



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DENSIDADES DE POBLACIÓN PARA DETERMINAR EL
MEJOR RENDIMIENTO DE NUEVOS HÍBRIDOS DE MAÍZ
LIBERADOS POR INIFAP Y UNAM DE VALLES ALTOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTA:

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ MARÍA MONSERRAT

ASESORA: DRA. MARGARITA TADEO ROBLEDO
COASESOR: DR. JOOB ZARAGOZA ESPARZA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTÉS RODRÍGUEZ
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

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

Densidades de Población para Determinar el Mejor Rendimiento de Nuevos Híbridos de Maíz Liberados por
INIFAP y UNAM de Valles Altos

Que presenta la pasante: MARÍA MONSERRAT SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

Con número de cuenta: 41201844-4 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de junio de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Dra. Margarita Tadeo Robledo	
1er. SUPLENTE	Dr. Julio Cesar Corzo Sosa	
2do. SUPLENTE	M.C. Enrique Inocencio Canales Islas	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la paciencia y fortaleza para culminar una profesión.

A mis padres y hermanos:

Con todo mi amor a Carmen Rodríguez Montesinos y Víctor Sánchez Umbral, porque a ellos les debo todo, gracias por su esfuerzo y sacrificio para poder darme a mí y a mis hermanos la oportunidad de estudiar una carrera. A Maribel y Enrique Sánchez Rodríguez porque a pesar de los problemas y las constantes peleas somos familia. A todos los amo.

A Coraline, porque espero poder ser siempre un buen ejemplo y estar para apoyarla en todo momento.

A la Familia Sánchez Rodríguez:

Mis primos Israel, Isaac y Jacob porque a pesar de los malos momentos hace muchos años, y por los cuales no tuvimos culpa alguna, ahora me han alentado a seguir adelante y a cumplir mis metas, gracias por los muchos consejos y los tantos momentos agradables. Los admiro y los quiero mucho. A mi tía Rosa Rodríguez por todo su cariño.

A mis abuelitos:

Ernestina Montesinos Yañez y Santos Rodríguez Salinas porque desde donde estén, se me guíaran y cuidaran siempre.

A mis amigos:

A todos los que han estado en los buenos momentos, pero en especial a los que me han apoyado en los momentos difíciles, principalmente a Abigail Vázquez, Miriam Baltazar, Sonia López, Lilitiana Hernández, Eduardo Matías, Leo Solano, Orlando Ramírez, Leticia Gómez, Sergio Chávez, Maye Verde, Fany Collado y Willy Hernández por todos los momentos que juntos hemos pasado, a algunos por muchos años de amistad, por la confianza y el apoyo que me han brindado, por palabras que motivan a seguir, pero sobre todo porque sé que estarán ahí siempre. También a Julio, Mario C., Laura y Mario H. Tampoco pueden faltar Carlitos, Richard, Hotch y Pull, los extrañare. A Fernando Ortiz por compartir muchas experiencias conmigo. Gracias!

Gracias a todas las personas que de alguna forma han contribuido en mi vida dando su amistad, su apoyo incondicional, sus consejos, confianza, su tiempo. Pero gracias a todas aquellas de las cuales no he recibido nunca cosas buenas, gracias por no creer en mí, porque han sido y serán un gran impulso para no rendirme nunca.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de la comunidad de la máxima casa de estudios de este País, a la que pertenezco orgullosamente.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán porque se convirtió en una segunda casa para mí, dándome la oportunidad de cursar mis estudios aquí.

A la Carrera de Ingeniería Agrícola, que me dio todas las bases para formarme como profesionista, es una carrera muy hermosa y noble, todas las experiencias que te brinda te ayudan a crecer como ser humano y a la cual deseo representar con amor, pasión y mucho orgullo siempre.

A mis asesores de Tesis la Dra. Margarita Tadeo Robledo y el Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por darme la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo y apoyarme en la realización de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico durante mi último año de estudios como ayudante de Investigador Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

Al grupo de semillas por incluirme en las actividades, por su colaboración en la toma de datos de este trabajo, en especial a Beatriz Martínez, Israel Arteaga y Enrique Canales; por los ratos agradables que se pasan mientras se trabaja y en los ratos de descanso.

A mi jurado de Tesis el M. A. Vicente Silva Carrillo, a la Dra. Margarita Tadeo Robledo, al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, al Dr. Julio César Corzo Sosa y al M. C. Enrique Inoscencio Canales Islas.

A los profesores de Ingeniería Agrícola que comparten sus conocimientos, consejos y experiencia, en especial al M.C. Vicente Silva Carrillo, a la I. A. Minerva Chávez German, al Dr. Joob Zaragoza Esparza, al Ing. Ángel Cipriano López Cortes, entre otros, que transmiten su amor y pasión por el campo y la agricultura.

CONTENIDO GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Particulares	3
1.3. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1. Producción mundial de maíz	4
2.2. Producción nacional de maíz y problemática	4
2.3. Densidad de población	7
2.4. Componentes del rendimiento y efectos de la densidad de población	9
2.5. Mejoramiento Genético de maíz	10
2.6. Híbridos Trilineales y Androestériles	12
2.7. Híbrido H-51 AE	13
2.8. Híbrido H 53 AE	13
2.9. Híbrido H 47 AE	14
2.10. Híbrido H 49 AE	14
2.11. Híbrido Tsíri Puma	14
2.12. Híbrido H-48	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Ubicación y descripción del lugar	16
3.2. Material genético	16
3.3. Diseño experimental	16
3.4. Establecimiento del experimento y manejo agronómico	16
3.5. Variables evaluadas	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIÓN	25
VI. LITERATURA CITADA	27

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Principales países productores de maíz	4
Cuadro 2 Producción agrícola, maíz grano. Modalidad: Riego + temporal. Año agrícola: P-V + O-I 2015	6
Cuadro 3 Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas en seis híbridos de maíz liberados por el INIFAP y la UNAM, considerando tres diferentes densidades de población y tres ambientes de evaluación, FES-C y CEVAMEX, Primavera-Verano. 2015.	20
Cuadro 4 Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas en seis híbridos de maíz liberados por el INIFAP y la UNAM, considerando tres diferentes densidades de población y tres ambientes de evaluación, FES-C y CEVAMEX, Primavera-Verano. 2015.	21
Cuadro 5 Comparación de medias de tres ambientes de prueba para las diferentes variables evaluadas considerando la media de seis híbridos de maíz y tres ambientes de Valles Altos. FES C y CEVAMEX, Ciclo Primavera-Verano. 2015.	21
Cuadro 6 Comparación de medias entre seis diferentes híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y tres diferentes densidades de población para las diferentes variables evaluadas. FES-C y CEVAMEX. Ciclo primavera verano 2015.	22
Cuadro 7 Comparación de medias entre las densidades de población para las diferentes variables evaluadas en el promedio de seis híbridos de maíz de INIFAP y la UNAM de Valles Altos evaluados en la FES-C y CEVAMEX. Ciclo Primavera -Verano 2015.	23

RESUMEN

El maíz es el cultivo más importante en México, por lo que es de suma importancia mantener investigaciones con el fin de incrementar los rendimientos para los agricultores. Varios factores influyen en el rendimiento, uno de ellos es la densidad de población. Esta investigación se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2015, en las localidades de Cuautitlán Izcalli, en la Facultad de Estudios Superiores de la UNAM, y en el Campo Experimental Valle de México, del INIFAP en Santa Lucia de Prias, Texcoco. Donde se evaluaron los siguientes genotipos: H-51 AE, H 53 AE, H 47 AE, H 49 AE, Tsíri puma y H-48; pertenecientes a la instituciones ya mencionadas, estos se establecieron en tres densidades de población que fueron 50,000; 65,000 y 80,000 plantas por hectárea. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. El análisis estadístico se realizó de forma factorial, donde los factores de variación fueron ambientes, bloques, genotipos y densidades de población. Se realizó un análisis de varianza considerando los factores de variación mencionados y sus diferentes interacciones, con una comparación de medias por el método de Tukey. En el análisis de varianza hubo diferencias altamente significativas entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo x ambiente para la variable rendimiento. En la comparación de medias entre los diferentes ambientes de prueba, el ambiente que tuvo el mayor rendimiento considerando el promedio de los genotipos evaluados fue en el ambiente de Santa Lucia de Prías en la primer fecha de siembra con un rendimiento medio de 5497 Kg ha⁻¹, seguido del ambiente de Cuautitlán con un rendimiento medio de 4732 Kg ha⁻¹, y por último el ambiente de Santa Lucia de Prías en su segunda fecha de siembra con un rendimiento de 4449 Kg ha⁻¹. En la comparación de medias de los seis genotipos evaluados el híbrido Tsíri Puma obtuvo el rendimiento más alto con 5856 Kg ha⁻¹, seguido del híbrido H 49 AE con un rendimiento de 5572 Kg ha⁻¹ y el híbrido H 53 AE con un rendimiento de 5569 Kg ha⁻¹. No hubo diferencias significativas entre las densidades de población. Se concluye que la densidad de población no es un factor que influya en el rendimiento de los seis genotipos evaluados, por lo que se recomienda usar

65,000 plantas por hectárea para evitar que el agricultor invierta en adquirir mayores cantidades de semilla en densidades más altas.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los granos más antiguos que se conocen. Es el segundo cultivo más importante en cuanto a superficie sembrada a nivel mundial después del trigo. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea. Este grano es de gran importancia económica ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como insumo para un gran número de productos industriales. Es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (FAO, 2015).

México es centro de origen del maíz. El centro de origen es la zona donde se inició el cultivo o la domesticación de una especie determinada. Los centros de origen cumplen la importante función de ser las reservas de germoplasma ante eventualidades de plagas y enfermedades o de otro tipo de contingencias como ciclones, huracanes o terremotos, que acaban con las variedades dominantes que suelen sembrarse en otros países. La diversidad genética existente en estos centros permite el desarrollo continuo de variedades con capacidad de defensa contra plagas y tolerancia a factores climáticos como la sequía. El centro de origen de una especie es una fuente invaluable e irreparable de material genético. Está caracterizado generalmente por poseer el nivel de variabilidad genética más alto de una especie. El maíz significa un principio vital y un elemento fundamental de la cosmovisión de los pueblos indígenas. Para los mexicanos, esta planta sigue siendo un dador de vida y un elemento fundamental de identidad (CONABIO, 2005).

Desde el punto de vista agroalimentario, económico, social y cultural, este cultivo es el más importante en México.

Cada año se siembran poco más de 7 millones de hectáreas lo cual representa el 34.32% de la superficie sembrada en el país (SIAP, 2017). Una alternativa para facilitar la producción de semilla, así como elevar el nivel de adopción de híbridos de maíz en

los Valles Altos, es el uso de tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica, ya que se emplean líneas androestériles como progenitores femeninos, con lo cual se elimina el desespigamiento (Martínez *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2016). Desde 1992, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), trabajan con fuentes de esterilidad masculina y su incorporación a los progenitores de híbridos (Tadeo *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014 a). Producto de estos trabajos se desarrollaron los híbridos de maíz H 47 AE, H 49 AE, H 53 AE para el cual se empleó el esquema de androesterilidad en los progenitores para facilitar la producción de semilla y favorecer el mantenimiento de la calidad genética (Tadeo *et al.*, 2013), los tres maíces fueron inscritos ante el Catálogo Nacional de Variedades de vegetales (CNVV) y registrado ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), obteniéndose los Título de Obtentor, respectivos (Espinosa *et al.*, 2017).

En la mayoría de los casos, los factores de la producción se han estudiado en un solo genotipo. Por otro lado, en la formación de variedades mejoradas de maíz, muchos mejoradores aplican la selección en una sola densidad de población (generalmente entre 50 y 65 mil plantas por hectárea), y con dosis de fertilización estándar, de tal forma que se desconoce la respuesta de las variedades generadas, a diferentes niveles de los factores de producción a los que son sometidas, cuando éstas son puestas a disposición del productor para su uso comercial (Maya y Ramírez, 2002). Es por eso que este trabajo se enfoca en los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento de seis genotipos liberados para los Valles Altos de México por INIFAP y UNAM con tres diferentes densidades de población en dos localidades distintas del Estado de México.

1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.2.1. Identificar los componentes del rendimiento que son alterados por las distintas densidades en las dos localidades.
- 1.2.2. Determinar el genotipo con mayor rendimiento bajo condiciones de temporal en las zonas de estudio.
- 1.2.3. Establecer la densidad de población apropiada para recomendar al agricultor.

1.3 HIPÓTESIS

El rendimiento de grano de maíz aumenta conforme mayor es la densidad de población y se obtendrán mejores resultados con los híbridos liberados recientemente.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Producción mundial de maíz

Durante el ciclo comercial 2014/15 se observó el nivel de producción mundial más alto de la historia, al totalizar 1,009 millones de toneladas (FIRA, 2015).

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la producción mundial de maíz 2016/2017 será de 1011.07 millones de toneladas; la cual el año pasado fue de 968.86 millones de toneladas. Los 1011.07 millones de toneladas estimados este año podrían significar una disminución de 42.21 millones de toneladas o un 4.36% en la producción de maíz alrededor del mundo.

Cuadro 1. Principales países productores de maíz

No.	País	Producción (ton)
1	E. U. A	366,539,000
2	China	218,000,000
3	Brasil	82,000,000
4	Europa	64,275,000
5	Argentina	34,000,000
6	Ucrania	26,000,000
7	México	23,500,000

Fuente: Producción Mundial del Maíz, 2016

Durante los periodos 2014/15 y 2015/16 los principales países consumidores fueron Estados Unidos, China, la Unión Europea, Brasil, México en el 5° lugar, después India, Japón y Egipto. En todos los países consumidores excepto México el consumo principal es para forraje, seguido de consumo humano, industrial y de semilla (FIRA, 2015).

2.2 Producción nacional de maíz y problemática

Los productores de maíz en México se enfrentan de manera permanente a la necesidad de producir más a menor costo; sin embargo, los costos de producción han ido a la alza con la consecuente reducción en los márgenes de ganancia. Se han diseñado diferentes estrategias para elevar la producción, entre las que sobresalen: la

generación de variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento, el uso de altas densidades de población, la determinación de dosis óptimas económicas de fertilizantes químicos y orgánicos, la cosecha mecanizada y la labranza mínima (Maya y Ramírez, 2002).

En México no se produce el maíz que se necesita y se recurre cada año a fuertes importaciones. Esto compromete la soberanía alimentaria del país (Espinosa y Tadeo, 2004).

Es necesario incrementar la producción de maíz en México para evitar las continuas y voluminosas importaciones, y la mejor opción es incrementar la productividad mediante el uso eficiente de los recursos disponibles. Entre ellos, el material genético mejorado ofrece una de las mejores opciones para lograr este propósito (De la Rosa et al., 2006).

Como se observa en el cuadro 2, Sinaloa es el principal estado productor con un rendimiento promedio casi tres veces más que la media nacional.

A pesar de que Chihuahua cosecha una menor superficie que el estado de Michoacán su producción es similar por su alto rendimiento esto se debe a la producción intensiva y al uso de variedades mejoradas.

En el año 2015 se perdió el 6.59% de la superficie cultivada por factores ambientales como sequías o inundaciones, de ahí la diferencia entre superficies.

La causa principal de los siniestros es la sequía. Aun con los bajos rendimientos de grano y la alta siniestralidad, el cultivo de maíz de temporal es muy importante, porque es parte fundamental de las actividades y sistemas de vida que permiten la subsistencia de muchas familias (Luna y Gutiérrez, 1998).

Cuadro 2. Producción agrícola, maíz grano. Modalidad: Riego + temporal
Año agrícola: P-V + O-I 2015.

Estado	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor producción (miles pesos)
Sinaloa	544,070.17	540,654.49	5,380,042.41	9.95	17,968,210.77
Jalisco	538,870.35	522,985.85	3,338,766.29	6.38	10,943,701.51
México	540,463.76	533,153.06	2,036,339.17	3.82	6,977,832.09
Michoacán	467,821.00	414,994.34	1,721,658.03	4.15	5,787,030.21
Chihuahua	238,747.12	233,367.62	1,436,559.58	6.16	4,442,367.00
Nacional	7,600,452.58	7,099,723.80	24,694,046.25	3.48	84,523,647.45

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2017

Del total de la superficie sembrada el 80.25% que corresponde a 6, 099,689.49 hectáreas es bajo condiciones de temporal, con un rendimiento promedio de 2.28 Ton/Ha y cosecha el 92.04% de la superficie sembrada, aporta el 51.88% de la producción nacional. Mientras que el 19.75% (1, 500,763.09 Ha) pertenece a la modalidad con riego, esta aporta el 48.12% de la producción nacional por su alto rendimiento (8 Ton/Ha) y alta superficie cosechada (98.98%)

La baja productividad a nivel nacional, se asocia con el reducido uso de semilla mejorada, ya que más del 70% de la producción es para autoconsumo. Otro factor que afecta la producción es la baja densidad de población utilizada para la siembra de variedades criollas y mejoradas (De la Cruz *et al.*, 2009).

El origen de las importaciones se halla en la inadecuada estrategia agropecuaria que han seguido los responsables gubernamentales, al considerar que conviene importar grano en lugar de producirlo bajo el argumento de que el precio internacional en términos relativos es menor al que se paga por tonelada aquí. Nunca se consideró que producirlo en el país tenía las ventajas invaluable de la derrama económica que genera la ocupación, el impacto social, ni la conservación de nuestra identidad (Espinosa *et al.*, 2009).

2.3 Densidad de población

La densidad de población se refiere al número de plantas disponibles en una superficie determinada.

Los híbridos altamente productivos, en alta densidad, han hecho posible pasar de 30,000 a 80,000 e incluso 100,000 y más plantas por hectárea.

El maíz posee un elevado potencial de rendimiento muy sensible al estrés, característica que determina su marcada respuesta al correcto ajuste en el manejo agronómico. Su crecimiento está directamente relacionado con la capacidad para capturar la luz solar (Cirilo, 2000). Estas plantas tienen una alta capacidad de transformar radiación solar en producción de granos por su interacción fisiológica y morfológicamente; esto les permite maximizar el uso de recursos en su entorno (Sangoi, 2001).

El manejo de la densidad de plantas es la herramienta más efectiva para mejorar la captura de luz. El rendimiento en maíz es particularmente sensible a las variaciones en la población de plantas. Bajo condiciones de riego y fertilización, reducciones de 75% en la densidad correcta producen mermas de rendimiento cercanas al 50%, mientras que la duplicación de la densidad inicial disminuye el rendimiento un 20% (Cirilo, 2000).

En forma general, la densidad de población utilizada en cruza simples, cuando se produce semilla en Valles Altos, es de 50 000 plantas por hectárea, obteniéndose buena producción y calidad física de semilla y facilitándose la eliminación de espigas; cuando se emplea la versión androestéril que no requiere desespigue, es posible utilizar una densidad de población superior (70 000 plantas por hectárea) (Tadeo *et al.*, 2012).

La densidad de plantas, es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. Dentro de las gramíneas el maíz es la especie que presenta mayor potencial sobre el rendimiento de grano, pues

este se incrementa con la densidad, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando se sobrepasa este punto (Sangoi, 2001). Los rendimientos bajos al disminuir la densidad de siembra, son debidos a la escasez de plantas, esto provoca problemas con maleza y desperdicio de suelo, pero con densidades altas se provoca esterilidad (Cervantes *et al.*, 2014).

La densidad óptima en maíz depende del genotipo, fertilidad y manejo agronómico del cultivo (Sánchez *et al.*, 2011). Varios estudios indican que el maíz difiere en su respuesta a la densidad de población en función del genotipo y de las condiciones ambientales (De la Cruz *et al.*, 2009).

La cantidad de plantas necesarias para lograr una buena cobertura es función del área foliar de cada una y de la disposición de sus hojas (erectas o planas). Plantas poco foliosas y de hojas erectas requerirán densidades mayores para conseguir la cobertura total del suelo. Las bajas densidades afectan significativamente la captura de luz y, en consecuencia, el crecimiento del cultivo. Es por esto que el maíz presenta una notable respuesta al aumento de la densidad en términos de producción de biomasa (Cirilo, 2000).

La densidad es uno de los factores que modifica el productor para incrementar el rendimiento, pero al incrementar la densidad de población, incrementa la competencia por luz, agua y nutrientes, lo que ocasiona reducción en el número de mazorcas, cantidad y calidad del grano por planta, incrementa la frecuencia de acame (De la Cruz *et al.*, 2009), estimula dominancia apical e induce esterilidad. Para conseguir un buen aprovechamiento del terreno no debe sembrarse a menos de 25 cm entre plantas, ni a más de 40 cm. Esto se debe a un mejor aprovechamiento de la energía solar interceptada por las plantas (Sangoi, 2001).

La densidad de población requerida para una completa utilización del ambiente está influenciada por la selección del híbrido, ya que algunos híbridos son capaces de compensar las bajas densidades de población y producen varias mazorcas por planta

(prolificidad) o incrementan el tamaño de las mazorcas individuales cuando las condiciones son favorables (Animas, 1997).

Hoyt y Bradfield en 1962 citados por Sangoi, 2001, señalan que a altas densidades el rendimiento deja de aumentar en proporción al número de plantas, debido a la competencia por los nutrientes y la humedad del suelo y por los cambios en otros factores como son la reducción de la intensidad de luz en las hojas inferiores de la planta. Se ha sugerido que el mayor contacto de la raíz con el suelo en condiciones de altas densidades de población, incrementa la evapotranspiración bajo condiciones de temporal, esto aumenta las condiciones de estrés para la planta.

2.4 Componentes del rendimiento y efectos de la densidad de población

Los componentes del rendimiento son aquellos caracteres morfológicos y procesos fisiológicos de la planta, que se pueden identificar y que regulan la producción de grano. Los componentes morfológicos son los que se relacionan con los órganos aéreos y subterráneos de la planta. Dentro de los más estudiados se encuentran: altura de la planta, peso de la planta (fresco o seco), número y tamaño de las hojas, rendimiento de grano por planta, área foliar por planta, peso y dimensiones de la mazorca, así como número de hileras y de granos. La expresión e influencia de cada componente en el rendimiento de grano está determinada por las prácticas de manejo del cultivo y su interrelación con los procesos fisiológicos de cada genotipo (Animas, 1997).

El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez. Este número se asocia con la capacidad de crecimiento de la planta durante la floración, cuando se determina la disponibilidad de asimilados para los granos en formación en ese período crítico para su supervivencia (Cirilo, 2000).

Se ha encontrado que al incrementar la densidad de población en maíz, generalmente disminuyen todos los componentes de rendimiento de las plantas, a

excepción del número de hileras por mazorca, pues este permanece estable (Animas, 1997). Aunque Parga et al., 1984, argumentan que la altura de la planta y de la mazorca se incrementa por la competencia de luz. También mencionan que el rendimiento en altas densidades solo se incrementa en híbridos de hojas verticales porque existe una menor interferencia de luz.

Altas densidades de población también pueden provocar otros efectos como son el incremento en el número de plantas jorras, principalmente debido a un incremento en el intervalo entre la dehiscencia de las anteras y la aparición de los estigmas, lo cual no permite que se efectúe la polinización. Otros efectos observados son el aumento de la materia seca por m^2 y el retraso en la senescencia de las hojas. Adicionalmente al incrementarse la densidad de población se incrementa el índice de área foliar y disminuye el efecto de la interferencia de las malezas en el rendimiento de maíz. La competencia entre plantas se refleja principalmente en la reducción del número de granos por mazorca. El número de granos por mazorca se reduce conforme aumenta la densidad. El peso de grano se mantiene independiente de la densidad (Reta et al., 2000).

Aun en condiciones óptimas de humedad, temperatura y fertilidad del suelo, las altas densidades de población aumentan la altura del tallo, pero disminuyen su diámetro y la longitud y anchura de la hoja, debido a que induce una mayor competencia por la luz (Cabrales et al., 1992).

2.5 Mejoramiento Genético de maíz

Un componente esencial de cualquier proceso de intensificación sustentable de las actividades agrícolas es, sin duda, el desarrollo de variedades mejoradas. Se han demostrado en campo varios beneficios, entre otros, el incremento del rendimiento. El mejoramiento genético, se basa en la experimentación con bases científicas encaminada a mejorar el potencial productivo de las semillas (Larqué et al., 2013)

Una variedad mejorada se define como el conjunto de plantas con cierto nivel de uniformidad, producto de la aplicación de alguna técnica de mejoramiento genético, con características bien definidas y que reúne la condición de ser diferente a otros, y estable en sus características esenciales; generalmente tiene mayor rendimiento que las variedades que le antecedieron, así como condiciones favorables de calidad, precocidad, resistencia a plagas y enfermedades, y un potencial de uso en las regiones para las que se recomienda (Espinosa *et al.*, 2009).

En los últimos 15 años, la superficie sembrada de maíz disminuyó el 10%, sin embargo el rendimiento nacional aumentó el 41.5% debiéndose gran parte de este incremento al mejoramiento genético el cual ha estado asociado con un aumento en la tolerancia al estrés, lo cual ha incrementado su competitividad; así como a la mejora de las condiciones agrícolas, particularmente el uso de fertilizantes y altas densidades de población (SIAP, 2017).

Arellano en 1976, citado por Animas, 1997 encontró que los maíces híbridos superan a los criollos regionales en cuanto a rendimiento, siempre y cuando no hubiera un factor limitante como el agua y las heladas. Las diferencias genéticas entre híbridos juegan un importante papel en la respuesta del rendimiento a diferentes prácticas de manejo. Para que los híbridos mejorados puedan expresar todo su potencial de rendimiento, los componentes ambientales deben ser los adecuados.

Actualmente las empresas semilleras de capital transnacional son las que comercializan la mayor cantidad de semilla certificada de maíz en nuestro país (Rojas *et al.*, 2009).

En los últimos años diversas instituciones y empresas han ofrecido nuevas variedades con buen potencial de rendimiento, las cuales es posible difundirlas a través de diversas estrategias. Se requiere fortalecer el desarrollo de empresas semilleras de mediana y baja escala, para abastecimiento de semilla certificada y de esta forma

aprovechar las variedades e híbridos con características sobresalientes (Espinosa et al., 2004).

Los niveles del uso de semillas certificadas crecieron 5.15% anual durante el periodo de 1988-2006, debido a la incorporación de importantes regiones agrícolas de riego. La intensificación media del proceso productivo es baja, porque el grado en que se usan los insumos y la maquinaria en la agricultura es pequeño a comparación de la media nacional. Por ejemplo la superficie sembrada con semillas certificadas de maíz a nivel nacional fue del 38.4% en el año 2006. En los Valles Altos los niveles de adopción son muy bajos, pues en tan solo el 6% de la superficie sembrada con maíz se usa semilla certificada (González et al., 2008). Para el año 2010 este porcentaje aumento a 38.7% a nivel nacional. En el año 2003 en el Estado de México los híbridos y variedades tenían una tasa de adopción de 48.9%, la cual se incrementó para el 2006 a 58.7%. La demanda por semillas mejoradas de maíz está muy segmentada y es muy diversa, siendo esta, una de las razones por la cual es muy difícil de satisfacer. Esta también es una de las causas de los relativos niveles de adopción (Larqué et al., 2013).

La elección adecuada de la variedad es una decisión fundamental que repercute en las siguientes etapas de la producción de cultivos (Espinosa y Tadeo, 2004). Muchas veces el agricultor no sabe la forma correcta de elegir una variedad lo cual influye de manera negativa en los rendimientos.

2.6 Híbridos Trilineales y Androestériles

Los híbridos trilineales se obtienen del cruzamiento controlado entre un híbrido simple usado como hembra y una línea de bajo rendimiento usada como macho (Rojas et al., 2009). Estos tienen menor potencial productivo que los híbridos simples, pero mayor que los híbridos dobles.

El esquema de androesterilidad en los progenitores se refiere a que estos no tienen la capacidad para producir polen lo cual facilita la producción de semilla a

menores costos, porque se evita la práctica de desespigue, esto favorece el mantenimiento de la calidad genética (Espinosa *et al.*, 2015).

Las recomendaciones de siembra son que en las mejores condiciones, como áreas de riego, conviene sembrar híbridos simples porque que estos explotan al máximo las ventajas favorables; en las áreas de muy buena productividad donde inciden precipitaciones favorables, contándose con suelos de buena fertilidad, conviene emplear híbridos trilineales y en las superficies con menor potencial productivo, menor precipitación pluvial y suelos menos fértiles, sería mejor el uso de híbridos dobles (Espinosa *et al.*, 2002).

2.7 Híbrido H-51 AE

Su rendimiento varía entre 3.8 a 12.5 t ha⁻¹, el grano es blanco y dentado adecuado para la industria de la masa y la tortilla, de ciclo intermedio con 150-157 días a madurez fisiológica, con adaptación de 2200 a 2600 msnm, bajo condiciones de riego, punta de riego, humedad residual o buen temporal. Es tolerante al rayado fino y achaparramiento. Tiene un número de registro MAZ-1145-040211 en el CNVV (Virgen *et al.*, 2015; Espinosa *et al.*, 2010 y Espinosa *et al.*, 2012).

2.8 Híbrido H 53 AE

Recomendado para Valles altos y zonas de transición (1800 a 2600 msnm). Su rendimiento es de 8.9 a 9.9 t ha⁻¹, con un rendimiento potencial de 12.7 t ha⁻¹. El grano es blanco y dentado adecuado para la industria de la masa y de la tortilla, es de madurez intermedia. Llega a madurez fisiológica a los 161-164 días. Mecánicamente se puede cosechar a los 175 días. El ámbito de adaptación es bajo condiciones de riego, punta de riego, humedad residual y buen temporal. Es tolerante al rayado fino y achaparramiento. Tiene un número de registro provisional de 3152-MAZ-1657-300615/C en el CNVV. (Espinosa *et al.*, 2010 y Espinosa *et al.*, 2015)

2.9 Híbrido H 47 AE

Híbrido de ciclo intermedio, llega a su madurez fisiológica a los 150-156 días. Se puede cortar a los 172 días con cosechadora mecánica. Tiene un rendimiento comercial de 8.2 a 9.3 t ha⁻¹. Con un rendimiento potencial de 12.3 t ha⁻¹, bajo condiciones de punta de riego, riego, humedad residual o buen temporal. Es tolerante al rayado fino y achaparramiento. Su grano es dentado de color blanco ideal para la industria de la masa y la tortilla, inscrito con número de registro: 3151-MAZ-1656-300615/C ante el CNVV (Espinosa et al., 2010).

2.10 Híbrido H 49 AE

Este híbrido llega a su madurez fisiológica a los 148-155 días. Es tolerante a rayado fino y achaparramiento. Se recomienda para Valles Altos bajo punta de riego, humedad residual y buen temporal. Su rendimiento comercial es de 8.5 a 9.5 t ha⁻¹. Con rendimiento potencial de 12.5 t ha⁻¹. El grano es semidentado y color blanco cremoso, posee características físicas y variables adecuadas para la industria de la masa y la tortilla (Espinosa et al., 2008).

2.11 Híbrido Tsíri Puma

Híbrido de grano blanco y semidentado, con adaptación a Valles Altos; sin embargo, prospera bien desde los 1900 msnm. Es de madurez intermedia, aunque en altitud de 2250 msnm es ligeramente más tardío. Llega a su madurez fisiológica a los 161 días, se puede cosechar mecánicamente a los 175 días. Es resistente al acame de raíz y tallo, y a las enfermedades fungosas de planta y mazorca causadas por *Puccinia* y *Ustilago*. Su rendimiento varía de 9.5 a 12.5 t ha⁻¹, con un rendimiento medio de 8.5 t ha⁻¹. También tiene buena productividad para ensilado por lo que se recomienda para doble propósito. Está registrado en el CNVV como: MAZ-1571-290514 (Tadeo et al., 2016).

2.12 Híbrido H-48

Híbrido de ciclo intermedio, de grano semidentado de color blanco, posee características físicas y variables adecuadas para aprovecharse en la industria de la

masa y la tortilla. Es un genotipo apropiado para cosecha mecánica. Es tolerante al acame; pero no al rayado fino y achaparramiento. Alcanza su madurez fisiológica de los 150 a los 155 días. Su rendimiento comercial es de 9.5 t ha⁻¹, con un rendimiento potencial de 12.1 t ha⁻¹. Se adapta a los Valles Altos bajo temporal favorable, humedad residual, riego o punta de riego. En 1999 fue inscrito en el Catalogo de Variedades Factibles de Certificación, con número de registro: 1105-MAZ-427-140199/C (Espinosa *et al.*, 2003; Espinosa *et al.*, 2004 y Rojas *et al.*, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del lugar

La fase de campo se llevó a cabo en la parcela experimental No. 7 de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, ubicado a 19° 41' de latitud norte y 99° 11' de longitud oeste, a una altitud de 2274msnm; y en el Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX), en Santa Lucía de Prias, Texcoco, ubicado a 19° 27' de latitud norte y 98° 51' de longitud oeste a una altura de 2240 msnm. En esta última localidad se establecieron dos fechas de siembra.

Este experimento se realizó en el ciclo Primavera-Verano, año 2015 bajo condiciones de temporal.

3.2 Material genético

Se utilizaron seis híbridos trilineales, de grano blanco, adaptados a Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm) los cuales son: H-51 AE, H 53 AE, H 47 AE, H 49 AE, Tsíri Puma y H-48, desarrollados por el INIFAP en colaboración con la UNAM; cada uno sembrado bajo tres densidades de población: 50,000; 65,000 y 80,000 plantas por hectárea; estas densidades se eligieron por ser las más comunes utilizadas por los agricultores.

3.3 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, se sometió a los seis genotipos a tres densidades de población con cuatro repeticiones, en total fueron setenta y dos unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en un surco de cinco metros de largo por 0.8 metros de ancho.

3.4 Establecimiento del experimento y manejo agronómico

3.4.1 La siembra se llevó a cabo los días 5 y 26 de junio 2015 se utilizaron sobres con 55 semillas por surco, se sembraron de 2 a 3 plantas por mata cada 25 cm.

3.4.2 El ajuste de población del ensayo experimental se llevó a cabo a los 45 días después de la siembra para que las unidades experimentales quedaran con las densidades de la siguiente manera:

- 80,000 pl/ha 32 plantas por surco.
- 65,000 pl/ha 26 plantas por surco.
- 50,000 pl/ha 20 plantas por surco.

3.4.3 La cosecha se realizó a mano, los días 10 y 14 de diciembre 2015. Cuando el cultivo alcanza la madurez fisiológica, se cosecharon todas las mazorcas dentro de cada unidad experimental y se pesaron; posteriormente se seleccionaron de 8 a 10 mazorcas para la toma de datos en laboratorio de los componentes de rendimiento.

3.5 Variables evaluadas.

3.5.1 Peso de campo (kg). Es el peso del total de las mazorcas cosechadas por unidad experimental.

3.5.2 Floración masculina y femenina (días). En ambas variables se tomó el número de días que tardan las plantas para iniciar sus floraciones a partir de la fecha de siembra. Se considera la aparición del 50% de espigas y 50% de estigmas si estos miden de 2 a 3 cm.

3.5.3 Altura de planta (cm). Se tomó la medida de 5 plantas al azar desde la base de la planta hasta donde la espiga comienza a dividirse. Se obtuvo un promedio.

3.5.4 Altura de mazorca (cm). Las mismas plantas utilizadas para la altura de planta también se usaron para medir de la base hasta el nudo de la mazorca más alta. Se obtuvo un promedio.

3.5.5 Mazorcas buenas. Se contaron el total de las mazorcas sanas.

3.5.6 Mazorcas malas. Se contaron todas las que presentaban más del 50% con daños físicos o con problemas de enfermedades.

3.5.7 Sanidad de mazorca, de planta y cobertura de mazorca. Para cada variable se otorgó una calificación en base a una escala de 1 a 10, en donde 10 representa las mejores características de la mazorca y de la planta respectivamente.

- 3.5.8 Peso volumétrico. Las mazorcas utilizadas para tomar longitud, numero de hileras y granos por hilera se desgranaron y se pesó el grano en una balanza hectolítrica.
- 3.5.9 Peso 200 granos (g). De esos granos se contaron 200 por medio de un contador eléctrico de semillas y se pesaron en una balanza granataria.
- 3.5.10 Longitud de mazorca (cm). Se obtuvo el promedio de la longitud de 5 mazorcas de la base a la punta.
- 3.5.11 Hileras por mazorca. Se contaron las hileras de las mismas 5 mazorcas y se sacó un promedio.
- 3.5.12 Granos por hilera. Se tomó una hilera al azar de cada una de las 5 mazorcas usadas y se contó el número de granos de la base a la punta, se sacó un promedio.
- 3.5.13 Diámetro de mazorca (cm). Se utilizó un vernier digital para tomar el diámetro de las 5 mazorcas y se sacó un promedio.
- 3.5.14 Diámetro de olote (cm). Después de que se desgranaron las mazorcas se midió el diámetro del olote, también utilizando un vernier.
- 3.5.15 Granos por mazorca. Se multiplicaron los promedios del número de hileras por el número de granos por hilera.
- 3.5.16 Porcentaje de materia seca. Se pesaron 250 gramos del grano y se obtuvo el porcentaje de humedad en un determinador de humedad. Al 100% se le resto el porcentaje de humedad.
- 3.5.17 Porcentaje de grano. Se obtiene de la división del peso de las mazorcas sin olote entre el peso de las mazorcas con olote por 100.
- 3.5.18 Rendimiento (kg/ha). Se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento} = ((P. C. * \%MS * \%G) * F. C.) / 8600, \text{ donde:}$$

P. C. = Peso de campo en kilogramos

%MS. = Porcentaje de materia seca de las mazorcas

%G. = Porcentaje de grano.

F.C. = Factor de conversión para obtener el rendimiento por ha, se obtiene al dividir 10000 m²/el tamaño de la parcela útil en m².

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

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable rendimiento en el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas en Ambientes, Genotipos y la interacción Ambiente por Genotipo, no es así en las otras interacciones (Ambiente x Densidad, Genotipo x Densidad, Ambiente x Genotipos x Densidad), como se observa en el cuadro 3.

Para las variables altura de planta, altura de mazorca, floración masculina, floración femenina, peso volumétrico (cuadro 3), peso de 200 granos, diámetro de mazorca, granos por mazorca, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano (cuadro 4) se detectaron diferencias altamente significativas tanto para ambientes como en genotipos; cobertura de mazorca al igual que rendimiento además de presentar diferencias significativas en Ambientes y en Genotipo también se detectaron diferencias significativas en la interacción de estas; la longitud de mazorca solo es significativa en ambientes y las hileras por mazorca solo para genotipos.

Cabe mencionar que para Densidad de población cuya fuente de variación es la que se estudia; y sus interacciones no se detectó significancia estadística en ninguna de las variables.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas en seis híbridos de maíz liberados por el INIFAP y la UNAM, considerando tres diferentes densidades de población y tres ambientes de evaluación, FES-C y CEVAMEX, Primavera-Verano. 2015.

Factor de Variación	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Peso Volumétrico Kg HI
Ambientes (A)	21172913.6 **	130291.8**	23375.0**	2373.4**	3408.2**	20311.6**
Genotipo (G)	27688183.9 **	1981.0**	1564.7**	101.5**	91.0**	24962.7**
Densidad (D)	291784.5	98.1	65.0	0.3	1.3	486.6
A x G	4659638.3 **	88.4	96.0	2.4	4.0	1257.6
A x D	1111545.7	57.0	49.4	1.0	4.4	184.5
G x D	703166.0	218.0	169.3	2.6	3.6	531.0
A x G x D	1112911.0	63.2	32.2	1.6	2.5	700.6
CV	25.1	5.8	9.8	2.1	2.4	2.8
Media	4892.7	222.7	98.7	81.4	83.2	743.1

** Altamente significativo, probabilidad de 0.01. CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas en seis híbridos de maíz liberados por el INIFAP y la UNAM, considerando tres diferentes densidades de población y tres ambientes de evaluación, FES-C y CEVAMEX, Primavera-Verano. 2015.

Factor de Variación	Peso 200 granos (g)	Longitud mazorca (cm)	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Diámetro mazorca (cm)	Granos/mazorca	% Grano
Ambientes (A)	2198.2**	24.2**	4.4	1659.1	0.5**	2290.4**	72.7**
Genotipo (G)	442.6**	3.9	8.0**	1774.9	0.2**	8040.9**	10.4**
Densidad (D)	172.5	1.8	1.1	2060.2	0.0	4383.7	1.1
A x G	65.4	2.0	3.5	1957.1	0.1	3663.9	4.3
A x D	22.9	2.4	2.7	2236.5	0.1	3332.9	1.1
G x D	70.8	2.2	3.2	2144.9	0.0	3302.1	2.6
A x G x D	92.8	1.9	2.7	2172.3	0.1	4122.1	1.7
CV	12.6	9.2	8.7	136.4	4.8	13.0	1.9
Media	54.9	14.3	15.4	33.5	4.4	468.9	85.5

** Altamente significativo, probabilidad de 0.01. CV= Coeficiente de variación

En el cuadro 5 se muestra la comparación de medias por la prueba de Tukey al 5% de significancia; para los diferentes ambientes de prueba, el ambiente que obtuvo el mayor rendimiento entre los genotipos evaluados fue el ambiente de Santa Lucia de Prías, Estado de México (CEVAMEX) en la primer fecha de siembra con un rendimiento medio de 5497 Kg ha⁻¹,

Cuadro 5. Comparación de medias de tres ambientes de prueba para las diferentes variables evaluadas considerando la media de seis híbridos de maíz y tres ambientes de Valles Altos. FES C y CEVAMEX, Ciclo Primavera-Verano. 2015.

Variables	CEVAMEX Ambiente 1	FES-C Ambiente 3	CEVAMEX Ambiente 2	DSH (0.05)
Rendimiento	5497 a	4732 b	4449 b	485.1
Floración masculina (días)	78 b	88 a	78 b	0.7
Floración femenina (días)	79 b	91 a	79 b	0.8
Altura planta (cm)	247 a	174 b	247 a	5.1
Altura mazorca (cm)	109 a	78 b	109 a	3.8
Peso volumétrico	752 a	754 a	724 b	8.2
Cobertura mazorca	8 a	8 b	7 c	0.3
Peso 200 granos	55 b	60 a	49 c	2.7
Longitud mazorca (cm)	15 a	14 b	13 b	0.5
Hileras /mazorca	15 a	15 a	15 a	0.5
Granos/hileras	31 a	30 a	39 a	18.0
Diámetro mazorca (cm)	4 a	4 a	4 b	0.1
Granos por mazorca	472 a	472 a	462 a	24
%Grano	85 b	86 a	84 c	0.6

Nota: Prueba de Tukey 5% de significancia. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

seguido del ambiente de Cuautitlán Izcalli, Estado de México con un rendimiento medio de 4732 Kg ha⁻¹, y por último el ambiente de Santa Lucia de Prías, Estado de México en su segunda fecha de siembra con un rendimiento de 4449 Kg ha⁻¹; aunque estadísticamente no hay diferencia entre estos últimos dos ambientes.

En el cuadro 6 se muestra la comparación de medias, de los seis genotipos evaluados, entre ellos se detectaron diferencias estadísticas, ubicándose en el grupo de mayor rendimiento los híbridos Tsíri Puma, H 49 AE y H 53 AE, el híbrido Tsíri Puma obtuvo el rendimiento más alto con 5856 kg ha⁻¹, seguido del híbrido H 49 AE con un rendimiento de 5572 kg ha⁻¹ y el híbrido H 53 AE con un rendimiento de 5569 Kg ha⁻¹; el híbrido Tsíri Puma fue liberado recientemente por la UNAM e inscrito ante el CNVV del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), por lo que puede incrementarse y distribuirse semilla certificada, lo que representa una opción para los productores de Valles Altos (Tadeo *et al.*, 2016).

Cuadro 6. Comparación de medias entre seis diferentes híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y tres diferentes densidades de población para las diferentes variables evaluadas. FES-C y CEVAMEX. Ciclo primavera verano 2015.

Variables	Tsíri puma	H 49 AE	H 53 AE	H-51 AE	H-48	H 47 AE	DSH (0.05)
Rendimiento (kg/ha-1)	5856 a	5572 a	5569 a	4406 b	4179 b	3773 b	836.6
Floración masculina (días)	78 c	83 a	82 a	82 a	80 b	82 ab	1.2
Floración femenina (días)	80 c	84 a	84 a	83 a	82 b	84 a	1.4
Altura planta (cm)	230 ab	218 cd	212 d	232 a	220 cd	223 bc	8.8
Altura mazorca (cm)	96 bc	92 c	93 bc	110 a	99 b	100 b	6.6
Peso volumétrico (kg HI)	775 a	765 ab	759 b	713 c	723 c	722 c	14.1
Cobertura mazorca	8 a	8 a	8 a	7 bc	8 ab	7 c	0.6
Peso 200 granos (g)	60 a	55 ab	58 a	51 b	51 b	53 b	4.7
Longitud mazorca (cm)	14 a	15 a	14 a	14 a	13 a	14 a	0.9
Hileras /mazorca	15 b	15 b	15 ab	15 a	15 a	15 ab	0.9
Granos/hileras	31 a	31 a	30 a	30 a	30 a	48 a	31.1
Diámetro mazorca (cm)	5 b	4 a	4 a	4 a	4 a	4 a	0.1
Granos por mazorca	455 a	464 a	472 a	488 a	482 a	451 a	41.6
%Grano	86 ab	86 ab	85 ab	84 b	86 a	85 b	1.1

Nota: Prueba de Tukey 5% de significancia. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Cabe mencionar que el híbrido H 49 AE y el híbrido H 53 AE fueron registrados por el INIFAP ante el CNVV y para los dos se obtuvieron los Títulos de Obtentor ante la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV), estos dos materiales junto con el Tsíri Puma tienen en sus progenitores el esquema de

androesterilidad para facilitar la producción de semillas, en estos maíces se reconoce la participación de Profesores investigadores de la FESC UNAM, así como becarios y estudiantes de esa institución (Zamudio *et al.*, 2015; Tadeo *et al.*, 2014).

En el cuadro 6 también se observa que el híbrido Tsíri Puma es el genotipo que presenta los mejores resultados en la mayoría de variables evaluadas con excepción de días a floración masculina y femenina, lo que confirma resultados previos (Tadeo *et al.*, 2016).

En el cuadro 7 se muestra que no hubo diferencias significativas entre las densidades de población, por lo que sólo hubo un grupo de significancia. Los resultados coinciden con los de Cervantes *et al* en 2014. Todas sus variables son estadísticamente iguales, en algunos casos las diferencias fueron sólo numéricas, lo anterior se debe a distintos factores uno de ellos es que las características fenotípicas de los seis materiales son un tanto similares.

Cuadro 7. Comparación de medias entre las densidades de población para las diferentes variables evaluadas en el promedio de seis híbridos de maíz de INIFAP y la UNAM de Valles Altos evaluados en la FES-C y CEVAMEX. Ciclo Primavera -Verano 2015.

Variables	Densidades			DMS
	65, 000 pl ha ⁻¹	50, 000 pl ha ⁻¹	80, 000 pl ha ⁻¹	
Rendimiento	4964 a	4871 a	4843 a	485
Floración masculina (días)	81 a	81 a	81 a	0.7
Floración femenina (días)	83 a	83 a	83 a	0.8
Altura planta (cm)	223 a	221 a	224 a	5.1
Altura mazorca (cm)	98 a	99 a	99 a	3.8
Peso volumétrico	740 a	744 a	745 a	8.2
Cobertura mazorca	8 a	8 a	8 a	0.3
Peso 200 granos	54 a	54 a	56 a	2.7
Longitud mazorca (cm)	14 a	14 a	14 a	0.5
Hileras /mazorca	15 a	15 a	15 a	0.5
Granos/hileras	30 a	40 a	31 a	18.0
Diámetro mazorca (cm)	4 a	4 a	4 a	0.1
Granos por mazorca	460 a	474 a	473 a	24.1
%Grano	85 a	85 a	85 a	0.6

Nota: medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

El número de hileras si permanece estable como lo menciona Ánimas en 1997, aunque las demás variables no disminuyen por efecto de alta densidad.

El incremento de altura de planta es solo de 1 cm por densidad de población, lo cual tampoco concuerda con Cabrales *et al.*, 1992; ni con Parga *et al.*, 1984, para la altura de mazorca, por lo que no se observa dominancia apical en la densidad más alta como también lo dice con Sangoi en el 2001.

La cobertura de mazorca tampoco se ve afectada por las densidades, ni los granos por hilera, ni el porcentaje de grano disminuyen conforme aumenta la densidad como lo menciona Cirilo y Reta *et al.*, en el 2000.

El peso del grano también es estadísticamente igual como lo menciona Reta *et al.*, en el 2000, pues este se mantiene estable en las tres densidades

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los objetivos y las hipótesis planteadas se concluye que la densidad de población no es un factor que influya en el rendimiento de los seis genotipos evaluados, debido probablemente a sus similitudes fenotípicas en altura de planta y mazorca, floración masculina y femenina, así como otras características.

No se identificaron los componentes de rendimiento alterados por las distintas densidades, porque no observan diferencias estadísticas en la prueba de tukey, estas solo se presentan en los genotipos debido a las características de cada uno de ellos y en los ambientes; esto también se debe al manejo agronómico que se llevó a cabo en la fase experimental.

A pesar de los resultados estadísticos se determina que el genotipo con mayor rendimiento bajo condiciones de temporal en las zonas de estudio es el híbrido Tsiri Puma.

Se establece que la densidad de población apropiada para recomendar al agricultor es la de 65,000 plantas por hectárea así se evita que se haga una mayor inversión estableciendo densidades más altas, sin obtener incremento en el grano. Si se utiliza la densidad de 50,000 plantas se desperdiciaría mucho terreno y habría más problemas en cuanto a la población de malezas. En cambio mayor densidad de población incrementa los costos al requerirse mayor cantidad de semillas y más insumos.

El rendimiento no aumenta conforme mayor es la densidad de población, pero los mejores resultados si se obtuvieron en los tres híbridos liberados recientemente Tsiri Puma, H 49 AE y H 53 AE.

La falta de incremento en los rendimientos de grano conforme a las densidades, se atribuye a la falta de dosis adecuadas de fertilización, porque con densidades altas se aumenta la competencia por los nutrientes.

Si un agricultor va a utilizar semillas certificadas, lo recomendable es que lleve a cabo el manejo agronómico que plantea la ficha técnica de estas, como riegos, control de malezas, plagas y enfermedades, dosis de fertilización entre otros para que se obtengan los rendimientos deseados. También es importante que la selección de semillas mejoradas se haga conforme a las características agroclimáticas de las zonas agrícolas, para no desperdiciar el potencial de estas semillas.

VI. LITERATURA CITADA

Animas Vargas, J. L. (1997). *Determinación de densidad de población y dosis de fertilización óptimas para el híbrido de maíz H-30 en los Reyes, Texcoco*. Tesis de Ingeniería Agrícola. Cuautitlán Izcallí, México: UNAM, FES-Cuautitlán.

Cabralles F., J. M.; J. J. Castellanos F.; S. Fernández R.; M. Livera M. y V. González H. (1992). *Efecto de la arquitectura de la planta y la densidad de población en el rendimiento y calidad de rastrojo del maíz*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 15 (2): pp 104-113.

Cirilo A, G. (2000). *Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz*. Recuperado de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210724.pdf>

CONABIO. (2005). *El maíz como base de nuestra cultura*. Comisión Nacional para la Biodiversidad. Recuperado de <http://www.semillasdevida.org.mx/index.php/documentos/maiz/79-sobre-elmaiz/75-el-maiz-como-base-de-nuestra-cultura>

Cervantes O., F.; M. T. Gasca O.; E. Andrio E.; M. Mendoza E.; L. Guevara A.; F. Vazquez M. y S. Rodríguez H. (2014). *Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronomicos y de rendimiento en genotipos de maíz*. Revista de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. México. Vol. 2(1): pp. 6-16. Recuperado de <http://www.uncos.edu.mx/investigacion/2.%20CYTAM-2014-10.%20FABIAN%20VAZQUEZ%20MORENO.pdf>

De la Cruz L., E.; H. Córdova O.; M. A. Estrada B.; J. D. Mendoza P.; A. Gómez V. y N.P. Brito M. (2009). *Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población*. Universidad y ciencia. Vol. 25(1): pp. 93-98. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000100007&lng=es&tlng=en

- De la Rosa L., A.; H. De León C.; F. Rincón S. y G. Martínez Z. (2006). *Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 29 (3): pp. 247-254. Recuperado de: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-3/9a.pdf>
- Espinosa C., A.; M. Sierra M. y N Gómez M. (2002). Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Agronomía Mesoamericana. Vol. 14(1): pp 5.
- Espinosa C., A.; Tadeo R., M.; Lothrop, J.; Azpíroz R., H.S.; Martínez M., R.; Pérez C., J. P.; Tut y C., C.; Bonilla B., J.; María R., A.; Salinas M., Y (2003) *H-48 nuevo híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del Centro de México*. Agricultura Técnica en México. Vol. 29 (1): pp 85-87.
- Espinosa C., A. y M. Tadeo R. (2004). *Selección de variedad de maíz ante la incidencia de carbón de la espiga, en zona de transición y valles altos*. Revista Tonalli Centli. Tiempo del Maíz. Año 1 (1): pp 24-28. Sinergia Rural, S.A de C.V.
- Espinosa C., A.; M. Tadeo R.; R. Martínez M.; G. Srinivasan; D. Beck; J. Lothrop; S. Azpíroz R.; M. A. Ávila P.; J. Gámez V.; J. P. Perez C.; C. Tut C.; J. Bonilla B.; A. María R. y Y. Salinas M. (2004). *H-48 Nuevo híbrido de maíz para los Valles Altos de México*. Folleto Técnico. 16. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.
- Espinosa C., A.; M. Tadeo R.; N. Gómez M.; M. Sierra M.; R. Martinez M.; J. Virgen V.; A. Palafox C.; F. Caballero H.; I. Arteaga E.; E. I. Canales I.; G. Vázquez C. y Y. Salinas M. (2008). *H-49 AE. Híbrido de maíz para Valles Altos con*

androesterilidad para producción de semilla. Memoria Técnica CEVAMEX. Vol 9.: pp 14-15

Espinosa C., A. *et al.* (2009). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. Revista de Ciencias de la UNAM. Vol. 92.: pp 118-125. Recuperado de: <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/41-revistas/revista-ciencias-92-93/209-el-potencial-de-las-variedades-nativas-y-mejoradas-de-maiz.html>

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 Y. Salinas M. (2010). *H-47 AE: Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos*. Memoria Técnica 11. pp 15-16. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.

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 Y. Salinas M (2010). *H-51 AE: Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos*. Memoria Técnica 11. pp 17-18. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.

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. y B. Zamudio G. (2010). *H-53 AE1: Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos y Zona de Transición*. Memoria Técnica 11. pp 17-18. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.

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. 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 35: pp 347-349.

Espinosa C., A.; M. Tadeo R.; J. Virgen V.; B. Zamudio G.; I. Rojas M.; A. Turrent F.; G. Vázquez C.; R. Zepeda B.; N. Gómez M. y M. Sierra M. (2015). *H-53 AE, híbrido de maíz para Valles Altos y Zona de Transición con androesterilidad para producción de semilla*. Desplegable para productores número 63. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.

Espinosa C., A., Tadeo R., M., Zamudio G., B., Virgen V., J., Turrent F., A., Rojas M., I., Gómez M., N., Sierra M., M., López L., C., Palafox C., A., Vázquez C., G., Rodríguez M., F., Canales I., E. I., Zaragoza E., J. A., Martínez Y., B., Valdivia B., R., Lili C., A. L., Mora G., K. Y., Martínez N., B. 2017. H 47 AE híbrido de maíz para Valles Altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana, EN EDICIÓN.

FAO. (2015). *El maíz en los tropicos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: www.fao.org/3/a-x7650s/x7650s02.htm

FIRA. (2015). *Panorama Agroalimentario. Maíz*. Dirección de Investigación Evaluación Económica y Sectorial. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2015.pdf

Gonzalez E., A.; J. Islas G.; A. Espinosa C.; J. A. Vazquez C. y S. Wood. (2008). *Impacto económico del Mejoramiento genetico de maíz en México: Híbrido H-48*. Publicación Técnica No. 25. Serie: Estudios de Evaluación del Impacto Económico de Productos del INIFAP. México, D.F. SAGARPA. INIFAP.

Larqué S., B. S.; J. Islas G.; A. Gonzalez E. y J. L. Jolalpa B. (2013). *Mercado de Semillas de Maíz en el Estado de México*. Folleto Técnico 57. México, D.F.: CEVAMEX-INIFAP.

Luna F., M. y Gutiérrez S., J. R. (1998). *Mejoramiento Genético de Maíz de Temporal en la Región del Centro- Norte de México*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol 21. (2): pp 147-158.

Martínez L. C.; L. E. Mendoza O.; S. G. García S.; M. C. Mendoza C. y A. Martínez G. (2005) Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androestériles y androestériles-isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2): pp 127-133.

Maya L., J. B. y Ramírez D., J. L. (2002). *Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población*. Revista Fitotecnia Mexicana, Vol. 25(4): pp 333-338. Recuperado de: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-4/1a.pdf>

Parga T., V. M. y Gómez G., J. R. (1984). *Respuesta de híbridos de maíz a tres densidades de población en diversas localidades*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 5 (6): pp 51-67.

Producción Mundial de Maíz. (2016). En produccionmundialmaiz.com. Recuperado de <https://www.produccionmundialmaiz.com/>

Reta S., D. G.; A. Gaytán M. y J. S. Carrillo A. (2000). *Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol 23. (1): pp 37-48.

Rojas Martínez I.; J. Virgen V.; A. Espinosa C. y R. Fernández S. (2009). *Tecnología para la producción de semilla certificada de maíz de híbrido H-48 en Tlaxcala*. Folleto Técnico.39. Tlaxcala, México. INIFAP-Fundación Produce.

Sánchez H., M. A.; C. U. Agruilar. M.; N. Valenzuela J.; C. Sánchez H.; M.C. Jimenez R. y C. Villanueva V. (2011). *Densidad de siembra y crecimiento de maíces*

forrajeros. *Agronomía Mesoamericana*. Vol.22 (2): pp 281-295. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v22n2_281.pdf

Sangoi, L. (2001). *Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield*. *Ciencia Rural*, Santa Maria. Vol. 31(1): Recuperado de: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000100027

SIAP. (2017). *Anuario Estadístico de la producción agrícola*. SAGARPA-SIAP. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp

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. y B. Zamudio G. (2010). *Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: pp 273-287.

Tadeo R., M.; A. Espinosa C.; N. Chimal; I. Arteaga E.; V. Trejo P.; E. Canales I.; M. Sierra M.; R. Valdivia B.; N. O. Gómez M.; A. Palafox C. Y B. Zamudio G. (2012). *Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles*. *Terra Latinoamericana* Vol. 30 (2): pp 157-164. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57324446007.pdf>

Tadeo R., M., Espinosa C., A., Trejo P., V., Arteaga E., I., Canales I., E., Turrent F., A., Sierra M., M., Valdivia B., R., Gómez M., N. O., Palafox C., A., Zamudio G., B (2013) Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz 'H-47' y 'H-49'. *Rev. Fitotec. Méx.* Vol. 36 (3): 245–250.

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

Tadeo R., M.; A. Espinosa C.; J. J. García Z.; R. Lobato O.; N. O Gómez M.; M. Sierra M.; R. Valdivia B.; B. Zamudio G.; B. Martínez Y.; C. Lopez L.; K. Y. Mora G.; E. I. Canales I.; A. L. Cárdenas M.; J. Zaragoza E. y H. Alcantar L. (2016). *Tsíri Puma, Híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas*. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 39(3): pp 331-336.

Tadeo R., M.; A. Espinosa C.; A. Turrent F.; B. Zamudio G.; M. Sierra M.; N. Gómez M.; R. Valdivia B. y J. Virgen V. (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): pp 883-891.

Virgen V., J.; A. Espinosa C.; R. Zepeda B.; M. Tadeo R. e I. Rojas M. (2015). *Tecnología para la producción de semilla certificada del híbrido de maíz H-51 AE*. Desplegable para productores Núm. 55. Estado de México. CEVAMEX-INIFAP.

Zamudio G., B.; M. Tadeo R.; A. Espinosa C.; J. N. Martínez R.; D. I. Celis E.; A. Turrent F. y R. Valdivia B. (2015). *Eficiencia fisiológica de N, P, K, y Mg en maíces H-47 y H-59*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 6 (8): pp 1807-1818.