the Experimental Station of the Valley of México-INIFAP, several hybrids of maize have been evaluated, some of which have expressed good forage yield. In this research, a group of five hybrids in their male-sterile and fertile versions were evaluated under two population densities. Some of these hybrids consistently excelled in previous yield trials. The objective was to determine their productivity for grain and forage, and to evaluate the bromatological quality of the forage produced by these materials. The evaluation was conducted in the spring-summer 2012 season in two locations: the FESC-UNAM, and the INIFAP, CEVAMEX. Five white grain hybrids, two of the INIFAP and three of the UNAM were evaluated (PUMA 1183 (1), PUMA 1183 (2), Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2 and H-47 AE) in their male-sterile and fertile versions. It was concluded that the best hybrid was H-47 AE, with a grain yield of 10,138 kg ha<sup>-1</sup>, which was similar to the yield performance of hybrids Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2, and PUMA 1183 (2). For forage yield (83,369 kg ha<sup>-1</sup>), dry matter (24,623 kg ha<sup>-1</sup>) and digestibility percentage (72.47%), the hybrid H-47 AE also had the highest values. For protein percentage, the best hybrid was PUMA 1183 (1), with 9.04%, followed by PUMA 1183 (2). The male-sterile hybrid version of the hybrids had better grain yields, forage and dry matter than the fertile version. The best population density was 95,000 plants per hectare, which showed the best yields for grain (10,143 kg ha<sup>-1</sup>), forage (87,997 kg ha<sup>-1</sup>) and dry matter (25,561 kg ha<sup>-1</sup>). Keywords: *Zea mays*, hybrids, male-sterility, High Valleys, yield, seed production.

Keywords: *Zea mays*, hybrids, male-sterility, High Valleys, yield, seed production.

### 4.3 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo del cual se obtiene cada año la mayor producción mundial de grano (FAO, 2015). En el año 2014, la producción de maíz fue de 1001.74 millones de toneladas. En México, centro de origen de la especie, en cada ciclo agrícola se producen en promedio 22.1 millones de toneladas, con un rendimiento medio de 2.8 t ha<sup>-1</sup>; sin embargo, cada año se tiene que recurrir a la importación de más de 10 millones de toneladas de maíz amarillo, para poder satisfacer la demanda de grano y forraje para la producción de carne, leche y huevo, por lo que el consumo total aparente nacional requiere en total 32.1 millones de toneladas. En México se siembran 8.5 millones de ha, en 2.3 millones de unidades de producción (Ortiz et al., 2007; Turrent, 2009; Espinosa et al., 2008).

Lo antes señalado plantea la necesidad de generar variedades de maíz de doble propósito; es decir, para producir grano y forraje, y con ello garantizar el suministro de alimento (Núñez et al., 2005). Al respecto, los productores de maíz utilizan nuevas técnicas tendientes a incrementar el rendimiento del cultivo, las cuales se basan en el empleo de híbridos comerciales y fertilizantes; sin embargo, el uso de esta tecnología es limitado, correspondiendo al 7% de la superficie sembrada de maíz en Valles Altos (González et al., 2008; Espinosa et al., 2008).

Un problema común que se presenta en México es que muchos productores eligen híbridos para producción de forraje, los cuales son sembrados para la producción de grano, pero éstos presentan porte alto y gran capacidad para producir follaje, lo que genera la obtención de grandes volúmenes de materia verde por hectárea, (González et al., 2005).

Por otro lado, en los Valles Altos de México se utilizan diversas variedades e híbridos de maíz para ensilar; sin embargo, estas variedades mejoradas fueron generadas para producir grano, y posteriormente son evaluadas para verificar con base en su potencial si es factible utilizarse con fines de ensilado (Tadeo et al., 2012). Al respecto, se reconoce que la elección de variedades para producción de forraje y ensilado se basa en un porte alto de planta y en una gran capacidad para producir follaje, así como en la tecnología disponible para la obtención de grandes

volúmenes de materia verde por hectárea (Núñez et al., 2005; Peña et al., 2003; Peña et al., 2004; Peña et al., 2006; Tadeo et al., 2012; González et al., 2008).

Ante la innovación continua de nuevos híbridos en el mercado, es necesario evaluarlos para determinar cuáles producen mayores rendimientos y presentan mayor valor nutritivo en las condiciones ambientales de los Valles Altos. Se considera necesario definir las variedades más adecuadas, que expresan alto rendimiento de grano y además buena productividad y una alta calidad de forraje (Arreola et al., 1996; Núñez et al., 2005; Sánchez et al., 2011).

En la formación y selección de híbridos para producción de forraje es fundamental considerar su calidad nutritiva, la cual va desde diferencias en contenidos de azúcares, proteína, fibra y digestibilidad de la materia seca, además de alto rendimiento de materia verde (Tucuch et al., 2011). Diversos estudios indican que hay diferencias entre genotipos en su porcentaje de digestibilidad de tallos y de hojas, principalmente. Otros autores mencionan que existen diferencias entre ensilados de híbridos de maíz relacionadas con el porcentaje de mazorca, que es una manera de expresar el contenido de grano.

Desde hace varios años, en la FESC-UNAM y en el CEVAMEX de INIFAP se evalúan diversos híbridos blancos androestériles de ciclo intermedio para siembras tempranas; algunos de estos híbridos han expresado buen rendimiento de forraje. Es así que a partir de un grupo sobresaliente de híbridos trilineales que destacaron en evaluaciones anteriores de manera consistente, se decidió evaluar cinco híbridos de ciclo intermedio en sus versiones androestéril y fértil bajo dos densidades de población, con el objetivo de determinar su productividad de grano y su calidad de forraje. Los ensayos de rendimiento se llevaron a cabo en dos localidades: una ubicada en la FESC-UNAM y la otra en el CEVAMEX-INIFAP. Como hipótesis se planteó que existen diferencias en la producción de grano y calidad de forraje entre cinco híbridos trilineales de maíz de ciclo intermedio, así como diferencias con respecto a las versiones androestériles y fértiles, bajo dos densidades de población en evaluaciones en dos localidades.

#### 4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos de este trabajo se evaluaron en dos localidades. En el Rancho Almaraz de la FESC-UNAM, localizada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, el cual se ubica a 19° 41' de latitud norte y 99°11' de longitud oeste, a una altitud de 2,274 msnm. La otra localidad de evaluación fue Santa Lucía de Prías, ubicada en el CEVAMEX del INIFAP, en Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 27' de latitud norte y los 98° 51' de longitud oeste a una altura de 2,240 msnm. Los trabajos experimentales se establecieron en el ciclo primavera – verano 2012 en ambas localidades. En las dos localidades se evaluaron cinco híbridos, dos del INIFAP y tres de la UNAM, todos de grano blanco, en sus versiones androestériles y fértiles (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Híbridos de maíz de grano blanco de ciclo intermedio en sus versiones androestériles y fértiles, evaluados en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población para determinar su productividad de grano y forraje. Ciclo primavera-verano 2012.**

Nº	Híbrido	Versión AE/F	Densidad población 1 (pl ha <sup>-1</sup> )	Nº	Híbrido	Versión AE/F	Densidad población 2 (pl ha <sup>-1</sup> )
1	PUMA 1183 (1)	AE	70,000	11	PUMA 1183 (1)	AE	95,000
2	PUMA 1183 (1)	F	70,000	12	PUMA 1183 (1)	F	95,000
3	PUMA 1183 (2)	AE	70,000	13	PUMA 1183 (2)	AE	95,000
4	PUMA 1183 (2)	F	70,000	14	PUMA 1183 (2)	F	95,000
5	Tsíri PUMA	AE	70,000	15	Tsíri PUMA	AE	95,000
6	Tsíri PUMA	F	70,000	16	Tsíri PUMA	F	95,000
7	Tsíri PUMA 2	AE	70,000	17	Tsíri PUMA 2	AE	95,000
8	Tsíri PUMA 2	F	70,000	18	Tsíri PUMA 2	F	95,000
9	H-47AE	AE	70,000	19	H-47 AE	AE	95,000
10	H-47 AEF	F	70,000	20	H-47 AEF	F	95,000

AE/F: androesterilidad/fertilidad.



La evaluación de los cinco híbridos (G), cada uno en sus versiones androestériles y fértiles (AE/F), en dos densidades de población (DP) y en dos localidades o bien ambientes (A), se llevó a cabo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, donde la parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho (4.0 m<sup>2</sup>). La parcela experimental se dividió en dos partes, para poder evaluar los materiales en forraje y en grano. Para la evaluación de forraje se utilizó la mitad de la parcela, dando un total de 2.0 m<sup>2</sup>. Para la evaluación de rendimiento de grano a madurez fisiológica se utilizaron los otros 2 m<sup>2</sup>.

Los datos del rendimiento de grano y de producción de forraje se analizaron en el programa SAS (SAS Institute, 1999). Se realizó un análisis de varianza combinado de localidades y una comparación de medias, por medio de la prueba de Tukey al 0.05 de significancia, para cada una de las variables evaluadas.

En ambas localidades, los experimentos se establecieron en el ciclo primavera - verano del año 2012. La primera fecha de siembra fue el 17 de mayo de 2012 en la FESC-UNAM, mientras que la segunda correspondió al 14 de junio de 2012 en el CEVAMEX.

En ambas localidades, la preparación del terreno consistió en: un paso de arado, dos pasos de rastra, una nivelación del suelo y el surcado. En el experimento establecido en el CEVAMEX se aplicó riego en la siembra, y posteriormente se aplicaron dos riegos de auxilio. En el experimento de la FESC-UNAM, únicamente se aplicó un riego al momento de la siembra, y el resto del ciclo de cultivo estuvo con la humedad disponible de la precipitación pluvial.

La cosecha de forraje se llevó a cabo cuando la mayoría de los materiales presentaron un avance de madurez fisiológica de estado lechoso en el grano de un tercio a un medio. En la FES-UNAM la cosecha se realizó el día 6 de Septiembre de 2012, mientras que en CEVAMEX el 8 de Octubre de 2012. Para la evaluación del rendimiento de grano la cosecha se llevó a cabo el día 10 de diciembre de 2012 una vez que ocurrió la madurez fisiológica del grano.

Las variables evaluadas fueron: Plantas establecidas: número de plantas por parcela de un surco después del aclareo. En los dos experimentos se manejaron densidades de población de 70,000

plantas ha<sup>-1</sup> y 95,000 plantas ha<sup>-1</sup>; floración masculina y femenina; altura de la planta y altura e mazorca; peso de campo; porcentaje de humedad; peso volumétrico; peso de 200 granos; longitud de mazorca; granos por mazorca; porcentaje de materia seca; porcentaje de grano.

El rendimiento de grano se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{P.C} \times \% \text{MS} \times \% \text{G} \times \text{FC}) / 8,600$$

Dónde:

PC: Peso de campo en kg de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela.

% MS: Porcentaje de materia seca, obtenido de la muestra de cinco mazorcas.

% G: Porcentaje de grano, se obtuvo del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las cinco mazorcas con olote, multiplicado por cien.

FC: Factor de conversión para obtener rendimiento por hectárea, el cual se obtuvo al dividir 10,000 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup>.

8,600: Es una constante para estimar el rendimiento por parcela en kg ha<sup>-1</sup> con una humedad comercial del 14%.

En el caso de la toma de datos de la producción de forraje de los materiales evaluados, en ambas localidades se realizaron muestreos para la determinación de la calidad de forraje cuando los materiales alcanzaron un tercio de la línea de leche en el grano. Tanto en la FESC-UNAM como en CEVAMEX se cosecharon diez plantas con competencia completa para determinar el peso fresco total de elotes y de las plantas sin elote.

Las variables que se evaluaron para determinar la calidad del forraje fueron las siguientes: Rendimiento de materia verde por ha, la cual se determinó cortando diez plantas a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, de los dos metros centrales de cada unidad experimental; se pesaron y se calculó el peso promedio por planta y se multiplicó por la densidad de plantas por hectárea.

El rendimiento de materia verde (RMV) se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{RMV} = \text{PFM} \times \text{DP}$$

Dónde:

RMV= Rendimiento en materia verde en  $\text{kg ha}^{-1}$

PFM: Peso fresco promedio por planta.

DP: Densidad de población para cada tratamiento

Para estimar el rendimiento de forraje en materia seca se utilizaron las diez plantas cosechadas por parcela para la determinación de materia verde; se cortaron en trozos a una longitud de 3 a 5 cm, se mezclaron hasta que se constituyó una muestra homogénea, de ésta se tomó una submuestra de un kg y se colocó en una estufa con aire forzado, a una temperatura de  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta que alcanzó peso constante. La submuestra de la estufa se pesó, y de la diferencia entre el peso inicial (fresco) y el peso final (seco) se obtuvo el contenido en materia seca; con este dato se calculó el peso promedio en materia seca por planta y se multiplicó por la densidad de población de plantas por ha.

El rendimiento de forraje en materia seca (RMS) se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{RMS} = \text{PSP} \times \text{DP}$$

Dónde:

RMS: Rendimiento en materia seca en  $\text{kg/ha}^{-1}$ .

PSP: Peso seco por planta en kg.

DP: Densidad de población de cada tratamiento.

El porcentaje de materia seca se determinó por medio de la ecuación o fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de MS} = (\text{RMV} - \text{RMS} / \text{RMV}) \times 100$$

Dónde:

Porcentajes de MS: Porcentaje de materia seca.

RMV: Rendimiento en materia verde en  $\text{kg/ha}^{-1}$

RMS: Rendimiento en materia seca en  $\text{kg/ha}^{-1}$

Para obtener el porcentaje de mazorca de cada tratamiento se tomaron cinco plantas y se les quitaron las mazorcas. Las mazorcas se secaron en una estufa de aire forzado hasta que llegaron a peso constante y posteriormente se pesaron. Se obtuvo el peso promedio de mazorcas para cada tratamiento y se determinó el porcentaje de mazorca utilizando la siguiente fórmula:

Porcentaje de mazorca= (Peso seco promedio de mazorcas x 100)/Peso seco promedio x planta.

Para determinar el contenido de proteína en cada genotipo, se tomó una submuestra de un kg de la muestra de forraje utilizada para determinar el porcentaje de materia seca; esta submuestra se secó en una estufa con aire forzado durante 72 horas y se molió por medio del molino de Willey, con un tamaño de malla de 1 mm de diámetro, entonces se determinó el contenido de nitrógeno total, mediante el método de Microkjeldhal (AOAC, 1990), cuyo principio básico consiste en la conversión de proteína-nitrógeno a sulfato ácido de amonio durante la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico y calor, en la presencia de un catalizador. Una vez que la materia orgánica se ha desintegrado completamente, la solución se neutraliza con hidróxido de sodio, liberándose amoníaco, el cual es destilado por arrastre con vapor dentro de una solución de ácido bórico, para formar un complejo boro-amoniaco (tetraborato de amonio).

La cuantificación del nitrógeno se logra cuando una solución de ácido previamente valorado (ácido clorhídrico al 0.1 N) se añade a la solución formando por cada equivalente de boro-amoniaco, un equivalente del sulfato amoniaco (sulfato de amonio). Aquí 1 ml del ácido estandarizado neutraliza 0.014 g de nitrógeno en forma de ion amonio. En esta forma indirecta, se estima el contenido de nitrógeno, el cual multiplicado por un factor de proteína, dará un estimado del contenido de proteína de la muestra.

El porcentaje de Nitrógeno se calcula por medio de la formula siguiente:

$$\% N = (\text{ml de HCL utilizados}) (\text{normalidad del ácido}) (1.4) / \text{peso de la muestra (g)}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N \times 6.25$$

Para determinar el porcentaje de digestibilidad del forraje producido por cada material evaluado, se tomó una submuestra de la muestra utilizada, a la que se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca con la técnica de Tilley y Terry (1963).

Se pesó 0.3 g de muestra y esta cantidad se colocó dentro de un tubo de plástico numerado; se adicionaron 30 ml de saliva de McDougall y la mezcla se incubó a 39 °C durante 15 minutos, posteriormente se adicionaron 10 ml de líquido ruminal; después se pasó una corriente de CO<sub>2</sub> dentro del tubo por 15 segundos y éste se tapó inmediatamente. Se preparó un blanco como testigo siguiendo las mismas indicaciones, pero sin agregar muestra de forraje. Los tubos se colocaron 48 horas en baño maría a una temperatura de 39 °C, y se agitaron a las 2, 4, 20 y 28 horas después de iniciada la incubación para dispersar las partículas. Posteriormente, a las 48 horas se adicionaron 6 ml de HCl 0.3 N y 2 ml de pepsina al 5% a cada tubo y se agitaron en tres ocasiones durante el día. Después de 48 horas de digestión con pepsina, el contenido de cada tubo se filtró en papel filtrante por medio de vacío; después se secó el papel con la materia insoluble a 55 °C por 24 horas, se enfrió y se pesó.

El porcentaje de digestibilidad del forraje se determinó por medio de la fórmula siguiente:

$$\% \text{ MSD} = \frac{(\text{Materia seca inicial}) - (\text{MSR} - \text{MSR blanco})}{\text{Materia seca inicial}} \times 100$$

Dónde:

% MSD = Porcentaje de materia seca digerida.

MSR = Materia seca residual

#### 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de los análisis de varianza, para la variable producción de forraje fresco hubo diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre ambientes, entre genotipos y entre las dos densidades de población, mientras que para ambientes y para porcentaje de mazorca hubo diferencias significativas. Así mismo, entre ambientes hubo diferencias significativas

(P<0.05) para las variables porcentaje de proteína, porcentaje de digestibilidad y rendimiento de materia seca.

Entre las dos densidades de población se detectaron diferencias altamente significativas para el rendimiento de materia seca. En cambio, en las interacciones se detectó significancia para porcentaje de digestibilidad en ambiente x versión androesterilidad/fértil, genotipo x densidad de población y en ambiente x versión androesterilidad/fértil x densidad de población (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia estadística de seis variables evaluadas para producción de forraje en híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértiles, en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012**

<b>Factor de variación</b>	<b>RF (k gha<sup>-1</sup>)</b>	<b>% MZ</b>	<b>% PR</b>	<b>% DIG</b>	<b>RMS (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>RMS x % PR (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Ambiente (A)	2869652940**	1766.9**	0.08	57.46	38972061	358051.49
Genotipo (G)	1526516404**	117.29	1.9618*	99.94*	113780497*	492037.71
AE/F	75182898	131.30	0.01	141.30*	10019107	93010.31
DP	21939809160**	280.42*	0.14	119.81	1380531527**	10293166.43**
Bloque (B)	1077899789**	91.21	0.53	596.87**	49762187	595553.22
A X G	549063311	109.93	0.66	78.00	78094461	613930.20
A X AE	26730615	0.04	0.18	184.64*	6754358	24215.24
A X DP	220613393	9.87	2.23	4.97	2938896	32663.36
G X AE	107881027	28.30	0.15	74.90	43923169	382227.17
G X DP	283755118	30.35	0.30	115.66*	20110124	184241.79
AE X DP	414098685	0.43	0.35	20.32	50367120	260392.63
A X G X AE	24798798	44.51	0.31	82.28	11817118	109940.76
G X AE X DP	157953574	14.49	0.74	31.02	67065033	534710.53
A X G x DP	137241929	44.17	0.45	14.54	17973654	84387.50
A X AE X DP	392120178	58.06	1.05	263.9**	25754539	52474.59
A X G X AE X DP	1199984739	16.13	0.34	11.57	25299731	172540.37
Media	76286.7	29.1	8.6	69.9	22623.92	1953.326
C.V	19.8	25.8	9.6	8.5	27.58349	29.94149

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; CV = coeficiente de variación;

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; CV = coeficiente de variación; RF= rendimiento de forraje; % MZ= porcentaje de mazorca; % PR= porcentaje de proteína; % DIG= porcentaje de digestibilidad; RMS = rendimiento de materia seca; RMSx%PR= rendimiento de materia seca x proteína; AE/F = androestéril/fértil; DP= densidad de población.

El análisis de varianza para rendimiento de grano detectó para rendimiento de grano diferencias altamente significativas entre genotipos, entre versión androestéril/fértil, entre densidades de población, así como en las interacciones ambiente x genotipo, ambiente x androestéril, genotipo x androestéril y genotipo x densidad de población. La media general del rendimiento fue de 9,300 kg ha<sup>-1</sup>, y el C.V. resultó de 17.0 % (Cuadro 12).

Se detectaron diferencias altamente significativas entre ambientes para floración masculina, altura de planta, peso de 200 granos, longitud de mazorca y porcentaje de grano, mientras que entre genotipos hubo diferencias altamente significativas para floración masculina, altura de planta y porcentaje de grano. Entre las versiones androestéril/fértil se observaron diferencias altamente significativas para la variable floración masculina, y significativas, al 0.05 de probabilidad, para las variables altura de planta y porcentaje de grano (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia estadística para producción de grano en híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértiles, en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

Factor de Variación	Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Altura planta (cm)	Peso 200 granos (g)	Longitud mazorca (cm)	% Grano
Ambiente (A)	3782434.1	333.5 **	17892.9 **	6325.22 **	14.4 **	78.4 **
Genotipo (G)	29905737.1 **	58.9 **	2168.99 **	52.38	0.32	20.92 **
AE/F	29196164.5 **	37.0 **	980.1 *	19.60	0.03	24.025 *
DP	113430744.7 **	0.00625	52.9	4.23	4.23	3.60
Bloque (B)	25234073.8 **	16.10 **	2540.68 **	132.29**	9.35 **	2.38
A X G	9989008 **	1.48	246.12	100.1 **	3.19 *	2.04
A X AE	22939123.3 **	0.5	96.10	129.6 *	0.00	18.23
A X DP	2587717	6.80 **	705.60	112.225 *	3.60	0.00
G X AE	9731024 **	9.61 **	47.88	58.04	3.54 *	12.35
G X DP	14953072.5 **	2.28	200.71	58.85 *	0.71	1.33
AE X DP	9195681	1.05	115.60	25.60	0.23	5.63
A X G X AE	1776633	2.81	281.19	7.41	1.08	13.99 *
G X AE X DP	1817092	1.61	99.54	34.04	0.24	7.42
A X G x DP	5735470	1.9	168.10	32.35	1.96	1.80
A X AE X DP	2036660	6	2.50	22.50	0.00	0.63
A X G X AE X DP	5314222	1.56	24.69	11.19	0.33	5.98
Media	9300	75.6	246.7	65.1	14.4	82.8
C.V	17.0	1.7	6.3	7.5	7.5	2.9

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. CV = coeficiente de variación; AE/F; androestéril/fértil; DP; densidad de población.

La comparación de medias entre los dos ambientes de evaluación para rendimiento de forraje y para el porcentaje de mazorca indicó que los valores de estas variables en la localidad de CEVAMEX fueron superiores a los valores de las mismas obtenidos en la de la FESC-UNAM (Cuadro 13). Para las variables de calidad de forraje, como porcentaje de proteína, porcentaje de digestibilidad, rendimiento de materia seca y rendimiento de materia seca por proteína no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos ambientes.

**Cuadro 13. Comparación de medias para producción de forraje entre ambientes de evaluación considerando la media de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

Ambiente	Rendimiento forraje (kg ha <sup>-1</sup> )	% Mazorca	% Proteína	% Digestibilidad	Rendimiento materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia seca x % Proteína (kg ha <sup>-1</sup> )
CEVAMEX	80,522 a	32.4 a	8.66 a	69.34 a	23,117 a	2002 a
FESC	72,052 b	25.8 b	8.62 a	70.54 a	22,130 a	1907 a
D.S.H (0.05)	4,737	2.3	0.26	1.86	1,954	183

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En cuanto al rendimiento de grano, la comparación de medias para esta variable entre los dos ambientes de evaluación no detectó diferencias significativas, mientras que para las variables floración masculina, altura de planta, peso de 200 granos, longitud de mazorca y porcentaje de granos presentaron diferencias significativas. Los promedios de estas variables en el CEVAMEX fueron superiores a los de la FESC-UNAM (Cuadro 14).

Para producción de forraje verde, la comparación de medias entre híbridos indicó que el híbrido H-47 AE produjo el rendimiento más elevado (83,369 kg ha<sup>-1</sup>), el cual fue estadísticamente similar al rendimiento de los híbridos de la UNAM Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 y diferente al del híbrido PUMA 1183 AEC1 (Cuadro 15). En el caso de porcentaje de proteína, el mejor genotipo fue el híbrido PUMA 1183 (1), con un valor de 9.04%, mientras que el de menor contenido de proteína fue el híbrido Tsíri PUMA.



**Cuadro 14. Comparación de medias del rendimiento de grano y otras variables entre ambientes, considerando la media de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

Ambiente	Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Altura planta (cm)	Peso 200 granos (g)	Longitud mazorca (cm)	% Grano
CEVAMEX	9,455 a	74 b	257 a	58.9 b	14 b	82.07 b
FESC	9,147 a	77.a	236 b	71.5 a	15 a	83.48 a
D.S.H (0.05)	494	0.4	4.9	1.54	0.34	0.75

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Con respecto al porcentaje de digestibilidad, el genotipo que tuvo el mejor valor fue el híbrido H-47 AE, con 72.5 %, el cual se considera aceptable dentro de los parámetros establecidos por el laboratorio de ICAMEX. Por otro lado, el material que presentó el menor porcentaje de digestibilidad fue el híbrido PUMA 1183 (1), con 67.5 %. Al respecto, esta variable y su expresión han sido revisadas en otros trabajos, indicando que es muy importante definir los mejores genotipos en su expresión, ya que es un parámetro muy importante de calidad para discriminar genotipos de maíz forrajero (Iván et al., 2005).

En la comparación de medias para la variable rendimiento de materia seca, hubo dos grupos de significancia entre los híbridos; en el grupo superior en rendimiento se ubicaron los genotipos H-47 AE, con 24.6 t ha<sup>-1</sup>, y el híbrido Tsíri PUMA, con 23.9 t ha<sup>-1</sup>. En el grupo inferior se ubicaron los genotipos Tsíri PUMA 2, PUMA 1183(1), y PUMA 1183(2), con 22.2, 22.5, y 19.7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados son importantes, pues representan valores más altos a los reportados por Peña et al., (2006) en un trabajo similar. Para la variable rendimiento de materia seca por proteína no se encontraron diferencias estadísticas entre los genotipos evaluados; sin embargo, H-47 AE y Tsíri PUMA presentaron los rendimientos más altos numéricamente, con 2,094 y 2,040 (kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente, y PUMA 1183(1) tuvo el valor más bajo, con 1,776 (Cuadro 15).

**Cuadro 15. Comparación de medias para variables de calidad de forraje entre cinco híbridos de maíz en sus versiones androestériles y fértil considerando el promedio de dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

Genotipo	Rendimiento forraje (kg ha <sup>-1</sup> )	% Mazorca	% Proteína	% Digestibilidad	Rendimiento materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia seca x % Proteína (kg ha <sup>-1</sup> )
H-47 AE	83,369 a	29.36 ab	8.51 ab	72.47 a	24,623 a	2,094 a
Tsíri PUMA	80,006 a	26.11 b	8.46 b	70.16 ab	23,946 a	2,040 a
Tsíri PUMA 2	76,857 a	29.57 ab	8.47 ab	69.7 ab	22,281 b	1,899 a
PUMA 1183 (2)	76,161 a	31.43 a	8.71 ab	69.87 ab	22,535 ab	1,956 a
PUMA 1183 (1)	65,041 b	29.17 ab	9.04 a	67.5 b	19,734 b	1,776 a
D.S.H (0.05)	1.66	5.2	0.57	4.11	4,322.7	405

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias para rendimiento de grano entre los cinco híbridos definió dos grupos de significancia (Cuadro 16), ubicándose en el primer grupo cuatro de los híbridos evaluados, mientras que en el segundo grupo únicamente se ubicó el híbrido PUMA 1183 (1), que tuvo el menor rendimiento y fue diferente al de los otros cuatro (7,707 kg ha<sup>-1</sup>). Este rendimiento contrastó con el rendimiento de los híbridos H-47 AE y Tsíri PUMA, que produjeron 10,138 kg ha<sup>-1</sup> y 9,998 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 16). Los resultados anteriores confirman los rendimientos altos y el buen desempeño de estos genotipos en anteriores trabajos de investigación (Espinosa et al., 2012; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2013).

Con respecto al ciclo de los materiales, el híbrido PUMA 1183 (1) tuvo el mayor número de días a floración masculina (78) y resultó estadísticamente diferente a los otros cuatro genotipos. Este resultado indica que existieron diferencias entre materiales para precocidad que podrían orientar al mejorador para su selección (Hernández et al., 2001). Así, el genotipo que resultó más precoz fue Tsíri PUMA 2, el cual presentó 74 días a floración masculina, lo cual es importante ya que este híbrido exhibe ciclo y rendimiento similares a los del híbrido H-47 AE (Cuadro 16). Con los buenos resultados mostrados por estos híbridos, ambos materiales ya fueron inscritos en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV); el primero por parte de INIFAP y el

segundo por parte de la UNAM. Con ello se busca promover su uso extensivo en los Valles Altos de México (Espinosa et al., 2012; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2013).

**Cuadro 16. Comparación de medias para rendimiento de grano y otras variables evaluadas entre cinco híbridos de maíz considerando el promedio de sus versiones androestéril y fértil en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

<b>Genotipo</b>	<b>Rendimiento grano (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Floración masculina (días)</b>	<b>Altura planta (cm)</b>	<b>Peso 200 granos (g)</b>	<b>Longitud mazorca (cm)</b>	<b>% Grano</b>
H-47 AE	10,138 a	75 cd	254 a	67.4 a	14.6 a	84.03 a
Tsíri PUMA 2	9,998 a	74 d	250 a	64.8 a	14.6 a	82 b
PUMA 1183 (2)	9,391 a	76 b	244 ab	64.7 a	14.3 a	82 b
Tsíri PUMA	9,270 a	76 bc	252 a	64.3 a	14.4 a	83 ab
PUMA 1183 (1)	7,707 b	78 a	234 b	64.6 a	14.5 a	83 ab
D.S.H (0.05)	1,092	0.9	10.9	3.39	0.76	10478

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias para las variables peso de 200 granos y longitud de mazorca indicó que no hubo diferencias estadísticas entre genotipos. Esto significa que hubo una similitud en el comportamiento de los híbridos para estas variables, y que el manejo en las densidades de población, así como la versión androestéril y fértil a través de los dos ambientes de evaluación, no propiciaron que se expresaran diferencias en los valores medios de las variables, como se ha reportado en otros trabajos similares (Tucuch et al., 2011). Para el porcentaje de grano, el híbrido H-47 AE resultó ser el mejor genotipo, con 84 %, en comparación con los otros cuatro, en este caso ubicándose con menor porcentaje los híbridos Tsíri PUMA2 y PUMA 1183 (2), con 82 % cada uno (Cuadro 16).

En la comparación de medias entre las versiones androestéril y fértil de los híbridos, considerando el promedio de los cinco híbridos en los dos ambientes de evaluación y en las dos densidades de siembra, para rendimiento de forraje no se detectaron diferencias estadísticas entre la versión androestéril y fértil, tampoco las hubo para porcentaje de mazorca, porcentaje de

proteína, rendimiento de materia seca y rendimiento de materia seca x porcentaje de proteína (Cuadro 17). Lo anterior puede tener su explicación en que la versión androestéril es isogénica de la versión fértil, lo que significa que entre ambas versiones la única diferencia genética y fenotípica es la capacidad de producir polen; es decir en la androestéril no hay producción de polen y en la fértil sí. El resultado anterior permite confirmar que no existe diferencia entre la capacidad productiva de las versiones, por lo que podrían utilizarse sin problema en la producción comercial, tal como ya se hace (Espinosa et al., 2009; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014). Para la variable de porcentaje de digestibilidad, la comparación de medias indicó que la versión fértil de los genotipos fue superior a la versión androestéril.

**Cuadro 17. Comparación de medias para rendimiento de forraje y otras variables evaluadas entre las versiones Androestéril y Fértil de cinco híbridos de maíz evaluados en dos ambientes y en dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2012.**

Versión AE/F	Rendimiento forraje (kg ha <sup>-1</sup> )	% Mazorca	% Proteína	% Digestibilidad	Rendimiento materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia seca x % Proteína (kg ha <sup>-1</sup> )
Androestéril	76,972 a	30.03 a	8.63 a	69.0 b	22,374 a	1,929 a
Fértil	75,601 a	28.22 a	8.64 a	70.9 a	22,874 a	1,977 a
D.S.H (0.05)	47.36	2.35	0.26	1.86	1,954	183

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

A diferencia de lo que ocurrió con rendimiento de forraje y variables relacionadas, en la comparación de medias para rendimiento de grano entre las versiones androestéril y fértil de los híbridos, sí hubo diferencias entre ellas, pues la versión androestéril presentó un rendimiento de grano estadísticamente superior (9,728 kg ha<sup>-1</sup>) al de la versión fértil (8,874 kg ha<sup>-1</sup>). Lo anterior ya había sido reportado en trabajos similares, y esta diferencia en rendimiento puede tener su explicación en la mayor acumulación de fotosintatos en el grano de la versión androestéril, pues se infiere que en este tipo de plantas no hay gasto de energía en la producción de polen, pues ésta no se da, por lo que esta energía es canalizada a la demanda, lo cual tiene un efecto positivo en la producción y rendimiento de grano (Martínez et al., 2005; Tadeo et al., 2007). En forma similar, para las variables floración masculina y porcentaje de grano, la versión androestéril tuvo valores

significativamente superiores a los de la versión fértil. Sólo para la variable altura de planta, la versión fértil de los híbridos resultó superior a la versión androestéril.

Para las variables peso de 200 granos y longitud de mazorca, no se detectaron diferencias estadísticas entre la versión androestéril y fértil, lo que muestra que en estas variables las versiones fueron muy similares. (Cuadro 18)

**Cuadro 18. Comparación de medias para producción de grano y otras variables entre versiones Androestéril y Fértil de cinco híbridos de maíz bajo dos densidades de población y en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.**

<b>Versión Androestéril/ Fértil</b>	<b>Rendimiento grano (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Floración masculina (días)</b>	<b>Altura planta (cm)</b>	<b>Peso 200 grano (g)</b>	<b>Longitud mazorca (cm)</b>	<b>% Grano</b>
Androestéril	9,728 a	76 a	244 b	64.84 a	14.78 a	83.16 a
Fértil	8,874 b	75 b	249 a	65.53 a	14.99 a	82.39 b
D.S.H (0.05)	494	0.4	4.9	1.53	0.29	0.75

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias entre las dos densidades de población, considerando el promedio de los cinco genotipos evaluados en los dos ambientes y en sus dos versiones, indicó que para la variable rendimiento de forraje el mayor rendimiento se obtuvo con la densidad de población de 95,000 plantas por hectárea (87,997 kg ha<sup>-1</sup>), y que éste fue significativamente diferente al rendimiento obtenido con 70,000 plantas por hectárea (64, 577 kg ha<sup>-1</sup>). En forma similar a lo anterior, la densidad de población de 95,000 plantas ha<sup>-1</sup> tuvo valores superiores de rendimiento de materia seca y rendimiento de materia seca por proteína a los obtenidos en la densidad de 70 mil plantas por hectárea; lo anterior es importante para la producción de forraje verde de maíz, ya que se confirma la densidad de población que conviene usarse comercialmente cuando se quiere producir forraje verde y se trata de obtener la cantidad óptima de proteína. Los resultados obtenidos indican que los materiales que se evaluaron expresaron buena productividad de forraje verde, forraje seco y rendimiento de proteína (Elizondo y Boschini, 2001; González et al., 2005; Núñez et al., 2005; Ma et al., 2006).

Para las variables porcentaje de proteína y porcentaje de digestibilidad, ambas densidades fueron similares, ya que no se detectó diferencia significativa entre ellas (Cerón et al., 2005). En la única variable en donde fue superior la densidad de 70 mil plantas por hectárea fue en porcentaje de mazorca, esto debido a que en bajas densidades de población, las plantas de maíz tienden a producir menos plantas jorras y más plantas prolíficas o con mazorcas más grandes. (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Comparación de medias para producción de forraje entre dos densidades de población de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.**

Densidad de Población (pl ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento forraje (kg ha <sup>-1</sup> )	% Mazorcas	% Proteína	% Digestibilidad	Rendimiento materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia seca x % Proteína (kg ha <sup>-1</sup> )
95,000	87,997 a	27.8 b	8.61 a	69.0 a	25,561 a	2,207 a
70,000	64,577 b	30.4 a	8.67 a	70.8 a	19,686 b	1,700 b
D.S.H (0.05)	4,737	2.35	0.26	1.86	1,954	183

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias entre las dos densidades de población indicó que para rendimiento de grano, la densidad de población de 95 mil plantas por hectárea tuvo un mejor rendimiento (10,143 kg ha<sup>-1</sup>), y diferente estadísticamente, al obtenido en 70,000 plantas por hectárea (8,459 kg ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 20).

**Cuadro 20. Comparación de medias para producción de grano y otras variables entre dos densidades de población de cinco híbridos de maíz en sus versiones Androestéril y Fértil, bajo dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2012.**

Densidad de Población (pl ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Altura planta (cm)	Peso 200 granos (g)	Longitud mazorca (cm)	% Grano
95,000	10,143 a	75.6 a	246.1 a	65.35 a	14.65 a	82.6 a
70,000	8,459 b	75.7 a	247.3 a	65.03 a	14.32 a	82.9 a
D.S.H (0.05)	494	0.4	4.92	1.53	0.34	0.75

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Este resultado coincide con el de otros trabajos similares, en los cuales se reporta haberse obtenido un mayor rendimiento de grano con densidades de población altas (Reta et al., 2002; González et al., 2005), aunque aquí cabría hacer el análisis de si es económicamente conveniente para el productor sembrar 25 mil plantas más por hectárea para obtener un incremento en el rendimiento de solo 1.7 toneladas. Por otro lado, para las otras variables: floración masculina, altura de planta, peso de 200 granos, longitud de mazorca, y porcentaje de grano, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las dos densidades evaluadas, lo que en parte pudiera deberse a la estructura genética y fenotípica de los híbridos evaluados, en los cuales su patrimonio genético es muy similar y las hojas y su orientación permiten que éstos puedan ser sembrados en altas densidades, como ha sido señalado en trabajos similares (Subedi 2006; Strieder et al., 2008; Sánchez et al., 2011).

En la Figura 4 se muestra y compara el comportamiento de cada uno de los cinco híbridos evaluados: PUMA 1183 (1 y 2), Tsíri PUMA y Tsíri PUMA 2 y el híbrido H-47 AE bajo las dos densidades de población, 70 mil y 95 mil plantas por hectárea. Se puede observar que la densidad de población más alta (95 mil plantas por hectárea) tuvo mayor rendimiento de grano y de materia seca; como ejemplo, en el híbrido PUMA 1183 (2) se observaron valores que fueron de 9,037.1 kg ha<sup>-1</sup> hasta 9,745.6 kg ha<sup>-1</sup> para el caso de rendimiento de grano, y de 20,949.9 kg ha<sup>-1</sup> hasta 24,120.4 kg ha<sup>-1</sup> para rendimiento de materia seca.

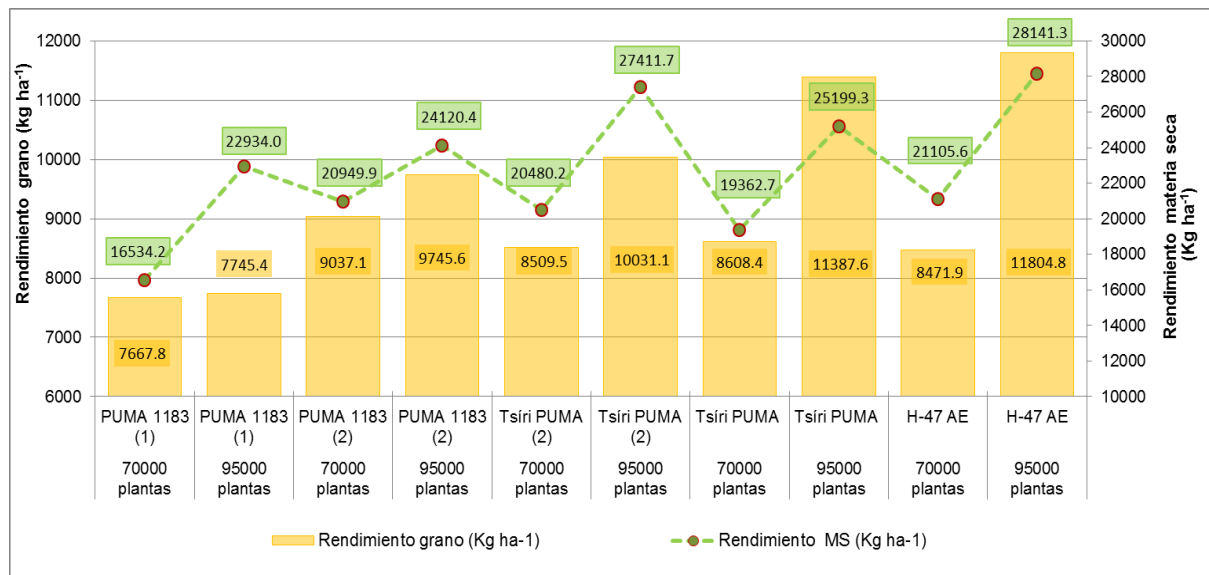


Figura 4. Rendimiento de cinco híbridos de maíz en promedio de sus versiones androestéril y fértil evaluados bajo dos densidades de población en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2012.

Los genotipos que expresaron mayores rendimientos de grano bajo 70,000 plantas por ha fueron PUMA 1183 (2), con 9,037.1 kg ha<sup>-1</sup>, en seguida fue Tsíri PUMA, con 8,608.4 kg ha<sup>-1</sup>, en cambio en la densidad de población de 95,000 plantas por ha, los genotipos más rendidores fueron H-47 AE (11,804.8 kg ha<sup>-1</sup>), el cual es considerado testigo, y Tsíri PUMA (11,387.6 kg ha<sup>-1</sup>). Con respecto a la producción de materia seca, los genotipos que mostraron mayor rendimiento fueron H-47 AE (28,413 kg ha<sup>-1</sup>) y después Tsíri PUMA, con 25,199.3 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.6 CONCLUSIONES

El ambiente donde mejor expresión se tuvo de las variables de rendimiento, tanto de grano, forraje en verde, como de materia seca fue el de CEVAMEX, para el ciclo primavera-verano 2012, pues se obtuvieron rendimientos de grano superiores a 9 ton/ ha, de forraje de 80 t ha<sup>-1</sup>, y de materia seca de 23 t ha<sup>-1</sup>. Entre los genotipos, el mejor híbrido fue H-47 AE, pues tuvo un valor de rendimiento de 10,138 kg ha<sup>-1</sup>, aun cuando estadísticamente no tuvo diferencia en su expresión con los híbridos Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2, y PUMA 1183 (2). Para las variables rendimiento de forraje y rendimiento de materia seca, también el híbrido H-47 AE presentó los rendimientos más altos, con 83,369 kg ha<sup>-1</sup> y 24,623 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; siendo superior para porcentaje de digestibilidad, mostrando un valor de 72.47 %.

En porcentaje de proteína, el mejor híbrido fue PUMA 1183 (1), con un valor de 9.04 %, seguido de PUMA 1183 (2) y H-47 AE, con valores de 8.71 y 8.51 %, respectivamente. Así mismo, el híbrido H-47 AE tuvo un valor aceptable para proteína, aunque PUMA 1183 fue superior, pero la diferencia fue mínima. Con respecto a las versiones androestéril y fértil de los genotipos, la versión androestéril mostró los mejores rendimientos, tanto de grano, forraje verde y materia seca. Por otro lado, la mejor densidad de población fue la de 95,000 plantas por hectárea, ya que mostró los mejores rendimientos para grano, con 10,143 kg ha<sup>-1</sup>, forraje verde con 87,997 kg ha<sup>-1</sup> y finalmente materia seca, con 25,561 kg ha<sup>-1</sup>.



#### 4.7 LITERATURA CITADA

- Arreola V, Navarro C, Burciaga G (1996)** Potencial forrajero de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera. *Agronomía Mesoamericana*. 7(2): 88-92.
- Cerón J J, Crossa J, Sahagún-Castellanos (2005)** Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39(6):667-677.
- Elizondo J, Boschini C (2001)** Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):181-187.
- Espinosa C A, M Tadeo R, A Turrent F, N Gómez M, M Sierra M, A Palafox C, F Caballero H, R Valdivia B, y F Rodríguez M (2008)** 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-Calderón A, M Tadeo-Robledo, M Sierra-Macías, A Turrent-Fernández, R Valdivia-Bernal, B Zamudio-González (2009)** Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 20, Núm. 2, 2009, pp. 211-216.
- Espinosa C A, M Tadeo R, B Zamudio G, A Turrent F, I Arteaga E, V Trejo P, B Martínez Y, E Canales I, J Zaragoza E, M Sierra M, N Gómez M, R Valdivia B, A Palafox C (2012)** Rendimiento de cruza simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. *Ciencias Agrícolas Informa*, 21: 78-85.
- FAO 2015** <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> , consultado el 30 de julio de 2015.
- Hernández-Núñez G, Faz R, M Tovar G, Zavala A (2001)** Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pecu. Méx.* 39:77-88.
- Ivan S K, R J Grant, D Weakley and J Beck (2005)** Comparison of a corn silage hybrid with high cell-wall content and digestibility with a hybrid of lower cell-wall content on performance of Holstein cows. *J. Dairy. Sci.* 88:244-254.
- Núñez G, Faz R, González F, Peña A (2005)** Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Revista Técnica Pecuaria. Méx.* 43:69-78.
- González, Peña A, Núñez G (2005)** Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28 (4): 393-397. 393-397 p.
- González E A, J Islas G, A Espinosa C, G Vázquez C, Wood S (2008)** Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: Híbrido H-48. INIFAP, Serie: estudios de evaluación del impacto económico de productos del INIFAP. Publicación técnica Núm. 25. 88 p.

- Martínez-Lázaro C, L Mendoza-Onofre, G García-de L S, C Mendoza-Castillo, A Martínez-Garza (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*. Vol. 28 (2): 127-133.
- Ma BL, D Subedi K, W Stewart D, M Dwyer L (2006)** Dry matter accumulation and silage moisture changes after silking in leafy and dual-purpose corn hybrids. *American Society of Agronomy. Agron. J.* 98:922–929.
- Núñez G, Contreras R, Castañeda F, Peña A (2005)** Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México*. 43 (1): 69-78.
- Ortiz-Cereceres, J, R Ortega-Pazcka, J D Molina-Galán, M Mendoza-Rodríguez, C Mendoza-Castillo, F Castillo-González, A Muñoz-Orozco, A Turrent-Fernandez, A Kato-Yamakake (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.
- Peña R A, Núñez G, González F (2003)** Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Revista Técnica Pecuaria. México*. 41 (1); 63-74.
- Peña R A, F González C, G Núñez H, C Jiménez G, (2004)** Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:1-6.
- Peña R A, F González C, G Núñez H, R Tovar G, E Preciado O, A Terrón I, Gómez O, Ortega A (2006)** Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29: 109-114.
- Reta G, Gaytán A, Carrillo J (2002)** Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23: 37-48.
- Striede LM, P R Ferreira S, Rambo L, Sangoi L, A Alves S, C Endrigo P, D Batista J (2008)** Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. *Scientia Agricola. Piracicaba, Braz.* 65(4):346-353.
- SAS Institute Inc. 1999.** SAS Users' guide: Statistics, Version 6. Cary, NC. SAS Institute, Inc.
- Sánchez H A, U Aguilar M, Valenzuela N, Sánchez C, Jiménez C, Villanueva C (2011)** Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana*. 22(2):281-295.
- Subedi K D, L Ma B and L Smith D (2006)** Response of a leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. *Crop Sci.* 46:1860-1869.
- Tadeo R., M.; Espinosa C., A.; Beck L., D.; Torres, J. L. 2007.** Rendimiento de semilla de cruzas simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agricultura*

- Técnica en México. 33 (2): 175-180.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1 (3 y 1): 273-287.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Zaragoza E, A Turrent F, M Sierra M, N Gómez M (2012)** Forraje y grano de híbridos de maíz amarillo para valles altos de México. Agronomía Mesoamericana. 23 (2):281-288.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, V Trejo-Pastor, I Arteaga-Escamilla, E Canales-Islas, A Turrent-Fernández, M Sierra-Macías, R Valdivia-Bernal, N Gómez-Montiel, A Palafox-Caballero, B Zamudio-González (2013)** Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz ‘H-47’ y ‘H-49’. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 36 (3): 245 – 250.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P Andrés-Meza (2014)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. Agronomía Mesoamericana 25(1): 45-52.
- Tilley J M A and R A Terry (1963)** Journal of the British Grassland Society 18:104-111 p.
- Tucuch-Cauich C A, S A Rodríguez-Herrera, M Reyes-Valdés, J Pat-Fernández, F Tucuch-Cauich, H S Córdova-Orellana (2011)** Índices de selección para producción de maíz forrajero. Agronomía Mesoamericana. Vol. 22 (1): 123-132.
- Turrent-Fernández A (2009)** Potencial productivo de maíz. Revista Ciencias. 92-93,126-129.

## CAPÍTULO V: BIOFERTILIZACIÓN EN HÍBRIDOS DE MAÍZ ANDROESTÉRILES Y FÉRTILES PARA LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

### 5.1 RESUMEN

En muchas regiones de México, el rendimiento medio que se obtiene de maíz (*Zea mays* L.) es de 2.8 t ha<sup>-1</sup>. Una alternativa para tratar de elevar estos bajos niveles de producción es el uso de variedades mejoradas, entre las que se encuentran los híbridos, aunado al uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización podría ayudar a lograr niveles óptimos de producción. En este trabajo se evaluaron cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles con y sin aplicación de Micorriza (*Glomus intraradices*), para determinar su rendimiento de grano. La evaluación se realizó en cuatro experimentos, dos ubicados en la FESC-UNAM y dos en el CEVAMEX, INIFAP, en Texcoco, México. El objetivo fue estudiar el efecto del biofertilizante en el rendimiento de grano de los híbridos. Se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; las siembras de los materiales se efectuaron en la segunda quincena de mayo y primera de junio de 2012. El análisis estadístico de los datos fue factorial, donde los factores principales fueron ambientes, genotipos, androesterilidad/fertilidad, aplicación o no de biofertilizante, así como las interacciones. Para rendimiento se detectó significancia entre ambientes y entre genotipos, no así para ningún otro factor o interacciones. La media general del rendimiento fue de 8,294 kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento obtenido en la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM fue de 9,939 kg ha<sup>-1</sup>, siendo superior al de la fecha 1 del CEVAMEX (6,071 kg ha<sup>-1</sup>). No hubo efecto de la aplicación de micorriza en el rendimiento medio de los híbridos (8,310 kg ha<sup>-1</sup>), el cual fue similar al del testigo sin aplicación de micorriza (8,279 kg ha<sup>-1</sup>). El genotipo que tuvo el rendimiento más alto fue Tsíri PUMA, con 9,557 kg ha<sup>-1</sup>, y resultó diferente estadísticamente al del H-47 AE (8,692 kg ha<sup>-1</sup>). Tsíri PUMA y PUMA 1183 AE rindieron 8,687 kg ha<sup>-1</sup> y 8,150 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otro lado, el rendimiento medio de la versión androestéril de los híbridos fue de 8,447 kg ha<sup>-1</sup>, siendo similar estadísticamente al promedio de la versión fértil (8,142 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palabras clave:** *Zea mays*, variedades mejoradas, Valles Altos, producción de semillas, micorriza, *Glomus intraradices*.

## USE OF A BIO-FERTILIZER ON MALE-STERILE AND FERTILE MAIZE HYBRIDS FOR THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

### 5.2 ABSTRACT

In many regions of Mexico, the average yield of maize (*Zea mays* L.) that is obtained is 2.8 t ha<sup>-1</sup>. An alternative to increase these low levels of production could be the use of improved varieties such as hybrids, along with the use of efficient techniques of production and good practices of cultivation; among the latter it is recognized that a proper fertilization could help achieve optimum production levels. In this work, five maize hybrids in their fertile and male-sterile versions with and without application of mycorrhiza (*Glomus intraradices*) were evaluated to determine their grain yield production. The evaluation was conducted in four experiments, two located in the Faculty of Higher Studies Cuautitlán-UNAM and two in the Experimental Station of the Valley of Mexico CEVAMEX, INIFAP, in Texcoco, Mexico. The objective was to study the effect of the biofertilizer on the grain yield of the hybrids. A randomized complete block design with four replications was used; the materials were planted in the second half of May and first of June 2012. Statistical analysis of data was factorial, where the main factors were environments, genotypes, male-sterility / fertility, biofertilizer application or not, and interactions. For grain yield it was detected significance between environments and between genotypes but not for any other factor or interactions. The overall mean yield was 8,294 kg ha<sup>-1</sup>. The yield obtained in the second planting date on the FESC-UNAM was 9,939 kg ha<sup>-1</sup>, exceeding that of the date 1 in the CEVAMEX (6,071 kg ha<sup>-1</sup>). There was no effect of the application of mycorrhiza in the average yield of the hybrids (8,310 kg ha<sup>-1</sup>), which was similar to that of the check without application of mycorrhiza (8,279 kg ha<sup>-1</sup>). The genotype that had the highest yield was Tsíri PUMA, with 9,557 kg ha<sup>-1</sup>, which was statistically different to that of H-47 AE (8,692 kg ha<sup>-1</sup>). Hybrids Tsíri PUMA I and PUMA 1183 AE yielded 8,687 kg ha<sup>-1</sup> and 8,150 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Moreover, the average yield of the male-sterile hybrid version was of 8,447 kg ha<sup>-1</sup>, which was statistically similar to that of the fertile version (8,142 kg ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** *Zea mays*, improved varieties, High Valleys, seed production, mycorrhiza, *Glomus intraradices*.

### 5.3 INTRODUCCIÓN

En México se siembran anualmente 8.5 millones de hectáreas de maíz (*Zea mays* L.) y se producen poco más de 22 millones de toneladas de grano; sin embargo, cada año se recurre a la importación de siete millones de toneladas de grano entero de maíz y de tres millones de toneladas de grano quebrado. Estos altos niveles de importación se explican, en parte, por el bajo rendimiento medio que se obtiene en el país, que es de 2.8 t ha<sup>-1</sup> (Turrent, 2009).

Una alternativa para tratar de elevar los bajos niveles de producción de maíz en México es el uso de variedades mejoradas, entre las que se encuentran los híbridos (Ortiz et al., 2007; Espinosa et al., 2009), aunado al uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización podría ayudar a lograr niveles óptimos de producción (Virgen et al., 2010; Tadeo et al., 2012).

A nivel mundial, se reconoce históricamente que la aportación del uso de semillas mejoradas ha sido relevante para incrementar la producción de granos, oleaginosas y otros productos necesarios, le siguen en relevancia los fertilizantes y otros agroquímicos, así como buenas prácticas de cultivo, las cuales son importantes para avanzar en la productividad agrícola; no obstante, existe polémica sobre las repercusiones colaterales en el campo y en la salud por el uso excesivo de fertilizantes químicos fabricados a base de nitrógeno, fósforo y otros agroquímicos. Al revisarse las repercusiones de ese uso inmoderado, se descubre que tienen impacto ambiental y ecológico. Adicionalmente, con el cierre de Fertilizantes Mexicanos (FERTIMEX) y la constante importación de fertilizantes en México, los precios de éstos se han incrementado considerablemente, lo que ha hecho prohibitivo el empleo de fertilizantes químicos para muchos productores (Arredondo et al., 2003; Aguirre et al., 2012).

Con base en la problemática anterior, y ante la necesidad de incrementar la producción con las limitaciones en el uso de fertilizantes químicos, se cuenta con una alternativa que se ha explorado desde hace varios años en México: como es el uso de los biofertilizantes. Estos se utilizaron en forma extensiva a partir de 1999, a través de la promoción que efectuó el INIFAP para aprovechar la disponibilidad de sus biofertilizantes desarrollados, promoción que se dirigió

para que éstos se aplicaran en cultivos como maíz, trigo, sorgo, entre otros (Aguirre et al., 2012; Díaz et al., 2008).

En relación con los biofertilizantes, se sabe que en el caso de los inoculantes microbianos es necesario hacer una estricta selección de las bacterias u hongos que mejor promuevan el crecimiento vegetal y el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, los biofertilizantes desarrollados en la UNAM, unos a base de las bacterias del género *Azospirillum* y aplicados en cultivos de cereales, y otros a base del género *Rhizobium* y aplicados en frijol, son producto de muchos años de investigación básica y aplicada en la que se han seleccionado los mejores individuos de estas especies de bacterias, llamados cepas, y se ha evaluado su efecto en el rendimiento de diferentes variedades y cultivos agrícolas, así como en suelos y climas muy diversos.

En México, el uso extensivo de los biofertilizantes para cereales, principalmente maíz, es relativamente reciente. A pesar de que no existen registros estrictos sobre la cantidad de hectáreas beneficiadas con la aplicación de estos productos, principalmente a base de *Azospirillum brasilense* en el maíz, una rizobacteria promotora del crecimiento vegetal, se estima que se rebasan los 2.5 millones de hectáreas.

El uso de los biofertilizantes ha captado el interés de algunos gobiernos estatales y de las autoridades de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en especial desde 1999, cuando el INIFAP, los promovió de manera extensiva. Esta institución ha continuado con la selección de mejores cepas, pero además se requiere hacer investigación que considere las pruebas de campo en diferentes condiciones de humedad, fertilidad inicial del suelo, manejo de cada cultivo, así como la aplicación de biofertilizantes con y sin aplicación de niveles de fertilizantes químicos, además de que debe considerarse como indispensable que los biofertilizantes sean certificados, para apoyar la seguridad del desempeño de este insumo, como ocurre con las semillas certificadas y los otros insumos agrícolas (Aguirre et al., 201). El objetivo de la biofertilización es formar asociaciones de microorganismos-planta, capaces de incrementar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, así como incrementar la

disponibilidad de nutrientes y hacer eficiente la absorción de los mismos (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Uribe, 2004).

Con respecto a las micorrizas, su interés agronómico radica en la capacidad de las hifas externas de las raíces infectadas para absorber nutrimentos del suelo y transportarlos a la parte aérea de las plantas; su efecto repercute tanto en nutrientes móviles y de baja movilidad, como cobre y zinc (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). El beneficio que brinda la asociación hongo-planta es en el crecimiento e incremento de las posibilidades de la toma de nutrientes por las plantas en: los bajos niveles de fósforo asimilable o alta capacidad de fijación de este elemento en el suelo, la alta velocidad en los procesos de fijación en el suelo y sus respectivas pérdidas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1988; Aguirre et al., 2012; Díaz et al., 2008).

Con el fin de aportar elementos que apoyen el uso potencial de los biofertilizantes en el cultivo del maíz en los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm), el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta en productividad de grano de cinco híbridos trilineales de maíz, cada uno en sus versiones androestéril y fértil, ante la aplicación de un biofertilizante a base de una micorriza arbuscular, en comparación con un testigo sin aplicación de biofertilizante.

#### **5.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

Los experimentos se establecieron en el ciclo primavera-verano 2012 en cuatro ambientes. Dos experimentos se realizaron en la FESC-UNAM, ubicada a 99° 11' 42'' O y 19° 41' 35'' N a una altitud de 2,252 m. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (2004), el clima de Cuautitlán se clasifica como C(W0)(W)b (i''), con una precipitación anual promedio histórico de 609.2 mm (García, 2004). Los otros dos experimentos se establecieron en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP, ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, cuyas coordenadas son 19°31'50.53'' de latitud norte y 98°53'38.98'' de longitud oeste, a una altitud de 2,240 msnm. De acuerdo con García (2004), en el CEVAMEX se presenta un clima templado subhúmedo C(w0) (w) b (i'), caracterizado por manifestar verano fresco y largo, lluvia invernal inferior al 5% de la anual, con oscilación térmica entre 5° y 7° C., y de baja humedad.



En los cuatro experimentos se usó un diseño experimental de bloques completos al alzar con cuatro repeticiones. El análisis estadístico de los datos se efectuó en forma combinada, considerando los factores: ambientes (4), híbridos (5), versión androestéril/fértil (2), tratamientos con y sin biofertilizante (2), así como las interacciones entre estos factores. Cada unidad experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho.

Los genotipos utilizados fueron los híbridos H-47 AE (Espinosa et al., 2010; Tadeo et al., 2012), desarrollado en el INIFAP en colaboración con investigadores de la UNAM; Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2, PUMA 1187 AEC1 y PUMA 1183 AEC2 (Espinosa et al., 2012 a; Tadeo et al., 2010; Espinosa et al., 2012 b) (Cuadro 21).

**Cuadro 21. Tratamientos evaluados en cada experimento de los cuatro ambientes (FESC F1, FESC F2, CEVAMEX F1, CEVAMEX F2). Ciclo primavera-verano 2012.**

Trat	Híbrido	AE/F	BIOF	Trat	Híbrido	AE/F	BIOF
1	Tsíri PUMA	AE	CON	11	H-47 AE	F	CON
2	Tsíri PUMA	AE	SIN	12	H-47 AE	F	SIN
3	Tsíri PUMA	F	CON	13	PUMA 1187 AEC1	AE	CON
4	Tsíri PUMA	F	SIN	14	PUMA 1187 AEC1	AE	SIN
5	Tsíri PUMA 2	AE	CON	15	PUMA 1187 AEC1	F	CON
6	Tsíri PUMA 2	AE	SIN	16	PUMA 1187 AEC1	F	SIN
7	Tsíri PUMA 2	F	CON	17	PUMA 1187 AEC2	AE	CON
8	Tsíri PUMA 2	F	SIN	18	PUMA 1187 AEC2	AE	SIN
9	H-47 AE	AE	CON	19	PUMA 1187 AEC2	F	CON
10	H-47 AE	AE	SIN	20	PUMA 1187 AEC2	F	SIN

FESC F1: Rancho Almaraz, Cuautitlán Izcalli, FESC-UNAM, fecha de siembra 1 (17 mayo 2012);

FESC F2: Rancho Almaraz, Cuautitlán Izcalli, FESC-UNAM, fecha de siembra 2 (01 junio 2012);

CEVAMEX F1: Santa Lucía de Prías, Texcoco, CEVAMEX-INIFAP, fecha de siembra 1 (16 mayo 2012);

CEVAMEX F2: Santa Lucía de Prías, Texcoco, CEVAMEX-INIFAP, fecha de siembra 2 (07 junio 2012);

AE = androestéril; F = fértil.; Biof.: biofertilizante.

En los cuatro ambientes la preparación del terreno consistió de un barbecho, dos pasos de rastra, cruza y surcado a 80 cm. Se empleó la fórmula de fertilización 80-40-00, la cual se aplicó al surcar. Se usó urea como fuente de nitrógeno (46-00-00) en los cuatro ambientes, y como fuente

de fósforo, fosfato diamónico en la FESC-UNAM y en Santa Lucía de Prías se usó superfosfato de calcio triple. Se consideró la aplicación del tratamiento fertilizante 80-40-00, en los cuatro ambientes bajo la premisa de que es un nivel bajo de fertilización, con referencia a 150-60-00, que es el que se emplea en el manejo del cultivo de maíz, en las condiciones de manejo comercial en la zona, es decir, se consideró el probable efecto favorable de los biofertilizantes en complemento con aplicación baja de fertilizante químico.

Para el presente trabajo se utilizó el biofertilizante producido y comercializado por el INIFAP, el cual está elaborado a base de una micorriza arbuscular. Se colocó en sobres la cantidad de semilla necesaria para sembrar un surco de 5 m de largo, con un golpe de tres semillas cada 50. Cabe mencionar que esta semilla no estaba tratada con ningún tipo de plaguicida.

Las semillas de los tratamientos con biofertilizante fueron preparadas en el laboratorio del CEVAMEX. Se les puso adherente para el producto comercial y agua, se mezclaron mecánicamente hasta tener una mezcla homogénea, y posteriormente se les agregó el biofertilizante a razón de 1 kg de micorriza por 40 kg de semilla. La proporción de concentración fue de 40 esporas por gramo, con 85% de colonización radical. En este proceso se evitó el contacto directo con los rayos del sol, justamente como lo indican las instrucciones del producto.

El control de malezas en los lotes experimentales se realizó mediante dos aplicaciones de herbicida durante el ciclo; la primera en preemergencia, un día después de la siembra, con la mezcla de 1.0 L de Hierbamina<sup>®</sup> (2,4 D-amina) más 2.0 kg de Gesaprim<sup>®</sup> (Atrazina) por hectárea. La segunda aplicación se hizo 20 días después de la siembra en la FESC-UNAM y un día después de la segunda escarda en Santa Lucía de Prías. En los cuatro experimentos la segunda aplicación consistió de una mezcla de 1.5 L de Sansón<sup>®</sup> (Nicosulfuron 4.19%), más 1.0 L de Hierbamina<sup>®</sup> (2,4 D-amina), más 2.0 kg de Gesaprim<sup>®</sup> (Atrazina), por hectárea.

El número de días a floración masculina se registró cuando el 50% de las plantas de cada parcela estaban liberando polen, en el caso de las versiones fértiles, y cuando se había expuesto la espiga en el caso de las versiones androestériles; los días a floración femenina se registraron cuando 50% de las plantas en cada parcela habían expuesto los estigmas en por lo menos 3 cm. Se

midieron la altura de planta, tomada en cinco plantas desde la base del tallo al nudo de inserción de la espiga, y la altura de mazorca, medida desde la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior.

La cosecha se realizó en forma manual en los cuatro experimentos a fines de noviembre de 2012. Se cosecharon todas las mazorcas de la parcela, sanas y dañadas. Al final, se seleccionaron solamente las mazorcas que tenían más de 60 % de grano comercial.

En una muestra representativa de cinco mazorcas por parcela se determinaron el porcentaje de humedad del grano, mediante un determinador de humedad electrónico Burrows<sup>®</sup> modelo 700, y la relación grano/olote, que se obtuvo al dividir el peso del grano de cinco mazorcas recién cosechadas entre el peso del grano más olores, y el cociente se multiplicó por 100. También se registraron la longitud de la mazorca, el número de hileras por mazorca, y el número de granos por hilera; para ello se tomaron cinco mazorcas al azar.

El rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) al 14% de humedad, se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\{PC \times \% MS \times \% G\} \times FC)/8,600$$

Dónde:

PC = Peso de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela, expresado en kilogramos.

% MS = Porcentaje de materia seca, calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas.

% G = porcentaje de grano, que es la relación peso de grano/peso de mazorca.

FC= Factor de conversión para obtener rendimiento de grano por  $\text{ha}^{-1}$ ; se obtuvo al dividir 10,000  $\text{m}^2$  entre el tamaño de la parcela útil, que fue de 4  $\text{m}^2$ .

8,600= es un valor constante que permite estimar el rendimiento de grano con un contenido de humedad del 14% humedad, que es con el que se manejan las semillas en forma comercial.

Se analizaron los siguientes factores de variación: El primero fue Ambientes (A), con cuatro ambientes; los genotipos (G), con cinco híbridos; las versiones de los híbridos, con dos niveles:

androestéril o fértil (AE); la aplicación de biofertilizante, con dos niveles: con aplicación o testigo sin aplicar (B); y todas las interacciones: GXAE, GXB, AXG, AXAE, AXB, GXAEXB, AXGXAE, AXGXB, AXGXAEXB. Para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

## 5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable rendimiento, en el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas entre ambientes y entre híbridos, pero no las hubo entre tratamientos con y sin biofertilizante ni tampoco entre versiones androestériles y fértiles de los híbridos. Para esta misma variable, ninguna de las interacciones estudiadas resultó significativa (Cuadro 22).

Por otro lado, entre ambientes hubo diferencias altamente significativas para las variables número de días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, y para las variables componentes del rendimiento longitud de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, y número de granos por mazorca. Entre los híbridos, hubo significancia para días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, hileras por mazorca, y granos por mazorca, en cambio, no se detectaron diferencias para longitud de mazorca y granos por hilera. La media de rendimiento fue de 8,294 kg ha<sup>-1</sup> y el C.V. % fue de 17.8% (Cuadro 22).

Entre las versiones androestériles y fértiles de los híbridos se detectaron diferencias altamente significativas para días a floración masculina, mientras que para altura de planta se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Para las otras variables no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 22).

En cuanto a las interacciones, se detectó significancia al 0.05 de probabilidad en híbridos x biofertilizantes únicamente para la variable altura de mazorca; en ambiente x genotipos hubo alta significancia ( $P < 0.01$ ) para la variable floración masculina, mientras que para floración femenina la significancia fue al 0.05 de probabilidad; en ambiente x androesterilidad/fertilidad hubo significancia ( $P < 0.05$ ) para floración masculina e hileras por mazorca; finalmente, en ambiente x

biofertilizante se detectó significancia ( $P < 0.05$ ) únicamente para hileras por mazorca. El resto de interacciones no mostraron significancia para ninguna de las variables (Cuadro 22).

**Cuadro 22. Cuadrados medios y significancia estadística de nueve variables de cinco híbridos de maíz Fértiles y Androestériles evaluados con aplicación y sin aplicación de Biofertilizante en cuatro ambientes. Primavera - Verano 2012.**

Factor de variación	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración Masculina (días)	Floración Femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Granos por Mazorca
Ambiente (A)	214103451**	597.9**	552.29**	19589.2* *	7230.67**	21.5**	40665.67**
Repetición (R)	10026074.6*	1.691	6.54	1450.70	990.52**	5.03	5243.25
híbridos (G)	89176039**	98.706**	107.96**	4693.91* *	6616.2**	3.89	19257.41**
AE/F	7428369.8	127.5**	9.45	2749.5*	396.05	1.12	1284.00
Biofertilizante (B)	75676.0	0.00	7.50	470.45	0.00	4.27	1174.27
GXAE	4042849.7	4.65	3.25	105.31	74.02	2.97	2431.49
GXB	1220282.6	9.50	9.90	196.77	576.50*	1.51	2599.22
AXG	5820813.1	9.57**	10.70*	480.59	262.33	4.53	2886.89
AXAE	3592262.2	12.34*	3.70	81.24	3.40	0.10	1615.21
AXB	126111.7	1.90	6.15	347.23	313.70	0.35	5012.85
GXAEXB	4555832.0	2.37	2.22	190.74	93.54	1.25	3065.97
AXGXAE	3122526.9	2.39	4.10	142.85	28.82	1.72	4282.25
AXGXB	5783293.5	1.09	1.18	288.04	65.42	1.07	3711.66
AXGXAEXB	2624297.6	2.46	2.91	32.21	47.62	1.51	3910.32
C.V	17.8	2.1	2.6	6.9	9.3	8.9	11.4
Media	8294	77	78	248	127	15.0	470

Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*); al 0.05 de probabilidad (\*).

En la comparación de medias para rendimiento entre ambientes, hubo cuatro grupos de significancia (Cuadro 23), indicando esto que los promedios del rendimiento de los ambientes fueron diferentes entre sí. Entonces, el mejor rendimiento (9,939 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo en la FESC-UNAM, en la segunda fecha de siembra (primera quincena de mayo); este rendimiento resultó diferente al obtenido en la primera fecha de siembra en la misma FESC-UNAM y al de los dos ambientes de CEVAMEX, donde por cierto se obtuvo el valor más bajo en la fecha 1 (6,071 kg

ha<sup>1</sup>). Tanto en la FESC-UNAM como en el CEVAMEX, la segunda fecha de siembra expresó mejores y diferentes rendimientos con respecto a la primera de las dos localidades, lo cual pudo deberse a estrés en las plantas por falta de humedad (sequía) en la primera siembra, cosa que no se tuvo en los experimentos sembrados en la segunda fecha, coincidiendo estos resultados con los de trabajos similares (Tadeo et al., 2014).

Con respecto a la comparación de medias entre ambientes, la FESC-UNAM en la primera y segunda fechas de siembra presentó los valores más elevados para las variables floración masculina, floración femenina, longitud de mazorca, hileras por mazorca y granos por mazorca (Cuadro 23).

**Cuadro 23. Comparación de medias entre cuatro ambientes de evaluación considerando el promedio de cinco híbridos de maíz en sus versiones Fértiles y Androestériles con y sin aplicación de Biofertilizante. Primavera – Verano 2012.**

Ambiente	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración Femenina (días)	Altura Planta (cm)	Altura Mazorca (cm)	Longitud Mazorca (cm)	Hileras por Mazorca	Granos por Hilera	Granos por Mazorca
F2 FESC	9,939 a	81 a	82 a	227 c	116 c	15.1 b	16 a	31 b	486 a
F1 FESC	8,911 b	77 b	78 b	250 b	139 a	15.7 a	15 a	31 b	484 a
F2 CEVAMEX	8,254 c	75 d	76 c	248 b	127 b	14.9 bc	14 b	32 a	475 a
F1 CEVAMEX	6,071 d	76 c	78 b	265 a	126 b	14.7 c	14 b	29 c	437 b
D.M.S.H. (0.05)	607	0.7	0.8	7	5	0.5	0.4	1	22

Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias entre los híbridos evaluados indicó que el rendimiento más alto correspondió a Tsíri PUMA, con 9,557 kg ha<sup>-1</sup>, y que éste fue diferente estadísticamente al de los híbridos H-47 AE y Tsíri PUMA 2, que rindieron 8,692 kg ha<sup>-1</sup> y 8,687 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 24). El híbrido Tsíri PUMA fue desarrollado en el programa de mejoramiento genético de la FESC-UNAM, y recientemente fue inscrito en forma definitiva en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número de registro MAZ - 1571 – 290514. También se está tramitando su protección ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), institución ante la cual se está solicitando el respectivo Título de Obtentor a

favor de la UNAM (Tadeo et al., 2014). Este híbrido es resultado de trabajos con el esquema de androesterilidad que se realiza con investigadores de la FESC-UNAM, desde 1992 (Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014).

La buena respuesta en rendimiento del híbrido H-47 AE confirma resultados de trabajos anteriores, lo que perfila a este híbrido para su uso comercial, de hecho ya está inscrito también ante el CNVV, con el número 3151-MAZ-1656-300615/C, con lo cual se promoverá su siembra extensiva en los Valles Altos. Este material se obtuvo paralelamente al híbrido H-51 AE, el cual fue liberado recientemente por el CEVAMEX – INIFAP; es el primer híbrido producto de la investigación pública en México con androesterilidad en sus progenitores (Espinosa et al., 2012 a; Espinosa et al., 2012 a; Tadeo et al., 2013), lo que también confirma resultados previos reportados para el H-47 (Espinosa et al., 2010). Se espera que este híbrido sustituya al genotipo de mayor difusión y siembra comercial en los Valles Altos, como es H-48 (González-Estrada et al., 2008).

Para el resto de las variables (Cuadro 24), los promedios fueron muy similares entre los híbridos, destacando solo PUMA 1183 AE1 con la menor altura de planta (237 cm), H-47 AE con la mayor altura de mazorca (145 cm), y TSÍRI PUMA y H-47 AE con el mayor número de hileras y de granos por mazorca, lo que les confirió un rendimiento mayor.

**Cuadro 24. Comparación de medias para diferentes variables entre cinco híbridos de maíz en sus versiones Fértiles y Androestériles considerando el promedio de la aplicación y no aplicación de Biofertilizante, evaluados en cuatro ambientes. Primavera – Verano 2012.**

Genotipo	Rendimiento (kg ha)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
Tsíri PUMA	9,557 a	77 bc	78 bc	249 a	124 b	15.4 a	16 a	31 a	482 a
H-47 AE	8,692 b	76 c	77 c	258 a	145 a	15.0 ab	16 a	31 a	491 a
Tsíri PUMA 2	8,687 b	77 bc	78 bc	254 a	119 b	14.7 b	15 b	30 a	467 ab
PUMA 1183 AE2	8,150 b	77 bc	79 b	240 b	124 b	14.9 ab	15 b	31 a	446 b
PUMA 1183 AE1	6,385 c	79 a	81 a	237 b	122 b	15.1 ab	15 b	31 a	466 ab
D.S.H. (0.05)	721	0.8	1	8	6	0.6	0.4	1	26

Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La comparación de medias para el rendimiento entre las versiones androestériles y fértiles de los genotipos mostró que los valores de la producción de grano, en promedio de híbridos, fueron similares entre la versión androestéril y la versión fértil (Cuadro 25). El resultado anterior contrasta con el de otros trabajos similares, donde se encontró que las versiones androestériles tuvieron rendimientos estadísticamente superiores a los de las versiones fértiles (Espinosa et al., 2003; Martínez-Lazaro et al., 2005; Tadeo et al., 2007).

Por otra parte, el rendimiento similar entre las dos versiones confirma que los materiales son isogénicos, y que la diferencia entre ambos fue la presencia o ausencia de polen en las espigas, pero además, que la diferencia de 300 kg entre ambas versiones estuvo a favor de los materiales androestériles, lo cual puede ser ventajoso para el productor, teniendo en cuenta que estas versiones rinden más que las fértiles y que su semilla comercial debe ser más económica, pues para producirla no se necesita desespigamiento, lo que abarata y facilita su producción.

La comparación de medias entre versiones, para las demás variables evaluadas, indicaron que no hubo diferencias significativas para floración femenina, altura de mazorca, longitud de mazorca y granos por mazorca; este resultado es atribuible al hecho de que las versiones son isogénicas, es decir, son genéticamente similares, excepto para los genes génico-citoplásmicos relacionados con la esterilidad masculina Tipo C, que causan que en la versión androestéril no haya producción de polen, mientras que en la fértil sí. (Tadeo et al., 2007; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2012; Tadeo et al., 2013).

**Cuadro 25. Comparación de medias entre las versiones Fértiles y Androestériles de cinco híbridos con y sin aplicación de biofertilizante, evaluados en cuatro ambientes para diferentes variables. Primavera – Verano 2012.**

Versión Androestéril/Fértil	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Hileras por mazorca	Granos por mazorca
Androestéril	8,447 a	78 a	78 a	245 b	127 a	15.1 a	14 b	472 a
Fértil	8,142 a	77 b	78 a	251 a	126 a	14.9 a	15 b	468 a
D.M.S.H. (0.05)	327	0.3	0.4	4	3	0.3	0.2	12

Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).



Por otro lado, en otras variables como floración masculina, altura de planta e hileras por mazorca, aun cuando hubo diferencias, estas no fueron suficientes para afectar de manera relevante el rendimiento entre las versiones.

La comparación de medias de mayor trascendencia en este trabajo de investigación, por ser la parte medular de los objetivos y la hipótesis propuestos, es la respuesta de rendimiento de grano de los híbridos evaluados a la aplicación de biofertilizante cada uno en versión androestéril y fértil, comparados con el testigo sin aplicación de biofertilizante. En el Cuadro 26, se presenta la comparación de medias entre el tratamiento con y sin biofertilizante, y se observa que entre ambos tratamientos hubo rendimientos de grano similares estadísticamente, donde el rendimiento del tratamiento con biofertilizantes fue de 8,310 kg ha<sup>-1</sup> y el del tratamiento sin biofertilizante de 8,279 kg ha<sup>-1</sup>, resultados similares a los que han sido reportado en otros trabajos (Uribe y Dzib, 2006; Sánchez et al., 2008).

**Cuadro 26. Comparación de medias entre tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante para rendimiento y otras variables, considerando el promedio de cinco híbridos en sus versiones Fértiles y Androestériles evaluados en cuatro ambientes. Primavera – Verano 2012.**

Fechas de Siembra	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Granos por mazorca
Con Biofertilizante	8,310 a	77 a	78 a	249 a	127 a	15.1 a	469 a
Sin Biofertilizante	8,279 a	77 a	78 a	247 a	127 a	14.9 a	472 a
D.M.S.H. (0.05)	327	0.3	0.4	4	3	0.3	12

Medias con igual letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Los rendimientos similares de los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante, podrían haber sido influenciados por la fertilización química que se aplicó previa a la siembra, con fertilizante convencional. Esta ausencia de respuesta al biofertilizante en tales condiciones ha sido reportada en otros trabajos similares (Díaz-Franco, 2008; Sánchez et al., 2008; Aguirre et

al., 2012; Espinosa et al., 2012 a), pero es contraria a los resultados de trabajos como el de Cruz-Chávez (2007), citado por Aguirre et al., (2012), quien encontró incrementos hasta de 21% en rendimiento en la Depresión Central de Chiapas. Él obtuvo rendimientos de 2,990 kg ha<sup>-1</sup> de maíz criollo en dos parcelas como testigo, y de 3,646 kg ha<sup>-1</sup> en las parcelas tratadas con *Glomus intraradices*. Los resultados obtenidos en este trabajo tampoco coinciden con los de Arredondo et al., (2003), quienes encontraron incrementos del 11% en el rendimiento de grano de maíz con la biofertilización de *A. brasilense* y *Glomus intraradices*, en comparación con el testigo.

En la comparación de medias entre tratamientos con y sin biofertilizante para las demás variables evaluadas, no hubo diferencias significativas para ninguna de ellas (Cuadro 26). En todos los casos, la expresión de las variables en los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante fue similar, lo que ya se había detectado en trabajos previos llevados a cabo en la propia FESC (Espinosa et al., 2012 a), por lo que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el resultado es similar al aplicar o no aplicar biofertilizante. Pero tal vez convenga evaluar la aplicación de biofertilizante en otras condiciones, por ejemplo, haciendo combinaciones de biofertilizantes que sí pudiesen tener efecto en los materiales (Uribe y Dzib, 2006), o aplicar biofertilizante y sembrar la semilla bajo la ausencia completa de fertilizantes convencionales, donde quizás éste pudiera ayudar a aprovechar los nutrimentos cuando su presencia sea limitada. En este trabajo en los cuatro ambientes de evaluación, como ya se señaló se decidió aplicar una dosis baja de fertilizante químico, pero en trabajos futuros podrían incluirse tratamientos sin fertilizante y combinaciones de niveles de fertilizante con aplicación de biofertilizantes, para definir con mayor precisión el probable efecto en estas condiciones, como lo reporta González-Camarillo (2010), en cuyos resultados encontró incrementos en rendimiento con niveles de fertilización de 90-60-00 y aplicación de biofertilizante.

Los resultados de este trabajo para los tratamientos con y sin biofertilizante también contrastan con los de (Grageda-Cabrera, 2008), quien obtuvo rendimientos de maíz de 10,069 kg ha<sup>-1</sup> en parcelas biofertilizadas con micorriza, y de 9,336 kg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento testigo, lo que significó una diferencia del 8%. En forma un tanto similar, (González-Camarillo, 2010), en el estado de Guerrero, en dos parcelas de validación con el híbrido de maíz H-565 y la dosis de fertilización de 90-60-00 aplicada al testigo y a parcelas tratadas con micorriza INIFAP, reporta

rendimientos promedio de 6,900 kg ha<sup>-1</sup> para el testigo y de 7,700 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento con micorriza; esta diferencia representa 11% más de rendimiento mediante el empleo de la micorriza INIFAP.

Los resultados anteriores indican la conveniencia de verificar en siguientes ciclos los resultados obtenidos con los maíces androestériles y fértiles, con un manejo de fechas de siembra diferentes, así como combinaciones de tratamientos con y sin fertilizantes más biofertilizantes, donde pudiera expresarse el efecto de *Glomus intraradices*, pero sobre todo para tener mayor información de la respuesta a este biofertilizante del INIFAP.

Con respecto a las otras variables, la comparación de medias (Tukey 0.05) entre los tratamientos con y sin aplicación de biofertilizante, junto con el testigo, mostró que éstas tuvieron un comportamiento similar, es decir, fueron iguales estadísticamente con y sin aplicación de biofertilizante, lo que indica que la aplicación o no de biofertilizante no tuvieron un efecto en la expresión de cada una de las variables medidas (Cuadro 26).

## 5.6 CONCLUSIONES

La aplicación de Micorriza a la semilla no propició un efecto significativo en la media del rendimiento de los genotipos (9,039 kg ha<sup>-1</sup>), pues éste resultó similar estadísticamente al rendimiento mostrado por el tratamiento testigo que no tuvo aplicación de micorriza (8,919 kg ha<sup>-1</sup>). Por otro lado, el híbrido que expresó el rendimiento más elevado fue Tsíri PUMA, con 9,557 kg ha<sup>-1</sup>, el cual fue diferente estadísticamente al mostrado por los otros híbridos. El rendimiento medio de la versión androestéril de los híbridos (8,447 kg ha<sup>-1</sup>) fue estadísticamente igual al de la versión fértil de los mismos (8,142 kg ha<sup>-1</sup>), aunque superior numéricamente en 300 kg ha<sup>-1</sup>. Finalmente, el mejor ambiente de evaluación fue la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM.

## 5.7 LITERATURA CITADA

- Alarcón A y R Ferrera –Cerrato (eds.) (2000)** Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. 251 p.
- Arredondo V C Luévanos A y J F Aguirre-Medina, (2003)** Azospirillum y micorriza, complementos a la fertilización del maíz en los Valles Centrales de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales del Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Folleto Técnico Núm. 3. Oaxaca, México.
- Díaz-Franco A, J Salinas G, I Garza C y N Mayek P (2008)** Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. Rev. Fitotec. Mex. 31:257-263.
- Espinosa-Calderón A, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, C Reyes-Méndez, F Caballero-Hernández, M Tadeo-Robledo, A Palafox-Caballero, O Cano, F Rodríguez-Montalvo, E Betanzos-Mendoza y B Coutiño-Estrada (2003)** Seed production and andro-sterility in normal and quality protein maize. pp. 238-239. *In*: Book of Abstracts: Hallauer International Symposium on Plant Breeding. CIMMYT. 17-22 august 2003. Mexico City, Mexico.
- Espinosa Calderón A, M Tadeo-Robledo, A Turrent-Fernández, N Gómez-Montiel, M Sierra-Macías, F Caballero-Hernández, R Valdivia-Bernal, F Rodríguez-Montalvo (2009)** El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. Ciencias. 92-93: 118-125.
- Espinosa-Calderón A, M Tadeo-Robledo, N Gómez-Montiel, M Sierra-Macías, J Virgen-Vargas, A Palafox-Caballero, F Caballero-Hernández, I Arteaga-Escamilla, E Canales-Islas, G Vázquez-Carrillo, Y Salinas-Moreno (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, M Tadeo R, M B Irizar G, A Turrent F, B Martínez Y, N Gómez M, M Sierra M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G, I Arteaga E, E Canales I, R Valdivia B, H J Alcántar L (2012 a).** Efecto de la aplicación de micorriza en semilla de diez híbridos de maíz de valles altos. Memoria de la reunión nacional de investigación e innovación pecuaria agrícola forestal y acuícola-pesquera 2012. México.
- Espinosa C A, M Tadeo R, B Zamudio G, A Turrent F, I Arteaga E, V Trejo P, B Martínez Y, E Canales I, J Zaragoza E, M Sierra M, N Gómez M, R Valdivia B, A Palafox C (2012 b)** Rendimiento de cruza simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. Ciencias Agrícolas Informa, 21: 78-85.

- García E (2004)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Serie Libros No. 6, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Grageda-Cabrera O (2008)** Desarrollo de manejo de suelo y prácticas de conservación para la producción agrícola sostenible y protección del ambiente. Informe Anual de Labores del Programa de Biofertilizantes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto.
- González-Camarillo M (2010)** Informe del Proyecto Transferencia de Tecnología en Biofertilizantes-SAGARPA-FIRCO. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional de Pacífico Sur. Campo Experimental Iguala. Iguala, Gro.
- González E A, J Islas G, A Espinosa C, A Vázquez C, Wood S (2008)** Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: Híbrido H-48. INIFAP, Serie: estudios de evaluación del impacto económico de productos del INIFAP. Publicación técnica Núm. 25. 88 p.
- Martínez-Lázaro C, L Mendoza-Onofre, G García-De Los Santos, M C Mendoza-Castillo y A Martínez-Garza (2005)** Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. Rev. Fitot. Mex. 28: 127-133.
- Ortiz-Cereceres J, R Ortega-Pazcka, J D Molina-Galán, M Mendoza-Rodríguez, M C Mendoza-Castillo, F Castillo-González, A Muñoz-Orozco, A Turrent-Fernandez, A Kato-Yamakake, (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.
- Sánchez-dela-Cruz R, A Díaz-Franco, V Pecina-Quintero, I Garza-Cano, J Loera-Gallardo (2008)** *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. Universidad y ciencia vol.24 (3): 239-245.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, D Beck-Lewis, y J L Torres (2007)** Rendimiento de semilla de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. Agric. Téc. Méx. 33: 175-180.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1 (3 y 1): 273-287.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, N Chimal, I Arteaga-Escamilla, V Trejo-Pastor, E Canales-Islas, M Sierra-Macías, R Valdivia-Bernal, N O Gómez-Montiel, A Palafox-Caballero, B Zamudio-González (2012)** Densidad de población y fertilización

en híbridos de maíz androestériles y fértiles. Terra Latinoamericana volumen 30 (2): 156-164.

**Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, V Trejo-Pastor, I Arteaga-Escamilla, E Canales-Islas, A Turrent-Fernández, M Sierra-Macías, R Valdivia-Bernal, N Gómez-Montiel, A Palafox-Caballero, B Zamudio-González (2013)** Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz 'H-47' y 'H-49'. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 36 (3): 245 – 250.

**Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P A Meza (2014)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. Agronomía Mesoamericana 25(1): 45-52.

**Turrent-Fernández A (2009)** Potencial productivo de maíz. Revista Ciencias. 92-93: 126-129.

**Uribe V G (2004)** Los Biofertilizantes en la Producción de Maíz en Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Sureste. Campo Experimental Uxmal. Folleto Técnico. pp. 27.

**Uribe-Valle,G, R Dzib-Echeverría (2006)** Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. Agric. Téc. Méx vol.32 (1): 67-76.

**Virgen-Vargas J, J L Arellano-Vázquez, I Rojas-Martínez, M A Ávila-Perches y G F Gutiérrez-Hernández (2010)** Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. Rev. Fitot. Mex. 33: 107-110.

## CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL.

Desde 1994, los errores en la estrategia agropecuaria en México, las desventajas comparativas y la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio, propiciaron que en México se agudizara la dependencia del exterior para complementar las necesidades de grano de maíz, importándose desde tres millones los primeros años, hasta diez millones los últimos años. Paralelamente, los anteriores 15 años, el Sistema de Investigación Agrícola y en Semillas en México, especialmente las semillas producto de investigación pública, sufrieron la crisis más grave de la historia. Todavía en el periodo 1996 hasta el año 2000, se le había dado relevancia al abastecimiento de semilla a través del programa gubernamental kilo x kilo, en el cual se respaldaba la adquisición de semilla mejorada. Desde el año 2001, se canceló la operación de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), concretándose su extinción con la Ley de Semillas (2007). Desde entonces, no se apoyó la investigación pública en maíz, menos aún la producción de semillas nacionales

Con el cierre de la PRONASE, en México se perturbó el sistema de abastecimiento de semillas. Ante lo cual fue necesario encontrar otras opciones para que los híbridos y variedades disponibles generados por la investigación pública fueran incrementados y difundidos en forma extensiva, ya que el único usuario de estas variedades sólo había sido la PRONASE. A través de la historia, el INIFAP inscribió 91 híbridos y 43 variedades en el CNVV, y en la suma de los años de 1942 a 2015, ha generado más de 278 variedades mejoradas e híbridos. Por su parte, otras universidades, entre ellas la FESC, UNAM, han generado más de 130 híbridos y variedades (Espinosa et al., 2012).

Con la participación de investigadores del INIFAP, por iniciativa propia, se promovieron empresas de semillas a baja escala, lográndose la participación de innumerables microempresas (más de 70), varias de las cuales maduraron hasta formalizarse en empresas de mayor tamaño (Espinosa et al., 2013). Lo que indica que son 400 o más variedades mejoradas al sumar las cantidades señaladas. Pero ante este panorama, se requiere todavía de mayor apoyo y de investigación para que el productor de maíz en México, sobre todo el pequeño, tenga acceso a

nuevas y mejores tecnologías, variedades mejoradas, y sistemas de producción que hagan rentable su cultivo.

En la región de Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm), el área sembrada con maíz (*Zea mays* L.) que cuenta con condiciones de riego, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables, es de aproximadamente 700 mil hectáreas (Turrent, 1994); de esta superficie, por lo menos 300 mil hectáreas podrían ser sembradas con híbridos de alto rendimiento, los cuales, dadas las condiciones favorables de humedad existentes, exhibirían buena adaptación y productividad. El rendimiento promedio que se obtiene en la región, bajo las condiciones hídricas mencionadas, es de 3.5 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, mismo que podría incrementarse por lo menos a 6.0 t ha<sup>-1</sup> si se emplearan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por instituciones públicas (Espinosa et al., 2010; Espinosa et al., 2012).

La producción de semilla de maíz híbrido requiere que se quiten las espigas de las plantas usadas como hembras para mantener la calidad genética de la semilla, y ésta sola actividad requiere del empleo de 24 a 50 jornales ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad para retirar la espiga (Tadeo et al., 2003; Martínez et al., 2005). Ante esta dificultad, una alternativa para facilitar la producción de semilla híbrida es usar líneas de maíces con androesterilidad como progenitores femeninos, pues éstas no producen polen, y entonces ya no sería necesario desespigarlas (Martínez et al., 2005; Espinosa et al., 2012).

Desde 1992, investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) trabajan conjuntamente con la esterilidad masculina en maíz y su incorporación a los progenitores de híbridos (Tadeo et al., 2003; Tadeo et al., 2010; Tadeo et al., 2014). Como producto de estos trabajos, se desarrolló y obtuvo el híbrido de maíz H-51 AE, el cual fue registrado por el INIFAP en colaboración con la UNAM ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), con el número definitivo MAZ-1145-040211 y ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), obteniéndose el Título de Obtentor 1474 a favor del INIFAP (Espinosa et al., 2012).



Posteriormente, como resultado de la investigación empleando androesterilidad, por parte de la UNAM se generó el híbrido de maíz denominado Tsíri PUMA, el cual fue inscrito en forma definitiva en el CNVV, con el número de registro MAZ - 1571 – 290514, además está en proceso de incorporación en la UPOV, para que esta instancia otorgue el Título de Obtentor correspondiente.

La generación del híbrido Tsíri PUMA, material empleado para generar los resultados de esta tesis, representa la inversión del tiempo y esfuerzo de una gran cantidad de investigadores, profesores, estudiantes, y de personal de campo, quienes han participado en diferentes etapas y líneas de trabajo a través de los años. Los resultados y hallazgos que se presentan en este documento son el producto de diferentes evaluaciones, donde se confirman para el híbrido Tsíri PUMA características favorables de rendimiento. Se presenta su alta capacidad productiva y buenos resultados observados en otros trabajos experimentales (Tadeo et al., 2014 a; Tadeo et al., 2014 b). Además, otra contribución muy importante es que con este material se han formado un número importante de recursos humanos, estudiantes que han participado generando la información que sustenta la liberación de este híbrido.

Por otro lado, puede decirse que son múltiples los retos que tienen por delante los científicos mexicanos para lograr el desarrollo de la ciencia y la tecnología nacionales. Diversas mediciones internacionales del progreso económico y social coinciden en que el éxito de los países radica en su capacidad de sustentar su crecimiento económico en la demanda y el uso crítico de conocimientos. En los países desarrollados, y en algunos emergentes, la capacidad para generar conocimiento con alto valor social y económico agregado se incrementa con sistemas nacionales de innovación que operan a partir de una estrecha articulación entre gobiernos, sector productivo e instituciones de educación superior y centros de investigación (Ruíz, 2012).

De acuerdo con Polanco (2012), la alta rentabilidad económica de la inversión en investigación agropecuaria ha sido ampliamente documentada en países desarrollados y en vías de desarrollo; en México existen pocos trabajos al respecto, pero se ha documentado también la alta rentabilidad de las inversiones en innovación y desarrollo, como lo demuestran los trabajos de González et al. (2008) y González et al. (2007), citados por Polanco (2012), para el caso de los

híbridos de maíz H-50 y H-48, en los cuales, investigadores, profesores y estudiantes en su momento y posteriormente Ingenieros Agrícolas de la FESC tienen reconocimiento a su colaboración.

El principal nicho de desarrollo científico en México está en las universidades públicas y centros públicos de investigación. Por su calidad y por su tradición, la más representativa es la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que aporta cerca del 20% de investigadores, seguida por otras instituciones (De la Peña, 2008).

El país vive actualmente una etapa en la que se demanda de más ciencia en apoyo al campo. Hay una dependencia creciente en la importación de alimentos, y el deterioro de los recursos naturales es alarmante, mientras que una fracción sustantiva de los pequeños productores viven en crisis socioeconómica. Es necesario realizar la labor de reconstrucción de un sistema nacional de investigación y transferencia de tecnología para el campo mexicano (Turrent, Cortés y Espinosa, 2012).

La inversión pública en investigación agrícola en todo el mundo se ha reducido severamente en los últimos 40 años; posiblemente por políticas de organismos como el Banco Mundial y/o el Fondo Monetario Internacional. Los resultados han sido prácticamente los mismos para países desarrollados y los que están en vías de desarrollo, como lo expresan el propio Banco Mundial, la FAO y los estudiosos de los problemas agroalimentarios globales.

De acuerdo con Sarukan (2011), el desmantelamiento en México, desde hace décadas, de la investigación agrícola de calidad y pertinente para garantizar la seguridad alimentaria soberana del país, ha sido desafortunado. Por razones de seguridad nacional, es necesario reactivar la capacidad propia de investigación en las áreas que son esenciales para la seguridad alimentaria de México.

La misión de la UNAM, es la enseñanza, la investigación y la difusión de la cultura; actividades estrictamente relacionadas con los tres aspectos que se involucran en el proceso de generación, validación y producción de semilla de una variedad de maíz. Desde que la autora de este trabajo

se incorporó en 1982 a las actividades de docencia e investigación en la Carrera de Ingeniería Agrícolas de la Facultad de Estudios superiores Cuautitlán de la UNAM, tiene el firme convencimiento de que se aprende haciendo, por lo que desde el inicio del programa de mejoramiento genético de maíz en la FES-UNAM, todos los trabajos se han llevado a cabo involucrando estudiantes de las asignaturas de Producción de granos y oleaginosas y Producción y tecnología de semillas. Los estudiantes se involucran en los trabajos de investigación en primera instancia realizando las prácticas de las materias señaladas. Algunos de ellos, los que se interesan por la investigación en maíz, continúan realizando su trabajo de investigación para titulación con Tesis.

La UNAM, tiene diferentes esquemas de financiamiento para realizar investigación. El Dr. Jaime Keller Torres, uno de los directores con gran visión, propuso el esquema de cátedras de investigación, en el que desde sus inicios se estimuló la integración de equipos de investigadores, asignándoles recursos económicos para sus trabajos, y que en la actualidad son grupos consolidados y reconocidos en el área de su competencia. Con gran satisfacción se puede señalar que uno de esos grupos es en el que se han desarrollado los trabajos de investigación en maíz, tanto generando variedades, propiedad de la UNAM, como colaborando con el equipo de investigadores de maíz del Campo Experimental Valles Altos del INIFAP. Este grupo de investigación INIFAP-UNAM y UNAM-INIFAP ha desarrollado variedades de maíz que en la actualidad se siembran en aproximadamente 60,000 hectáreas de los Valles Altos de México (González et al., 2008; Polanco, 2012).

Otra de las fuentes de financiamiento de la UNAM más importantes es el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT). Por los montos económicos que asignan, es la principal fuente de financiamiento para profesores e investigadores al interior de la universidad. El PAPIIT tiene un esquema perfectamente establecido de becas para estudiantes de licenciatura, maestría, y doctorado que participen en un proyecto. Los becarios PAPIIT son estudiantes de excelencia; pueden obtener una beca para concluir sus estudios de licenciatura, o bien para titularse; además de los requisitos académicos que deben cumplir, deben realizar trabajo con los investigadores responsables del proyecto. Con este programa la UNAM estimula la participación de estudiantes, coadyuvando en la formación de nuevos investigadores. Para el

caso del proyecto “maíz”, se tienen actualmente estudiantes formándose en diferentes niveles: licenciatura, maestría y doctorado. En los tres niveles, las investigaciones que ellos llevan a cabo, son de líneas de investigación del proyecto “maíz”, en colaboración con Consejeros del Colegio de Postgraduados.

Los becarios PAPIIT, PEAPI, así como los ayudantes de Investigador Nacional Nivel III (Dr. Alejandro Espinosa Calderón), becados por CONACyT, son los que, junto con los investigadores del grupo de maíz de la UNAM, es decir, profesores colaboradores, llevan a cabo todas las labores de campo; en especial, las actividades son realizadas por los estudiantes que se involucran desde sus prácticas en las asignaturas hasta su trabajo de tesis o Servicio Social, programa de maestría y doctorado. No hay ninguna participación de trabajadores de campo de la UNAM, lo que si bien puede ser una limitante, para la formación de recursos humanos ha sido una fortaleza.

Lo anterior permite a la autora formar recursos humanos altamente calificados y que posteriormente se insertan en el campo laboral o en estudios de maestría y doctorado, además de generar variedades que pueden ser una alternativa para autoempleo y representan una alternativa para los productores de la zona de Valles Altos. La competencia con las grandes trasnacionales es difícil y desleal, pero existen casos exitosos de microempresas de semillas.

Con el retiro de la PRONASE, el mayor perjudicado con esta decisión fue la investigación pública, y entre las instituciones afectadas está la UNAM, ya que tenía convenido el aprovechamiento de los materiales mejorados que se liberaran. No se adoptaron estrategias alternativas de abasto de semillas, para remplazar la ausencia de PRONASE, no se atendieron suficientemente empresas locales en baja y mediana escala, faltó semilla básica y registrada, para cubrir los espacios que habían quedado sin atención (Espinosa et al., 2003b; Espinosa et al., 2012). Adicionalmente, se limitó a programas de semillas, no se apoyó la investigación y producción de semillas en maíz, al grado que desde el año 2000 y hasta 2013 se desestimuló la investigación en tecnología y producción de semillas. El uso de las variedades generadas por el INIFAP y UNAM puede considerarse un logro importante, ya que ocurre por la iniciativa de

investigadores(as), con pocos recursos, escaso apoyo, promoviendo y apoyando a pequeñas empresas que producen y comercializan las variedades de manera local (Espinosa et al., 2013).

Es indispensable fortalecer esquemas de abasto de semillas mejoradas y nativas, con organizaciones y federaciones de productores, asociaciones y gobiernos estatales, así como egresados de universidades de agronomía, con quienes se puede impulsar el aprovisionamiento de semilla de calidad de variedades disponibles a través de empresas en baja escala (Tadeo y Espinosa, 2003; Valdivia et al., 2007).

Las ventajas al involucrar a estudiantes de agronomía en el proceso de generación, validación y producción de semillas en maíz, son muy importantes, pues se incrementa la capacidad para abastecimiento de semillas al campo mexicano, y se aprovechan de manera óptima las capacidades de profesionistas en agronomía, lo que redundará en una mayor producción de maíz, sustentable, porque sería con variedades mejoradas producto de la investigación pública, generándose empleos y posicionando la investigación mexicana a la vanguardia. De igual manera, se cumplirá con lo que la Universidad establece en sus Estatutos del Personal Académico como actividades sustantivas de sus Profesores de Carrera: Docencia, Investigación y Difusión de la cultura.

La mejor alternativa para promover la producción y uso comercial de semilla mejorada de maíz, es incentivar empresas de egresados de Ingeniería Agrícola, lo que ya ocurre con Tsíri PUMA, al cual lo incrementa un grupo de estudiantes a punto de egresar como Ingenieros Agrícolas. En su segundo año de incremento tienen expectativas de avanzar en su pequeña empresa. En este caso y otros, la FESC, UNAM se encarga de abastecer de semilla registrada de los progenitores de Tsíri PUMA, semilla que se incrementa en el Rancho Almaraz de la propia Facultad.

El otro aspecto fundamental para promover el uso comercial de la semilla, es participar en vitrinas tecnológicas, que se establecen en diferentes localidades, por investigadores del INIFAP, como es el caso del Dr. Benjamín Zamudio González, donde se validan las ventajas agronómicas de Tsíri PUMA y otros maíces. Esta posibilidad y la entrega de semilla a todo aquel interesado en sembrar y probar los híbridos de la UNAM, resuelven parcialmente las limitaciones que se

tienen en la Universidad, ya que no se cuenta con otros sitios o investigadores, como es el caso del INIFAP.

El Dr. Fidel Márquez Sánchez, quien fue uno de los fundadores de Ingeniería Agrícola participando en la primera propuesta de Plan de Estudios, y como profesor de la FESC-UNAM, en una de sus pláticas en la Facultad hace algunos años, señalaba que en su caso él buscaba que cada una de sus variedades fuera adoptada por un agrónomo. En lugar de “adopta un árbol” la frase sería “adopta una variedad”, como una alternativa para difundirlas. No es tarea fácil que las variedades que se generan se usen y los agricultores se beneficien con sus bondades, pero la misión de los Profesores-Investigadores de la UNAM es la docencia; la formación de recursos humanos; la investigación, la formación de nuevos cuadros de investigadores y la difusión de la cultura, publicación y transferencia de la tecnología generada.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES GENERALES.

Con base en las diferentes investigaciones que se llevaron a cabo en torno al híbrido de maíz Tsíri PUMA de la UNAM, se pueden establecer las siguientes conclusiones generales:

Se presenta la descripción y características agronómicas y rendimiento del híbrido Tsíri PUMA, que coadyuvaron a registrarlo ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales.

Se presenta el esquema para la producción de semillas del híbrido Tsíri PUMA, la cual se puede hacer con facilidad, ya que sus progenitores coinciden en días a floración. Las cruzas simples hembras (IA424AEC X IA249) y (IA424F X IA249), versión androestéril y versión fértil, respectivamente, exponen sus estigmas en el mismo número de días (86) requerido por la línea IA449 macho para liberar polen. Ambas cruzas hembra muestran una alta productividad, ya que rinden de 7.5 hasta 9.0 t ha<sup>-1</sup> de semilla comercial, la cual es de tamaño mediano y grande y con una alta proporción de semilla plana (70 %).

En un mismo lote de producción del híbrido trilineal se pueden sembrar ambas cruzas simples en la proporción 80% androestéril y 20% fértil, ya que el macho polinizador es el mismo para ambas.

Se reporta una productividad media de 8,116 kg ha<sup>-1</sup> de semilla. La producción de semilla del híbrido Tsíri PUMA puede hacerse en el Valle de México, Valle de Toluca, Atlacomulco, Valle de Puebla, y San Martín Texmelucan, y también en algunas localidades del Estado de Tlaxcala.

En el ensayo de rendimiento de seis proporciones de semilla androestéril y fértil, cinco proporciones tuvieron rendimientos similares. Al considerar el promedio de rendimiento de los tres híbridos de las dos fechas de siembra, entre las diferentes proporciones de semilla la mejor mezcla en forma práctica sería aquella de utilizar 80 % de semilla androestéril y 20 % de semilla fértil, porque de esta manera se tendrá una alta proporción de plantas androestériles que no necesitarán desespigamiento durante la producción de semilla comercial, lo cual es conveniente para bajar sus costos y hacer más fácil su producción masiva.

El mayor rendimiento de grano ( $9,892 \text{ kg ha}^{-1}$ ) se produjo en el ambiente FESC-UNAM F2, el cual fue estadísticamente superior al obtenido en los otros tres ambientes de evaluación, donde prevalecieron condiciones de humedad de temporal.

Al considerar los cuatro ambientes de evaluación y las versiones androestéril y fértil de cada híbrido, resultó que el híbrido Tsíri PUMA tuvo la producción más alta ( $8,930 \text{ kg ha}^{-1}$ ) entre todos los materiales. Tres híbridos tuvieron un rendimiento de grano estadísticamente similar (H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC2), mientras que el híbrido PUMA 1183 AEC1 resultó con el rendimiento menor.

Se encontró que la versión androestéril, considerando el promedio de los cinco híbridos y de los cuatro ambientes, tuvo un rendimiento estadísticamente similar ( $7,627 \text{ kg ha}^{-1}$ ) al rendimiento de la versión fértil de los híbridos ( $7,294 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

El análisis estadístico de la información detectó que la interacción ambientes x híbridos fue altamente significativa, lo que indica la conveniencia de evaluar los genotipos en un mayor número de ambientes y realizar un análisis de estabilidad de los mismos.

Se obtuvieron rendimientos de grano superiores a  $9 \text{ ton/ha}$ , de forraje de  $80 \text{ ton/ha}$ , y de materia seca de  $23 \text{ ton/ha}$ . Entre los genotipos, el mejor híbrido fue H-47 AE, pues tuvo un valor de rendimiento de  $10,138 \text{ kg ha}^{-1}$ , aun cuando estadísticamente no tuvo diferencia en su expresión con los híbridos Tsíri PUMA, Tsíri PUMA 2, y PUMA 1183 (2). Para las variables rendimiento de forraje y rendimiento de materia seca.

El híbrido H-47 AE tuvo un valor aceptable para proteína, aunque PUMA 1183 fue superior, pero la diferencia fue mínima en valor. Con respecto a las versiones androestéril y fértil de los genotipos, la versión androestéril mostró los mejores rendimientos, tanto de grano, forraje verde y materia seca. Por otro lado, la mejor densidad de población fue la de  $95,000$  plantas por hectárea, ya que mostró los mejores rendimientos para grano, con  $10,143 \text{ kg ha}^{-1}$ , forraje verde con  $87,997 \text{ kg ha}^{-1}$  y finalmente materia seca, con  $25,561 \text{ kg ha}^{-1}$ .



La aplicación de Micorriza a la semilla no propició un efecto significativo en la media del rendimiento de los genotipos ( $9,039 \text{ kg ha}^{-1}$ ), pues éste resultó similar estadísticamente al rendimiento mostrado por el tratamiento testigo que no tuvo aplicación de micorriza ( $8,919 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

El híbrido que expresó el rendimiento más elevado fue Tsíri PUMA, con  $9,557 \text{ kg ha}^{-1}$ , el cual fue diferente estadísticamente al mostrado por los otros híbridos. El rendimiento medio de la versión androestéril de los híbridos ( $8,447 \text{ kg ha}^{-1}$ ) fue estadísticamente igual al de la versión fértil de los mismos ( $8,142 \text{ kg ha}^{-1}$ ), aunque superior numéricamente en  $300 \text{ kg ha}^{-1}$ . Finalmente, el mejor ambiente de evaluación fue la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM.

## CAPÍTULO VIII: LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL

- Airy J M, A Tatum L, W Sorenson J (1978)** La producción de semillas. Producción de semilla híbrida de maíz y sorgo para grano. *In: Anuario estadístico de semillas. Trad. de la 4<sup>a</sup> ed. en inglés por Antonio Marino y Pánfilo Rodríguez. Ed. CECOSA. México. pp. 274-285.*
- Allen J O, M Fauron C, Minx P, Roark L, Oddiraju S, N Lin G, Meyer L, Sun H, Kim K, Wang C, Du F, Xu D, Gibson M, Cifrese J, Clifton S W, Newton K J (2007)** Comparisons Among Two Fertile and Three Male-Sterile Mitochondrial Genomes of Maize. *Genetics* 177: 1173-1192.
- Beck L D, J L Torres (2005)** Desespigamiento. *In: Ortiz T. C., Espinosa C. A., Azpiroz S. R., Sahagún C. S. (Comp.). Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y Zona de transición. Libro técnico Numero 3. INIFAP – CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Edo., de México. pp: 44-55.*
- Canales I E I (2014)** Productividad de grano y semilla de híbridos trilineales, cruza simple androestériles y fértiles de maíz. Tesis M. C., Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- De la Peña, J A (2008)** “Perspectivas y retos de la ciencia mexicana”, Veredas. Revista del Pensamiento Sociológico, año 9, núm. 17, México, UAM Xochimilco.
- FAO (2015)** <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> , consultado el 30 de julio de 2015.
- Espinosa C A, M A López P, N Gómez M, E Betanzos M, M Sierra M, B Coutiño E, R Aveldaño S, R E Preciado O y A D Terrón I (2003<sup>a</sup>)** Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Agronomía Mesoamericana*. 14(1):105-106.
- Espinosa C A, M Sierra M y N Gómez M (2003<sup>b</sup>)** Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía mesoamericana*. 14(1):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 y F A Rodríguez M (2007)** Variedades mejoradas disponibles y abastecimiento de semillas ante la nueva ley de semillas en México.
- 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 Rodríguez M (2008)** 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, M Tadeo R, M Sierra M, A Turrent F, R Valdivia B, B. Zamudio G. (2009 a)** Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana, Vol. 20 (2): 211-216.*

- Espinosa C A, M Tadeo R, A Turrent F, N Gómez M, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, y F A Rodríguez M. (2009b).** El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*.118-125 pp.
- Espinosa C A, M Tadeo R, N Gómez M, M Sierra M, J Virgen V, A Palafox C, F Caballero H, I Arteaga E, E Canales I, G Vázquez C, Y Salinas M. (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, M Tadeo R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N O Gómez M. (2010 a).** Despanojado y densidad de población en una cruza simple androestéril y fértil de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 21 (1): 159-165.
- Espinosa C A, M Tadeo R, B Zamudio G, A Turrent F, I Arteaga E, V Trejo P, B Martínez Y, I Canales I, J Zaragoza E, M Sierra M, N Gómez M, R Valdivia B, A Palafox C. (2012)** Rendimiento de cruza simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. *Ciencias Agrícolas Informa*, 21: 78-85.
- Laclette, J P. (2010)** El debate de la ciencia en México. Múltiples visiones un mismo compromiso, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, México.
- Martínez-Lázaro C, Mendoza-Onofre L. E., García-de L. S. Gabino., Mendoza-Castillo M. 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*. Vol. 28 (2): 127-133.
- Márquez S. F. (1991)** *Genotecnia vegetal*. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo I. LGT Editor S. A. Chapingo, México.
- Ortiz-Cereceres J, R Ortega-Pazcka, J D Molina-Galán, M Mendoza-Rodríguez, M C Mendoza-Castillo, F Castillo-González, A Muñoz-Orozco, A Turrent-Fernandez, A Kato-Yamakake (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.
- Polanco J A (2012)** Evaluación de los mecanismos de financiamiento de la innovación tecnológica, agropecuaria y forestal. CEDRSSA.
- Sarukhán K J (2011)** Investigación agrícola pública, igual a soberanía alimentaria. EL UNIVERSAL.mx. Consultado el: 16 noviembre 2015. <http://archivo.eluniversal.com.mx/editoriales/52229.html>
- Ruíz G R (2012)** “La investigación en ciencia y tecnología en México” en Políticas de educación, ciencia, tecnología y competitividad. Análisis Estratégico para el Desarrollo. Vol. 10. CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSITARIOS, pp 182-207

- Tadeo R M y A Espinosa (2003)** Microempresas de semillas con híbridos “PUMAS de maíz” alternativa para abastecimiento en México. Revista FESC. Divulgación Científica Multidisciplinaria. 3(8):5-10.
- Tadeo R M, A Espinosa C, D Beck L, J L Torres (2007)** Rendimiento de semilla de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. Agricultura Técnica en México. 33 (2): 175-180.
- Tadeo R M, A Espinosa C, J Serrano R, M Sierra M, F Caballero H, R Valdivia B, N Gómez M, A Palafox C, F A Rodríguez M, B Zamudio G (2010)** Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1 (3 y 1): 273-287.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, M Sierra-Macías, N Gómez-Montiel, R Valdivia-Bernal y J Virgen-Vargas (2014)** Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5 (5): 883-891.
- Tadeo-Robledo M, A Espinosa-Calderón, A Turrent-Fernández, B Zamudio-González, R Valdivia-Bernal, P Andrés-Meza (2014)** Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. Agronomía Mesoamericana 25(1): 45-52.
- Turrent F A, J I Cortés F y A Espinosa C (2012)** “Propuesta de políticas de investigación y transferencia agrícola, pecuaria y forestal”. En Políticas agropecuarias, forestales y pesqueras. Análisis Estratégicos para el Desarrollo. Vol. 9. Consejo Nacional de Universitarios, pp. 181-197.
- Turrent F A (1994)** Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH, Publicación Especial No. 12, Chapingo, México.
- Turrent-Fernández A (2009)** Potencial productivo de maíz. Revista Ciencias. 92-93,126-129.
- Valdivia B R, F D Caro V, M Ortiz C, A Betancourt V, A Ortega C, V A Vidal M y A Espinosa C (2007)** Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores. Agric. Téc. Méx. 33(2):135-143.