



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de UNAM e INIFAP.

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRICOLA**

**PRESENTA:
SANDOVAL GARCIA JUDITH NATALIA**

ASESOR: DR. JOOB ANASTACIO ZARAGOZA ESPARZA

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEDICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARIA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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



ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
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 y examen profesional

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de UNAM e INIFAP

Que presenta la pasante: Judith Natalia Sandoval García
Con número de cuenta: 414043025 para obtener el Título de: Ingeniera 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 01 de septiembre de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>	
VOCAL	<u>Dr. Joab Anastacio Zaragoza Esparza</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Ana María Martínez García</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Mariha Yolanda Quezada Viaz</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yazmine Mora García</u>	

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

LNCF/med*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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



ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
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 y examen profesional

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de UNAM e INIFAP

Que presenta la pasante: Judith Natalia Sandoval García
Con número de cuenta: 414043028 para obtener el Título de: Ingeniera 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 01 de septiembre de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>	_____
VOCAL	<u>Dr. Joab Anastacio Zaragoza Esparza</u>	<u>Joa Zaragoza</u>
SECRETARIO	<u>M. en C. Ana María Martínez García</u>	_____
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Martha Yolanda Quezada Vizy</u>	_____
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yazmine Mora García</u>	_____

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

LMC/Amc*



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

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

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



ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR RIVERA
Jefa del Departamento de Titulación
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 y examen profesional

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de LINAM e INIFAP

Que presenta la pasante: Judith Natalia Sandoval García
Con número de cuenta: 414043028 para obtener el Título de: Ingeniera 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 01 de septiembre de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>	_____
VOCAL	<u>Dr. Joab Anastacio Zaragoza Esparza</u>	_____
SECRETARIO	<u>M. en C. Ana María Martínez García</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Martha Yolanda Quezada Viny</u>	_____
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yazmine Mora García</u>	_____

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

LWOT/ead*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

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

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

ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR RIVERA
Jefa del Departamento de Titulación
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 y examen profesional

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de LINAM e INIFAP

Que presenta la pasante: Judith Natalia Sandoval Garcia
Con número de cuenta: 414043028 para obtener el Título de: Ingeniera 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 01 de septiembre de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>	_____
VOCAL	<u>Dr. Joab Anastacio Zaragoza Esparza</u>	_____
SECRETARIO	<u>M. en C. Ana María Martínez García</u>	_____
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Martha Yolanda Quezada Vistay</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yazmine Mora García</u>	_____

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

LWCF76d*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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



ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
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 y examen profesional

Rendimiento de grano bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización en híbridos de maíz de UNAM e INIFAP

Que presenta la pasante: Judith Natalia Sandoval Garcia
Con número de cuenta: 414043028 para obtener el Título de: Ingeniera 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 01 de septiembre de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>	_____
VOCAL	<u>Dr. Joab Anastasio Zaragoza Esparza</u>	_____
SECRETARIO	<u>M. en C. Ana María Martínez García</u>	_____
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Martha Yolanda Quezada Viny</u>	_____
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yazmine Mora García</u>	

NOTA: los suplentes deberán estar obligados a presentarse al día y hora del Examen Profesional (art. 127).

UNO/ind*

DEDICATORIA

A mis padres ya que sin su apoyo no hubiera tenido una carrera profesional, porque ellos me enseñaron a no darme por vencida, que a pesar de la distancia siempre estuvieron pendiente de mi. A mi papa por enseñarme el amor a la tierra y a mi mama por inculcarme los valores de la responsabilidad y dedicación.

A mi hermano por enseñarme a nunca rendirme a pesar de las circunstancias. Te quiero mucho hermano.

A cada una de mis familiares que me abrieron la puerta de su casa y permitirme vivir en su hogar, gracias por sus consejos y apoyo, me sirvieron de mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios le agradezco la vida, por guiarme por el buen camino, por cuidarme en esos momentos difíciles y cuidar a mi familia

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme cumplir ese sueño pertenecer a la máxima casa de estudios .

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por brindarme todas las herramientas para afrontar el campo laboral, por ser mi segunda casa y cobijarme por cinco años.

Gracias al financiamiento del PROYECTO PAPIIT: IT201618 – 3, por otorgar recursos económicos para la realización de este trabajo de investigación.

Gracias al Dr. Job Anastasio Zaragoza Esparza por brindarme su tiempo, por estar pendiente de los avances por tanto tiempo. No tengo palabras para agradecerle su incondicional apoyo. Dios lo bendiga siempre.

Gracias a la Dra. Margarita Tadeo Robledo por brindarme la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo.

A los miembros del equipo de trabajo de mejoramiento genético y producción de semillas, por el apoyo incondicional. Gracias por su constancia y disciplina.

Gracias al Ingeniero Israel Arteaga Escamilla por su apoyo en la toma de los datos y por sus consejos.

Gracias a cada uno de los profesores de la carrera porque formaron parte de mi formación profesional.

Gracias a la carrera de Ingeniería Agrícola por permitirme conocer a la agricultura de sur a norte del país, por enseñarme que la carrera es una profesión muy noble.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	v
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Objetivos particulares	3
1.3 Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del maíz	4
2.2 Factores que determinan el crecimiento y producción del cultivo	8
2.3 Edáfico	9
2.4 Fertilización de maíz	9
2.5 Densidad de población	14
2.6 Híbridos Trilineales y Androestériles	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Ubicación y descripción del lugar	18
3.2 Material genético	18
3.2.1 Híbrido Tlaoli PUMA	19
3.2.2 Híbrido Tsíri PUMA	19
3.2.3 Híbrido H 49 AE	19
3.2.4 CS FESC ELITE	19

3.3	Diseño experimental	20
3.4	Análisis estadístico	20
3.5.	Establecimiento y manejo agronómico	20
3.6	Variables evaluadas	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	24
V.	CONCLUSIONES	36
VI.	LITERATURA CITADA	37

INDICE DE CUADROS

	Paginas
Cuadro 1. Características de los híbridos utilizados en la investigación	19
Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – Verano 2018.	24
Cuadro 3. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – Verano 2018.	26
Cuadro 4. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – Verano 2018.	28
Cuadro 5. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – Verano 2018.	29
Cuadro 6. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – Verano 2018.	30
Cuadro 7. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos con dos densidades de plantación en dos ambientes diferentes del Valle de México. Ciclo primavera – Verano2018.	31
Cuadro 8. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos con dos densidades de plantación en dos ambientes diferentes del Valle de México. Ciclo primavera – Verano2018.	32

- Cuadro 9. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización. Ciclo primavera – Verano 2018. 33
- Cuadro 10. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización. Ciclo primavera – Verano 2018. 34

RESUMEN

El rendimiento de maíz grano en el Estado de México por unidad de superficie podría elevarse si se emplean más variedades mejoradas que tengan alto potencial de rendimiento (Virgen *et al.*, 2016). Asimismo, el uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización puede incrementar la producción (Virgen-Vargas *et al.*, 2010; Tadeo- Robledo *et al.*, 2012).

En este trabajo se tuvo como objetivo determinar el híbrido o híbridos que presenten mayor rendimiento de grano para los Valles Altos de México, así como establecer la dosis de fertilización y la densidad de siembra óptimas para los híbridos de maíz utilizados.

El trabajo se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, y en Huexotla, Texcoco. Se establecieron dos fechas de siembra en Huexotla y una fecha de siembra en la FES Cuautitlán UNAM. Se utilizaron tres híbridos trilineales TLAOLI PUMA, TSÍRI PUMA, H-49 y una cruza simple élite, CS ELITE cada uno se sembró bajo dos densidades de población, 65 000 y 80 000 plantas ha⁻¹, con tres dosis de fertilización 160-80-00, 120-40-00, 00-00-00. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, con un arreglo factorial, correspondiente a cuatro genotipos, dos densidades de población y tres dosis de fertilización; con tres repeticiones, para constituir 72 unidades experimentales.

El híbrido con mayor alto rendimiento de grano fue la CS ÉLITE con 14.5 t ha⁻¹, presentó la mayor altura de planta, longitud de mazorca y mayor peso volumétrico con respecto a los otros materiales evaluados. En segundo lugar lo obtuvo TSÍRI PUMA con 13 t ha⁻¹. El ambiente que obtuvo el rendimiento en grano más alto fue FESC-UNAM con 13.2 t ha⁻¹.

En densidades de población se tuvieron diferencias únicamente para granos por mazorca y diámetro por mazorca y fueron mayores en 65 000 plantas ha⁻¹, lo que nos indica que no es necesario utilizar densidades de población más altas en la región de estudio.

La dosis de fertilización más adecuada 160-80-00, registro altos rendimientos de grano ha⁻¹, superiores en 1 tonelada ha⁻¹ con respecto a las otras dosis evaluadas.

I. INTRODUCCION

En México, el cultivo de maíz es el más importante, por ser base de la alimentación de los mexicanos. En 2018 fueron sembradas y cosechadas 7.4 y 7.2 millones de ha, respectivamente, con una producción total de 27.2 millones de toneladas, un valor de la producción de 104.8 millones de pesos, un precio medio rural de \$3,859.60 y un rendimiento promedio de 3.8 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2019) ,aunado al uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización puede incrementar la producción (Virgen-Vargas *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012).

Particularmente en el Estado de México se produce grano de maíz en una superficie de 530 mil hectáreas, de las cuales 84% se cultivan en condiciones de temporal y el resto mediante riego. La producción estatal es de 2.3 millones de toneladas con rendimiento promedio de 4.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). El rendimiento en el Estado de México, debido a la baja producción por unidad de superficie, podría elevarse si se emplean más variedades mejoradas, con potencial de rendimiento alto (Virgen *et al.*, 2016), aunado al uso de prácticas y técnicas eficientes de cultivo; entre éstas últimas se reconoce que una adecuada fertilización puede incrementar la producción (Virgen *et al.*, 2010; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012).

El manejo de la fertilización nitrogenada y la variación de la densidad de siembra afectan el rendimiento del cultivo, lo que repercute en los indicadores económicos del productor y alteraciones ambientales dado que se aplican fertilizantes nitrogenados inorgánicos al suelo. En cultivos como el maíz, el cual es sensible a la fertilización nitrogenada y a la variación en la densidad de siembra, identificar niveles óptimos de insumos aplicados, implica maximizar la rentabilidad del productor y reducir el impacto ambiental originado por la pérdida provocada por la aplicación en excesos (Kablan *et al.*, 2017).

La búsqueda de densidades óptimas económicas es deseable para optimizar insumos y para disminuir los costos de producción en el cultivo de maíz, pero en la región mexiquense son escasos este tipo de trabajos (Reynoso *et al.*, 2014, Rodríguez *et al.*, 2015). Actualmente en el centro del estado de México, la densidad comercial para maíces criollos e híbridos destinados a la producción de grano varía de 50 000 a 75 000 plantas ha⁻¹ (Quiroz, 2017)

Es necesario evaluar las variedades, en diferentes localidades, porque pueden presentar respuestas diferenciadas frente a las condiciones ambientales distintas, lo que caracteriza la interacción entre genotipos x ambientes.

En los Valles Altos de México desde hace más de 30 años la UNAM e INIFAP han trabajado en la generación de nuevos híbridos, que constituyan una alternativa para los productores. Debido a lo anterior, en la presente investigación se determinarán los mejores híbridos, dosis de fertilización y densidad de siembra para la región de Valles Altos de México.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el híbrido o híbridos que presenten mayor rendimiento de grano para los Valles Altos de México.

1.2. OBJETIVO PARTICULAR

Establecer la dosis de fertilización y la densidad de siembra óptimas para los híbridos de maíz utilizados.

Conocer los componentes que determinan el rendimiento de los diferentes híbridos.

1.3. HIPOTESIS

A mayores densidades de siembra y dosis de fertilización se obtendrá un mayor rendimiento.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo de maíz

Dada la insuficiencia en producción de maíz, que se traduce en la importación de hasta 15 millones de toneladas de grano, es importante elevar la productividad en este cultivo, utilizando más y mejores variedades. En México, el cultivo de maíz es el más importante, por ser base de la alimentación de los mexicanos, se siembran alrededor de 8.5 millones de ha. Sin embargo, a nivel nacional solo se producen 22 millones de toneladas de grano de maíz, lo que implica la importación de 10 a 12 millones de toneladas de grano amarillo, ya que el consumo total aparente de maíz es de 32 a 34 millones de toneladas (Martínez *et al.*, 2018). El rendimiento promedio del cultivo es de 2.8 t ha⁻¹ (Turrent, 2009). Las importaciones durante el año 2018 se estima que llegarán a 15 millones de toneladas, ubicando a México como el importador de este grano número uno a nivel mundial, desplazando a Japón (Espinosa *et al.*, 2018). Por ello, es urgente aprovechar las variedades mejoradas disponibles que generan las instituciones públicas de investigación.

Una de las razones de la baja producción de maíz está asociada con la distribución irregular de lluvias, heladas tempranas, granizadas, profundidad del suelo, textura de la capa arable, pendiente y baja fertilidad de los suelos, alto grado de erosión, además de variedades de bajo rendimiento, tardías y susceptibles al acame (María *et al.*, 2003). Por lo tanto, se requieren genotipos que mantengan una respuesta estable en diferentes ambientes y años, además de un alto rendimiento, lo cual es factible en función del potencial genético del híbrido (Arellano *et al.*, 2011).

El incremento en rendimiento está supeditado 60% al potencial genético del híbrido y 40% a las prácticas de manejo de cultivo (Espinosa *et al.*, 2008a; Arellano *et al.*, 2011). En los últimos años, se realizan trabajos constantes en el programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para

aumentar el rendimiento de grano de maíz con la liberación de nuevas variedades mejoradas (Espinosa *et al.*, 2008b; Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2012; Tadeo *et al.*, 2016; Espinosa *et al.*, 2018), en paralelo se efectúan investigaciones sobre adopción de las mejores prácticas de la fertilización química y foliar y manejo en el cultivo de maíz en Valles Altos (Zamudio *et al.*, 2015).

2.1.1 Origen del maíz

Aunque el período exacto de domesticación y los ancestros de los cuales surgió el maíz no son concluyentes. Se cree que hacia el año 3000 A.C. la domesticación de la planta en el Centro-sur de México era total y que la introducción del maíz al noroeste de México y el suroeste de E.U. puede atribuirse a la dispersión de grupos hablantes yuto-azteca que ocurrió durante los primeros siglos inmediatamente después del período Altitermal (Holoceno Medio), aproximadamente 1500 años después de su domesticación inicial (Carpenter *et al.*, 2005).

2.1.2 Descripción botánica

Reyes (1990) presenta la siguiente descripción botánica del maíz:

Reino: Plantae

Division: Tracheophyta

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledónea

Orden: Graminales

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays L.*

La planta del maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual.

Tallo

El tallo es simple, erecto, de elevada longitud, llega a medir hasta cuatro metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. No presenta entrenudos y una médula esponjosa si se realiza un corte transversal (Doebley, 1980).

Hojas

Las hojas son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

Inflorescencia

El maíz presenta una planta monoica con inflorescencia masculina y femenina, la inflorescencia masculina presenta una panícula (denominada espigón o penacho), posee una elevada cantidad de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla de la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen.

Raíz

La raíz es fasciculada y tiene la función de anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias (Doebley, 1980).

2.1.3 Mejoramiento genético en maíz

México es el centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays L.*), al menos 59 razas se han clasificado por sus características morfológicas e isoenzimáticas. Esta diversidad es resultado de una práctica ancestral de mejoramiento genético de los pueblos Mesoamericanos (Donnet *et al.*, 2012).

El mejoramiento genético del maíz es una actividad que en México probablemente se remonta a más de 10 mil años (Miranda-Colín, 2000).

Tollenaar y Lee (2011) consideran que el incremento en la productividad de maíz en Estados Unidos de América fue de 1.5 a 9.5 t ha⁻¹ desde 1930 hasta 2008. Esto se atribuye principalmente a las mejoras que se lograron con las técnicas de fitomejoramiento y las prácticas agronómicas, la liberación de híbridos con mayor tolerancia al estrés, el incremento de la densidad de población, mayor uso de fertilizantes inorgánicos, mejores prácticas para el control de malezas y fechas de siembra más tempranas han sido los principales factores que han causado una mayor ganancia genética.

Teniendo en consideración lo antes mencionado, se sugieren la réplica de este tipo de estudios en tiempo y espacio, debido a que la heterogeneidad ambiental que afecta los ensayos de rendimiento es uno de los factores no tecnológicos que también originan variabilidad fenotípica importante en los maíces de los Valles Altos del Centro de México (Quiroz, 2017).

2.2. Factores que influyen en el rendimiento de los cultivos

Los factores que influyen en el rendimiento de cualquier cultivo son numerosos, entre ellos hay una dependencia mutua y al cambiar tan solo uno de ellos, los otros responden positiva o negativamente. Algunos de estos factores son dados por la naturaleza, por lo que la mano del hombre solo puede, en algunos casos, aminorar sus efectos en las plantas. La fertilización química, el cuidado del suelo, el uso de abonos, son algunas de las labores que las que el factor humano tener incide y esto puede verse reflejado en el rendimiento de los cultivos.

El crecimiento y rendimiento de las plantas están estrechamente relacionados con los factores ambientales y el manejo del cultivo, la cantidad, calidad y duración de la luz y de la temperatura, así como la fecha y densidad de siembra, la humedad del suelo y la fertilización química, en particular el nitrógeno, afectan la concentración de clorofila, la formación de biomasa y el rendimiento. La clorofila es el pigmento fotosintético primario de las plantas que junto con el nitrógeno foliar varían con la radiación solar (Lohry y Schepers, 1988).

La baja producción de maíz en Valles Altos del Estado de México, está relacionada con la ocurrencia de siniestros del clima extremo, como sequía, en diferentes etapas de la estación de crecimiento, retraso de las precipitaciones para la siembra, exceso de humedad, granizo y heladas tanto al inicio del ciclo de crecimiento vegetativo o previo a la madurez fisiológica de la mazorca; así como limitantes del suelo como un bajo contenido de materia orgánica, acidez extrema, compactación, costras superficiales y pobre actividad de microorganismos.

El conjunto de las condiciones anteriores; se suman a siembras irregulares con semillas de variedades con bajo potencial de rendimiento y un control ineficaz de plagas y malezas, entre otras malas prácticas agrícolas (Zamudio *et al.*, 2012).

2.2.1. Factor Edáfico

Algunos investigadores apuntan que el suelo no debe concebirse como un sustrato que puede mejorarse al añadirle fertilizantes, sino como un recurso viviente y auto renovador. El suelo es la capa que cubre la superficie de la tierra. Para lograr que sea un suelo de calidad, requiere estar en condiciones óptimas en términos físicos, químicos, biológicos e hidrológicos. El suelo da soporte a las plantas en forma de una capa permeable para las raíces y es una especie de depósito para los nutrientes y el agua. Dependiendo de su composición, los suelos tienen diferente capacidad para proveer nutrientes a los cultivos. (Larque *et al.*, 2017).

2.2.2. Fertilización

Se dice que un suelo tiene buena salud cuando cuenta con materia orgánica, con diversos organismos y productos microbianos. Las definiciones más recientes apuntan que un suelo tiene buena calidad cuando cumple con múltiples funciones como sostenimiento de la productividad de plantas y animales, manutención y mejora de la calidad del aire y del agua; además de un manejo agronómico adecuado. Los suelos tienen propiedades físicas, químicas y biológicas, que tienen que ver con su calidad. (Larque *et al.*, 2017).

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo, son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas; así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil (Bautista *et al.*, 2004).

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones que afectan las relaciones suelo – planta. Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica que define la fertilidad del suelo; la estabilidad y erosión

(Bautista *et al.*, 2004).

Un suelo ácido es pobre en calcio, magnesio, potasio. Los microorganismos se reducen al igual que el fósforo disponible. Un suelo básico o alcalino dependiendo del nivel, puede disminuir la absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes (Espinoza *et al.*, s.a). Un pH neutro es un suelo adecuado para la mejor absorción de nutrientes y desarrollo de las plantas, sin embargo, cada cultivo requiere un pH determinado. Para el maíz el pH apropiado puede ser de 6.5 (Espinoza *et al.* (s.a)).

Una de las mediciones que integra la calidad total del suelo es el contenido de materia orgánica y de la cual provienen, los nutrientes que mayormente consume la planta. Una herramienta generalizada de diagnóstico de materia orgánica es el color del suelo. Aquéllos que tienden a ser oscuros cuando están relativamente húmedos, se pueden presuponer como de buen contenido de materia orgánica, mientras que los claros son típicamente más pobres (Larque *et al.*, 2017).

Otros indicadores de la calidad del suelo que generalmente pasan desapercibidos son los biológicos. Éstos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como: la abundancia de micro y macro organismos, incluidas bacterias, hongos, diferentes tipos de gusanos (nematodos, anélidos), lombrices, insectos, arácnidos, etc. En conjunto cumplen con funciones como la respiración, dotar de ergosterol que funciona como un anti fúngico y ayudan a la descomposición de los residuos vegetales, del nitrógeno y carbono (Larque *et al.*, 2017).

En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua y nitrógeno, ya que estos son los insumos más importantes para la producción, por lo que deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, momento que llega a determinar el rendimiento. La eficiencia en el uso del agua se incrementa con la aplicación de nitrógeno (Andrade *et al.*, 2002).

Una adecuada fertilización en cantidad, lugar y momento puede impactar en una mayor producción de forraje, influir en un mayor “cuateo” de mazorcas, más hileras y granos en la mazorca y mayor peso del grano. Se destacan las relaciones de la formación de los componentes del rendimiento de maíz durante las etapas de desarrollo vegetativo (Vi) y reproductivo (Ri). Si un agricultor desconoce cuánto nitrógeno tiene su suelo de cultivo y pretende cosechar 10 toneladas de grano por hectárea; requerirá abonar con 22 kg de nitrógeno por tonelada de grano; esto es igual a 220 kg de nitrógeno por hectárea (Griffith y Murphy, 1991; IPNI, 2009).

La fertilización nitrogenada es uno de los factores de mayor impacto en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de cereales, debido a que es considerado un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal. La disponibilidad de **nitrógeno (N)** para la planta es indispensable por ser un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal. El N en las plantas estimula el crecimiento de las raíces, permitiendo que el cultivo aproveche la humedad del subsuelo y a su vez el crecimiento del dosel vegetal (Morales y Escalante, 2007).

Además, el N es un elemento indispensable para la fotosíntesis; para que las plantas fijen el carbono; para la acumulación de materia orgánica y la producción de rendimientos económicamente atractivos (Ballesteros, 2015).

La eficiencia en la utilización del N aplicado es usualmente menor al 50 % en rendimiento potencial óptimo. Pérdidas potenciales de nitrógeno incluyen el absorbido por el cultivo, por escorrentía (arrastre por lluvia), el lixiviado, des nitrificación, volatilización e inmovilización. La pérdida por escorrentía del N aplicado puede variar de acuerdo a la intensidad de la lluvia, cultivo de cobertura, contenido de humedad del suelo, textura y propiedades físicas del suelo.

El maíz obtiene el N de varias fuentes, tales como la mineralización de la materia orgánica del suelo, el N residual en la zona radical del cultivo, la inclusión de leguminosas previamente al establecimiento del maíz, la aplicación de materia orgánica al suelo, fertilizantes inorgánicos, del agua de lluvia e irrigación (Maddux y Halvorson, 2008). La incorporación de N en el suelo es muy importante, debido a que la mayoría de los suelos agrícolas presentan niveles bajos de este nutrimento (por ejemplo, 3.46 ppm, en Montecillo, Estado de México (Cruz *et al.*, 2002).

En híbridos de maíz, con las dosis 67 y 145 kg N ha⁻¹ se obtuvieron rendimientos promedio de 7.4 y 10.6 t ha⁻¹ en comparación con 252 y 202 kg N ha⁻¹ que rindieron 36 y 9% más, respectivamente (Haegele *et al.*, 2013; Kovács *et al.*, 2014). Sin embargo, el uso excesivo de N está causando problemas severos al ambiente por la contaminación del aire, suelo y agua (Nazir *et al.*, 2016; Bouwman *et al.*, 2017).

En un experimento realizado con 10 genotipos de maíz con la dosis de 150 kg ha⁻¹ de N, la fertilización con 300 kg ha⁻¹ se incrementaron los porcentajes de pericarpio, germen y hubo pérdida de sólidos en 6.2, 5.0 y 2.4%, respectivamente; pero disminuyó el índice de flotación, el pericarpio retenido y el color del grano (reflectancia) en 10.0, 9.4 y 2.2% (Zepeda *et al.*, 2007).

Entre dosis de N, la mayor producción de materia seca se obtuvo con 100 kg ha⁻¹ de N, con (237 g/planta); El rendimiento medio de grano obtenido con la aplicación de 200 y 100 kg ha⁻¹ de N en los maíces de alta calidad proteínica fue de 10.2 y 8.8 t ha⁻¹ respectivamente, a diferencia de 11.8 y 10.9 t ha⁻¹ obtenidos con V₁ (maíz blanco normal) con las mismas dosis (Mendoza, 2006).

Chura *et al.* (2019) tuvieron mayor rendimiento en grano (10,939 t ha⁻¹) con 200 kg ha⁻¹ de N, fraccionado en los estadios V3 (50%) y V7 (50%) en maíz.

El fósforo es uno de los tres principales nutrientes comúnmente aplicados como fertilizantes

para la producción de cultivos. Es necesario para muchos procesos químicos y fisiológicos de las plantas. Desempeña un papel primordial en la transferencia de energía, en la fotosíntesis y respiración y es un componente estructural de muchas partes de la planta. La semilla de maíz contiene, en promedio la cantidad de fósforo necesario para los primeros siete días de crecimiento de la planta, después de este tiempo puede absorber el nitrógeno del suelo a través de su sistema radical (Janssen, 2008).

El fósforo en el suelo está presente de manera natural en grandes cantidades, la mayoría en formas mineral y orgánica que no son disponibles directamente para las plantas. Las plantas pueden absorber el fósforo de la fase líquida del suelo como anión ortofosfato (H_2PO_4^-) y en menores cantidades como ión fosfato (HPO_4^{2-}) (Janssen, 2008).

Debido a que el fósforo tiene baja movilidad en el suelo, la lixiviación, comúnmente, no es un problema, pero es muy importante que al momento de fertilizar se aplique cerca del sistema radical de la planta. Por lo que se recomienda la aplicación del fertilizante en bandas.

El efecto más acentuado de la falta de fósforo es la reducción en el crecimiento de la hoja, así como en el número de hojas. El crecimiento de la parte superior es más afectado que el crecimiento de la raíz. Sin embargo, el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de fósforo, produciendo menor masa radical para explorar el suelo por agua y nutrientes. Generalmente, el fósforo inadecuado deprime los procesos de utilización de carbohidratos, aun cuando continua la producción de estos compuestos por medio de la fotosíntesis. Esto resulta en una acumulación de carbohidratos y el desarrollo de un color verde oscuro en las hojas. En algunos cultivos, las hojas deficientes en fósforo desarrollan un color púrpura, ejemplos son el tomate y el maíz (Janssen, 2008).

Debido a que el fósforo es fácilmente movilizadado en la planta, cuando ocurren las

deficiencias de este nutriente se transloca de los tejidos viejos a tejidos meristemáticos activos y por esta razón los síntomas aparecen en las hojas viejas (parte baja) de la planta. Sin embargo, estos síntomas de deficiencia rara vez se observan en el campo y la deficiencia de fósforo generalmente se evidencia por una pérdida apreciable de rendimiento (Janssen, 2008).

Las variedades eficientes para el uso de fósforo poseen raíces axilares (nodales) más superficiales y ramificadas que les permiten absorber el fósforo presente en la parte superficial del suelo y tener mayor crecimiento durante la etapa vegetativa (Bayuelo *et al.*, 2011). La eficiencia de utilización del fósforo también se manifiesta en una mejor distribución de materia seca y fósforo en la planta (Bayuelo-Jiménez y Ochoa-Cadavid, 2014). Manschadi *et al.* (2014) indicaron que la eficiencia de utilización del fósforo es una característica regulada por factores genéticos, fisiológicos y ambientales.

En una investigación realizada en Kansas se aplicó una combinación de fertilización de N-P-S se obtuvieron 0.75 ton ha⁻¹ de grano más que en aquellos híbridos que no recibieron fertilización inicial, se redujo el número de unidades térmicas necesarias de emergencia a madurez, hubo un decremento en el contenido del grano en la cosecha e incremento la absorción total de fósforo (Gordon, 2006).

2.2.3. Densidad de población

La densidad de población se define como el número de plantas por unidad de área de terreno, es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. Es otro factor que afecta la producción de los cultivos, ya que es la herramienta más efectiva para mejorar, principalmente, la captura de luz y el aprovechamiento de agua y nutrientes (Sangoi, 2000). El uso de una densidad óptima en maíz, permite maximizar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, durante el

periodo crítico, para la definición del rendimiento, posibilitando alcanzar mayores índices de cosecha.

Este factor frecuentemente es modificado por el productor para incrementar el rendimiento de grano, pero no siempre establece la densidad adecuada. Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en: el volumen del sistema radical, el número de mazorcas, cantidad y la calidad del grano por planta e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, lo que propicia acame (Maya y Ramírez, 2002). Por el contrario, las densidades de población bajas provocan problemas con maleza o desperdicio de suelo (Njoka *et al.* 2005).

Las plantas responden a las altas densidades de siembra de varias formas, por ejemplo, aumento de la altura, longitud de los entrenudos, reducción del número de ramas, nudos, hojas, flores y frutos (Willey, 1994). En el cultivo de maíz, la densidad de población ejerce alta influencia sobre el rendimiento de grano y las características agronómicas, pues el rendimiento de grano se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto (Sangoi, 2000).

Disminuir la distancia entre surcos o aumentar la densidad de plantas permiten aumentar el rendimiento de forraje verde o grano de maíz (Barbieri *et al.*, 2000; Cox y Cherney, 2001; Pedersen y Lauer, 2003). Sin embargo, el rendimiento no se incrementa con estas estrategias (Cox y Cherney, 2001; Pedersen y Lauer, 2003).

También se incrementa el rendimiento de grano al ampliar el efecto de borde y así disminuye la competencia por luz (Reta *et al.*, 2003).

Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron los efectos que causaron cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, en el Estado

de México y observaron que hubo un incremento de 1.06 t ha⁻¹ cuando se varió de 52 083 a 104 167 plantas ha⁻¹. La respuesta al incremento en la densidad de población depende del tipo de cultivar, de los sitios de evaluación y de su interacción, entre otros (Sangoi, 2002; Tollenaar y Lee, 2011).

Se han registrado incrementos de rendimiento con altas densidades de población en maíz, como lo obtenido por Espinosa *et al.*, (2012), quienes definieron la productividad de tres cruza simples, progenitores de híbridos trilineales, en su versión androestéril y fértil, con una densidad de 85,000 plantas ha⁻¹, obtuvieron mayor rendimiento de grano (10.2 ton ha⁻¹) en las cruza simples, con respecto a densidades inferiores; 70, 000 (8.5 ton ha⁻¹) y 55 000 plantas ha⁻¹ (9.0 ton ha⁻¹). Jugenheimer (1990) obtuvo mayor rendimiento de grano con una densidad de población de 70, 000 y 80, 000 plantas ha⁻¹. Chura *et al.* (2019) obtuvieron mayor rendimiento de grano (10.9 t ha⁻¹) utilizando 69 444 plantas ha⁻¹. En un estudio realizado en la región tropical de México el incremento en la densidad de 44 289 a 66 500 plantas ha⁻¹ aumentó el rendimiento de grano de 3.3 a 4.3 t ha⁻¹, respectivamente (De La Cruz-Lázaro, 2009).

Mendoza *et al.* (2006) encontraron en el cultivo del maíz, en densidades de 70 000 y 80 000 plantas ha⁻¹, mayor concentración de clorofila a los 90 días, con registros de 65 y 63 unidades Spad, respectivamente. La variedad V₂ QPM con 80 000 plantas ha⁻¹ produjo la mayor cantidad de biomasa (251.2 g planta⁻¹).

La altura de mazorca fue mayor con el incremento de 60 a 75 mil plantas ha⁻¹ y se mantuvo con el incremento a 90 mil plantas ha⁻¹. Lo anterior pudo ser consecuencia de la competencia y menor disponibilidad de nutrientes (Cervantes, 2013).

Para el sistema de producción maíz de alta calidad proteica Mendoza *et al.* (2006) obtuvieron una mayor cantidad de biomasa y mayor rendimiento en grano con densidades entre 73 000 y 80 000 plantas ha⁻¹, aunque el mayor contenido de proteína, lisina y triptófano lo alcanzaron

con bajas densidades de población (Mendoza *et al.*, 2006).

En el híbrido H-149C cuando se estableció a una baja densidad de siembra (67 000 plantas ha⁻¹) favoreció el desarrollo de granos más duros, más grandes, con mayor peso hectolítrico y mayor contenido de proteína, aceite y azúcares solubles totales, pero menos almidón que a mayor densidad (80 000 plantas ha⁻¹) (Vázquez *et al.*, 2012).

2.3. Híbridos Trilineales y Androestériles

Los híbridos trilineales son la primera generación resultante del cruzamiento de un híbrido de cruce simple con una línea autofecundada, favorecen la producción de semilla, se requieren menor número de lotes progenitores para obtener semilla certificada.

La androesterilidad (AE) es la inhabilidad que tienen las plantas para producir anteras, polen o granos de polen funcionales; este esquema se utiliza en la producción de semilla híbrida de maíz para incrementar el rendimiento y la calidad genética de la semilla (Martínez *et al.*, 2005). Desde 1992 se realizan trabajos para incorporar el carácter de androesterilidad a las líneas básicas de la UNAM, así como definir las líneas con capacidad restauradora. En los años 1995 a 1997 se evaluaron combinaciones de líneas con progenitores androestériles para tratar de detectar genotipos con capacidad restauradora (Tadeo *et al.*, 2003).

El uso de la AE y la capacidad restauradora de la fertilidad masculina en la producción de semilla híbrida de maíz, limita los problemas que ocurren en la eliminación de la panoja en progenitores hembra, reduciendo las dificultades en esta etapa facilitando el control de la calidad e identidad genética de los híbridos producidos además de una reducción en los costos de producción por labor de despanojado de 25 hasta 50 jornales por hectárea (Tadeo *et al.*, 2003)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y descripción del sitio experimental

La investigación se realizó en el ciclo primavera-verano 2018, en dos ambientes. El primero se ubicó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; en Cuautitlán Izcalli, Estado de México a una altitud de 2252 msnm con coordenadas geográficas 19° 41 LN y 99° 11 de LO. De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (2004), el clima se clasifica como templado, el más seco de los subhúmedos, con un régimen de lluvias en verano e invierno seco, con un suelo vertisol.

La segunda localidad se estableció en Huexotla, Texcoco, ubicada a 19° 27 de LN y 98° 51 de LO a una altura de 2240 msnm, con un clima en transición entre el clima seco y templado de acuerdo a García (1998).

3.2. Material genético

Se utilizaron tres híbridos trilineales: Tlaoli Puma, Tsíri Puma, H- 49AE y una cruza simple élite (CSE) experimental (Cuadro 1), cada uno sembrado bajo dos densidades de población: 65 000 y 80 000 plantas por ha con tres dosis de fertilización 160-80-00, 120-40-00, 00-00-00.

Cuadro 1. Características de los híbridos utilizados en la investigación

	Tlaoli Puma	Tsíri Puma	H-49 AE	CSE
Tipo de híbrido	Trilineal de grano blanco y sedimentado	Trilineal de grano blanco y textura sedimentado	Híbrido trilineal para Valles Altos con esquema de androesterilidad	Es una cruza simple elite experimental desarrollada en la FESC-UNAM.
Altitud	2000-2600 msnm	2200-2600 msnm	2200-2600 msnm	
Estados	Estado de México, Puebla, Hidalgo y Michoacán	Estado de México	Estado de México y Tlaxcala	
Ciclo y madurez fisiológica	Querétaro.			
Floración masculina y femenina	Intermedio de 166 a 169 días 87 y 89 días	Intermedio de 161 días 84 y 86 días	Intermedio de 165 días	
Rendimiento	11.7 t ha ⁻¹ con variación de 8.7 a 13.5 t ha ⁻¹ (Tadeo <i>et al.</i> , 2016).	De 9.5 a 12.5 t ha ⁻¹ con un rendimiento medio de 8.5 t ha ⁻¹ (Tadeo <i>et al.</i> , 2016).	4.5 y 12.5 t ha ⁻¹	

3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, con un arreglo factorial, correspondiente a cuatro genotipos, dos densidades de población y tres dosis de fertilización; con tres repeticiones, para constituir de 72 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió de un surco de cinco metros de largo por 0.8 .

3.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectuó en forma factorial en donde se consideraron los factores de variación ambientes, genotipos, densidades de población y, dosis de fertilización. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (2001).

3.5. Establecimiento del experimento y manejo agronómico

En ambas localidades se preparó el terreno de forma convencional, la cual incluyó aradura, dos pasos de rastra y trazo de surcos. Previamente a la siembra se fertilizó con la dosis correspondiente para cada tratamiento.

La siembra se llevó a cabo el día 7 de junio del 2018 en FES Cuautitlán, a tapa pie depositando tres semillas por mata cada 25 centímetros de forma manual para todos los tratamientos. En la segunda localidad la siembra se realizó el 13 de junio.

El ajuste de población del ensayo experimental se llevó a cabo a los 30 días después de la siembra, para que las unidades experimentales quedaran con las densidades de la siguiente manera: 28 plantas por un surco de cinco metros de largo para una densidad de 65 000 plantas ha⁻¹ y 32 plantas por surco para densidad de 80 000 plantas ha⁻¹.

La cosecha se realizó de forma manual el 7 y 13 de diciembre de 2018 en la FES-Cuautitlán-UNAM y en Huexotla, Texcoco (Huexotla-T), respectivamente.

3.6. Variables evaluadas

Se seleccionaron ocho mazorcas para evaluar sus características físicas en laboratorio y para determinar los componentes de rendimiento. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

3.6.1. Peso en campo (kg). Después de cosechar todas las plantas, se registró el peso de las mazorcas con olote.

3.6.2. Floración masculina y femenina (días). En ambas variables se tomó el número de días en los que comenzó la antesis y la emergencia de estigmas, respectivamente.

3.6.3. Altura de planta (cm). Se tomó la medida de cinco plantas al azar desde la base de la planta hasta la base de la espiga.

3.6.4. Altura de mazorca (cm). Las mismas plantas utilizadas para la altura de planta también se usaron para medir desde la base hasta el nudo de la mazorca más alta.

3.6.5. Longitud de mazorca (cm). Se obtuvo la longitud promedio de cinco mazorcas de la base a la punta.

3.6.6. Diámetro de mazorca (cm). Se utilizó un vernier digital para tomar el diámetro de las mazorcas, se obtuvo el promedio.

3.6.7. Diámetro de olote (cm). Después de que se desgranaron las mazorcas se midió el diámetro del olote, utilizando un vernier digital.

3.6.8. Hileras por mazorca. Se contaron las hileras de las mismas cinco mazorcas, se obtuvo el promedio.

3.6.9. Granos por hilera. Se tomó una hilera al azar de cada una de las mazorcas usadas y se contó el número de granos de la base a la punta, se obtuvo el promedio.

3.7. Granos por mazorca. Se multiplicaron los promedios del número de hileras por el número de granos por hilera.

3.7.1. Peso volumétrico (kg hL^{-1}). Se desgranaron las mazorcas utilizadas para medir la longitud, se pesó el grano en un determinador de humedad eléctrico, la cual también registra el peso volumétrico.

3.7.2. Peso de 200 granos. De esos granos se contaron 200 por medio de un contador eléctrico de semillas, se pesaron en una balanza granataria.

3.7.3. Porcentaje de materia seca. Se pesaron 250 gramos del grano y se obtuvo el porcentaje de humedad en un determinador de humedad eléctrico GAC 2100 ® de Dickey-John. Al 100 % se le restó el porcentaje de humedad.

3.7.4. Porcentaje de grano. Se obtuvo la división del peso de las mazorcas sin olote entre el peso de las mazorcas con olote por 100.

3.7.5. Rendimiento (kg/ha). Se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

P.C.=Peso de campo en kilogramos

%MS.=Porcentaje de materia seca de las mazorcas.

%G.=Porcentaje de grano

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 A se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables evaluadas; se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el factor de variación genotipos para rendimiento de grano, floración masculina y femenina, altura de planta, diámetro de mazorca, diámetro de olote y peso volumétrico. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para: altura de mazorca y longitud de mazorca y no existieron diferencias para porcentaje de materia seca, peso de 200 granos, porcentaje de grano y granos por mazorca.

En los ambientes evaluados hubo diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para: floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, diámetro de mazorca, hileras por mazorca, porcentaje de materia seca y granos por mazorca. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para rendimiento de grano y diámetro de olote.

Para densidad de población existieron diferencias altamente significativas en diámetro de mazorca y granos por mazorca y se presentaron diferencias significativas para floración femenina. Para dosis de fertilización existieron diferencias significativas ($P < 0.01$) para rendimiento de grano, altura de planta y granos por mazorca, y significativas para altura de mazorca.

Para el factor de variación de la interacción (genotipo x ambiente) se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables: rendimiento, floración masculina, floración femenina y granos por mazorca. Existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) para hileras por mazorca. No hubo diferencias significativas en altura de planta, altura de mazorca, mazorcas malas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca granos por hilera, diámetro de olote, peso volumétrico, porcentaje de materia seca, peso de 200 granos, porcentaje de grano y granos por mazorca.

En el Cuadro 2 B se observa, para la interacción (genotipo x densidad de plantación) existieron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para rendimiento de grano y significativas para altura de planta. No existieron diferencias para las otras variables.

Para el factor de variación de la interacción (genotipo x fertilización) se presentaron diferencias altamente significativas en granos por mazorca y significativas en rendimiento de grano.

Cuadro 2 A. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – verano 2018.

Factor de variación	Genotipo	Bloque	Ambiente	Dp	Fert	Gen+amb
Rendimiento	52.4**	1.2	12.6*	1.9	17.9**	16.4**
Floración masc	26.3**	5.0*	275.0**	0.84	1.13	8.11**
Floración fem	38.0**	0.6	39.9**	10.0*	1.64	22.5**
Altura de planta	1002.0**	100.9	61843.4**	24	518.9**	99.6
Altura de mazorca	387.0*	23.4	4171.0**	6.3	392.2*	236.6
Diámetro de mazorca	0.7**	0.2**	1.7**	0.2**	0.03	0.06
Hileras por mazorca	8.0**	2	23.4**	2.2	1.1	2.7*
Diámetro olote	0.4**	0.2**	0.05**	0.03	0.02	0.01
Peso volumétrico	30.8**	22.7**	6.8	0.6	3.2	1.7
%de materia seca	0.3	44.3**	939.4**	0.5	2	0.3
Granos por mazorca	456.9	679.5	42745.6**	5341.2**	4269.0**	8133.2**

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; Dp = Densidad de población; Fert = Fertilización; Gen = Genotipo; Amb = Ambiente CV = Coeficiente de variación

Cuadro 2 B. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – verano 2018.

Factor de variación	Gen+Dp	Gen+Fert	Error	CV	Media
Rendimiento	10.4**	4.9*	1.5	11.6	12.8
Floración masc	1.25	1.7	1.26	1.65	79.9
Floración fem	3.2	1.8	1.6	1.9	82.5
Altura de planta	317.2*	200.6	10.6	4	263.5
Altura de mazorca	218.1	59.8	10.9	9.2	119.5
Diámetro de mazorca	0.007	0.03	0.2	3.6	4.8
Hileras por mazorca	0.7	0.3	1	6.5	15.6
Diámetro olote	0.003	0.02	0.1	4.2	2.6
Peso volumétrico	1.6	2.8	1.8	2.4	76.7
%de materia seca	0.1	1.2	1.7	2	84.9
Granos por mazorca	1584.1	2657.3**	26.7	5.6	476.4

**P<0.01; *P<0.05; Dp = Densidad de población; Fert = Fertilización; Gen = Genotipo; Amb = Ambiente CV = Coeficiente de variación

En el Cuadro 3 se muestra la comparación de medias de los cuatro genotipos evaluados en dos ambientes con diferentes densidades de población y diferentes dosis de fertilización. En relación al rendimiento de grano, la CSE (14.5 t ha⁻¹) fue superior (P<0.05) en 21% con respecto a H-49 AE y Tlaoli Puma y en 8% con respecto a Tsíri Puma. El rendimiento que presentó el híbrido H-49 AE en esta investigación fue más elevado al que presentó Tsíri Puma, de 9.5 a 12.5 t ha⁻¹ en 2016 (Tadeo *et al.*, 2016).

Antuna *et al.* (2003) evaluaron seis líneas endogámicas de maíz en los estados de Durango y Coahuila, y obtuvieron variación en el rendimiento de grano de 1.9 hasta 5.0 t ha⁻¹.

Cuadro 3. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – verano 2018.

Genotipo	Rendimiento grano (t ha ⁻¹)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de Planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	% de grano
CSE	14.5 a	80.6 a	82.5 b	2.7 a	1.2 ab	85.8 a
Tsíri Puma	13.0 b	78.7 b	81.1 c	2.6 b	1.2 a	85.5 a
H 49 AE	12.0 c	79.9 a	82.7 ab	2.6 b	1.2 ab	85.8 a
Tlaoli Puma	12.0 c	80.4 a	83.6 a	2.6 b	1.2 b	85.6 a
D.S.H. (0.05)	0.9	0.8	1	6.5	6.7	1

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). D.S.H. = Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$).

La floración masculina se presentó a los 81 días en la CSE y Tlaoli Puma, en H-49AE a los 80 días, mientras que en Tsíri Puma fue diferente a los anteriores ($P < 0.05$) ya que se presentó a los 79 días. Tlaoli PUMA presentó la floración femenina a los 84 días y fue diferente ($P < 0.05$) con respecto a CSE y Tsíri Puma, en estos híbridos, esta variable se presentó a los 82 y 81 días respectivamente, en el H-49 AE se presentó a los 83 días. Lo anterior nos indica que hubo sincronía entre floración masculina y femenina, ya que la diferencia de días, entre ambas, fue de 2 a 3 días para todos los híbridos. Es indispensable que exista sincronía de las floraciones de los progenitores en la producción de grano y semilla de híbridos de maíz, ya que debe haber seguridad de que haya polen funcional de la planta macho en los estigmas receptivos de la hembra.

CSE tuvo 2.7 m de altura de planta y fue superior ($P < 0.05$) en 4.6, 3.5 y 3.2% con respecto a Tlaoli Puma, H-49 AE y Tsíri Puma, respectivamente. El híbrido Tsíri Puma presentó 1.2 m de altura de mazorca y fue superior ($P < 0.05$) en 6.6, 2.9 y 2.6 % con respecto a Tlaoli Puma, IA 449 y H49 AE respectivamente. En la evaluación de genotipos de maíz es importante considerar, además del rendimiento de grano, la altura de planta y mazorca. Los genotipos evaluados tuvieron altura de planta y de mazorca media de 2.6 y de 1.2 m, respectivamente, las cuales están dentro de los valores reportados por Espinoza *et al.* (2019). La CSE presentó 15.7 cm de longitud de mazorca y fue superior ($P < 0.05$) en 4.6% con respecto a Tlaoli Puma y no fue diferente a Tsíri Puma y H 49 AE. Los genotipos evaluados que no presentaron diferencias significativas en longitud de mazorca se encuentran dentro de los valores reportados por Espinoza *et al.* (2019).

El híbrido Tlaoli Puma presentó 4.9 cm de diámetro de mazorca, fue superior ($P < 0.05$) en 6.0 % con respecto a la CSE y en 2% con respecto a Tsíri Puma y H-49 AE. El diámetro de mazorca que se obtuvo en el experimento presentó valores más altos que los obtenidos por Quiroz *et al.* (2017) de 4.4 a 4.5 cm con diferentes densidades de población de plantas. El experimento fue establecido por Quiroz (2017) en campo en el ciclo primavera-verano bajo las siguientes densidades población 104167, 72125, 62500.

La CSE presentó 77.8 kg hL^{-1} , fue superior en 3.0, 1.8, y 1.2% con respecto a Tlaoli Puma, H4-9 AE y Tsíri Puma. El valor obtenido en esta investigación se encuentra dentro del rango reportado por Quiroz *et al.* (2017), quienes registraron valores de 73.5 a 80.6 kg hL^{-1} con las situaciones anteriormente mencionadas. Espinosa *et al.* (2018) reportaron que, el híbrido H-49 AE presentó un peso hectolítrico de 77.5 kg hL^{-1} , diferente al obtenido en la presente investigación.

Cuadro 4. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera verano 2018.

Genotipo	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Peso volumétrico (kg hl ⁻¹)	Peso de 200 granos	%materia seca
IA 449	15.7 a	4.6 c	472.3 a	77.8 a	67.9 a	85.0 a
Tsíri Puma	15.4 ab	4.8 b	474.8 a	77.0 ab	71.1 a	84.8 a
H-49 AE	15.4 ab	4.8 b	485.6 a	76.5 bc	68.1 a	84.9 a
Tlaoli puma	15.b	4.9 a	477.8 a	75.6 c	68.7 a	84.9 a
DHS (0.05)	0.6	0.1	16.4	1.1	3.6	1.1

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$). D.S.H. = Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$).

En el Cuadro 4 se muestra la comparación de medias en los dos ambientes evaluados. El rendimiento de grano que se cultivó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM FESC-UNAM presentó un valor mayor ($P < 0.05$) en 5% con respecto a Huexotla, Texcoco Huexotla-T. El rendimiento de grano obtenido en ambos ambientes es más elevado que el registrado por Quiroz *et al.* (2017) en tres diferentes localidades del Estado de México, donde fue de 8.4 ton ha⁻¹.

La floración masculina se presentó a los 79 y 81 días en Huexotla y FESC-UNAM, respectivamente y la floración femenina a los 82 y 83 días en FESC-UNAM y Huexotla, respectivamente y fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). En Huexotla la floración masculina comenzó antes que en FESC-UNAM. Lo anterior pudo haber sido causado por un ambiente más favorable en Cuautitlán.

Cuadro 5. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – verano 2018.

Ambiente	Rendimiento grano (ton ha ⁻¹)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de Planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	% de grano
FESC-UNAM	13.2	81 a	81 b	242.8 b	124.8 a	85.6 a
Huexotla, Texcoco	12.6 b	78 b	83 a	284.2 a	114.1 b	85.6 a
D.M.S.H. -0.05	0.5	0.4	0.5	3.5	3.6	0.5

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$). D.S.H. = Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$).

La mayor altura de planta se obtuvo en Huexotla-T, fue superior ($P < 0.05$) en 17 % con respecto a la FESC-UNAM. Estos resultados indicaron que los híbridos estuvieron influenciados por efecto del ambiente.

En el ambiente FESC-UNAM la altura de mazorca fue superior ($P < 0.05$) en 9.5% con respecto a Huexotla-T. En Huexotla se tuvieron temperaturas medias de 14.5 °C (Toledo, 2015). En la localidad de FES-Cuautitlán, UNAM se tuvieron temperaturas medias, en los meses de mayo a julio, de 17.6 a 19.1 °C (estación meteorológica Almaraz FES-Cuautitlán UNAM), lo que posiblemente sugiere las diferencias entre las localidades.

Para las variables: peso volumétrico, peso de 200 granos y porcentaje de grano no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$).

En el Cuadro 5, para el porcentaje de materia seca, el valor más elevado ($P < 0.05$) se presentó en Huexotla-T, éste fue de 87.4%, a diferencia de la FESC- UNAM que presentó 82.3%. Lo anterior probablemente fue influenciado por los días de cosecha, en la FESC-UNAM se cosechó el 7 de diciembre mientras que en Huexotla se cosechó el 13 de

diciembre, una diferencia de seis días entre ambientes.

Cuadro 6. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en dos ambientes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización y densidades de siembra. Ciclo primavera – verano 2018.

Ambiente	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Peso volumétrico (kg hL ⁻¹)	% materia seca
FESC-UNAM	15.6 a	493.6 a	77.0 a	82.3 b
Huexotla, Texcoco	15.2 b	459.1 b	76.5 a	87.4 a
D.M.S.H (0.05)	0.3	8.8	0.6	0.6

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes (P < 0.05).

D.S.H. = Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En el Cuadro 6 se muestra la comparación de medias para las densidades de población utilizadas. Para el rendimiento de grano no existieron diferencias (P<0.05), la densidad de población de 65, 000 plantas por ha⁻¹ presentó un valor más alto numéricamente en 100 kg con respecto a la de 80,000. Otros investigadores Rodríguez *et al.* (2015) reportaron un incremento en rendimiento de 1.1 t ha⁻¹ cuando se varió la densidad de población de 52 083 a 104 167 plantas ha⁻¹

Los híbridos liberados recientemente son dependientes de la densidad de población y responden en forma parabólica cuando se aumenta más allá de la óptima (Sarlangue *et al.*, 2007; Tollenaar y Lee, 2011). El rendimiento de grano se incrementa a un máximo al llegar a la óptima densidad de población, probablemente en aumentos posteriores en el número de plantas se puede reducir marcadamente el rendimiento (Andrade *et al.*, 1996). Mendoza (2006) indicaron que en densidades altas de población disminuye la eficiencia en el uso de la radiación provocando una disminución en el crecimiento vegetativo y una consecuente

disminución del rendimiento.

La floración masculina se presentó a los 80 días en ambas densidades de población, la floración femenina se presentó a los 83 días en la densidad de población de 80, 000 plantas ha⁻¹ y a los 82 días en la de 65, 000 plantas ha⁻¹. Al respecto Cervantes *et al.* (2015) indicaron que la densidad de plantas modifica la expresión fenotípica de la floración y la altura de planta en líneas de maíz.

Cuadro 7. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos con dos densidades de plantación en dos ambientes diferentes del Valle de México. Ciclo primavera – verano 2018.

Densidad de población	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	% de grano
65000	12.9 a	79.8 a	82.0 b	263.9 a	119.7 a	85.6 a
80000	12.8 a	79.9 a	83.0 a	263.0 a	119.2 a	85.7 a
D.M.S.H (0.05)	0.5	0.4	0.5	3.5	3.6	0.5

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes (P < 0.05). D.S.H. =Diferencia honesta significativa (P<0.05)

En la variable granos por mazorca se presentaron menores valores con la densidad de 80, 000 plantas ha⁻¹ que con respecto a la de 65, 000 plantas ha⁻¹ (Cuadro 7). Con relación a la variable diámetro de mazorca se presentaron valores mayores (P<0.05) en la densidad de 65, 000 plantas ha⁻¹ con respecto a la de 80, 000, esto pudo ser a consecuencia de una menor competencia entre plantas. El diámetro de mazorca que se obtuvo en el presente experimento (4.8 y 4.7 cm) fue mayor al reportado por Quiroz *et al.* en 2017 (4.4 a 4.5 cm) bajo diferentes densidades de población.

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se utilizaron dos densidades de población (50 000 y 70 000 plantas ha⁻¹), se concluyó que existe efecto estadístico significativo favorable

al manejar los híbridos, bajo 70000 plantas por hectárea con respecto a 50000 (Espinoza *et al* 2012).

En el Cuadro 8 se muestra la comparación de medias de las variables evaluadas con tres dosis de fertilización, con la dosis de 160-80-00 se obtuvo un rendimiento de 13.6 ton ha⁻¹, superior (P<0.05) 9.6 y 7.1% con respecto a las dosis de 120-40-00 y 00-00-00. Sin embargo, el incremento en rendimiento no fue significativo al comparar la dosis de 160-80-00 con respecto a las otras dosis de fertilización utilizadas.

Cuadro 8. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos con dos densidades de plantación en dos ambientes diferentes del Valle de México. Ciclo primavera – verano 2018.

Densidad de plantación	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Peso volumétrico (kg hL ⁻¹)	% materia seca
65000	15.5 a	482.5 a	76.7 a	84.9 a
80000	15.3 a	470.3 b	76.8 a	84.8 a
D.S.H.(0.05)	0.3	8.8	0.6	0.6

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes (P < 0.05).

D.S.H. = Diferencia honesta significativa (P<0.05).

Domínguez *et al.* (2001) reportaron incrementos en el rendimiento del maíz de 1.8, 2.3 y 1.2 ton ha⁻¹, con aplicación de 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹, con respecto al testigo (sin N aplicado).

Cuadro 9. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización. Ciclo primavera – verano 2018.

Dosis de fertilización	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	% de grano
160-80-00	13.6 a	79.7 a	82.2 a	264.4 ab	120.2 ab	85.7 a
120-40-00	12.4 b	80.0 a	82.5 a	259.8 b	116.3 b	85.7 a
00-00-00	12.7 b	79.9 a	82.6 a	266.2 a	121.9 a	86.6 a
D.S.H.(0.05)	0.7	0.6	0.7	5.2	5.3	0.8

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes (P < 0.05). D.S.H. = Diferencia honesta significativa (P<0.05).

Para altura de planta y altura de mazorca se registraron valores mayores en la dosis testigo. En granos por mazorca (Cuadro 9) se registró valor superior (P<0.05) en la dosis de fertilización de 160-80-00 con respecto a la dosis de 120- 40-00 y no fue diferente estadísticamente de la dosis sin fertilización.

En muchos estudios, se afirma un efecto positivo del nitrógeno en el rendimiento de grano, en el número de semillas por mazorca y en el peso de la semilla de híbridos de maíz (Osborne *et al.* 2002). Por su parte, Stamp *et al.* (2000), al comparar dos dosis de N (0 y 200 kg ha⁻¹) en híbridos de maíz, encontraron que el estrés ocasionado por la deficiencia de nitrógeno redujo el número de granos por mazorca. Tanaka y Yamaguchi (1981) llegaron a las mismas conclusiones para el índice de prolificidad con niveles bajos de nitrógeno. En este sentido, Barbieri *et al.* (2000) concluyeron que con bajos niveles de nitrógeno disminuyó el número de granos por mazorca y el rendimiento; mientras que al reducir la distancia entre surcos estos caracteres se incrementaron significativamente.

Cuadro 10. Comparación de medias en híbridos de maíz establecidos en ambientes diferentes del Valle de México con diferentes dosis de fertilización. Ciclo primavera – Verano 2018.

Dosis de fertilización	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Peso volumétrico (kg hl ⁻¹)	% materia seca
160-80-00	15.43 a	484.0 a	76.9 a	85.14 a
120-40-00	15.33 a	465.7 b	76.9 a	84.77 a
00-00-00	15.39 a	479.8 a	76.5 a	84.78 a
D.S.H (0.05)	0.5	12.9	0.9	0.8

a, b, c = Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes (P < 0.05). D.S.H. = Diferencia honesta significativa (P<0.05)

V. CONCLUSIONES

1. La Cruza simple elite experimental constituye una alternativa para los productores del Valle de México, ya que presentó un mayores rendimiento de grano, altura de planta, longitud de mazorca y peso volumétrico con respecto a los otros materiales evaluados.
2. El ambiente más favorable para el crecimiento de los híbridos evaluados fue Cuautitlán, en donde se presentaron mayores rendimientos de grano, altura de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y granos pormazorca.
3. Para las densidades de población se tuvieron diferencias únicamente para los variables granos por mazorca y diámetro de mazorca y fueron superiores con 65, 000 plantas ha⁻¹, lo que indica que no es necesario utilizar densidades de población más altas en la región de estudio.
4. La dosis de fertilización 160-80-00, registró altos rendimientos de grano ha⁻¹, aunque es preferible no gastar en fertilizante ya que la diferencia es mínima si se compara la dosis de fertilización 00-00-00.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Carpio, C., J. A. Salvador Escalante Estrada, I. Aguilar Mariscal, J. A. Mejía Contreras, V. F. Conde Martínez y A. Trinidad Santos. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 34:419-429.

Andrade, F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora, and M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42:1173- 1179.

Andrade, F. H.; Cirilo, A. G.; Uhart, S. and Otegui, M. E. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalpress, Buenos Aires, Argentina. 292 p.

Antuna, O., F. Rincón, E. Gutiérrez, N. A. Ruíz y L. Bustamante. 2003. Componentes genéticos de características agronómicas y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:11-17.

Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I. y Ávila, P. M. A. 2011. H-70: híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(4):619-626.

Bautista A, Etchevers J, Del Castillo RF, Gutiérrez C. La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Ecosistemas.* 2004;13(2):90-97.

Barbieri, P; Sainz, H; Andrade, F; Echeverria, H. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agronomy Journal* 92:283-288.

Ballesteros, R. E., E. Morales R., O. Franco M., E. Santoyo C., G. Estrada C. y F. Gutiérrez R. 2015. Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6 (4):721-733.

Bayuelo-Jiménez J. S. and I. Ochoa-Cadavid (2014) Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency among maize landraces from the central Mexican highlands. *Field Crops*

Bouwman, A. F.; Beusen, A. H. W.; Lassaletta, L.; van Apeldoorn, D. F.; van Grinsven H.J. M.; Zhang, J. and van Ittersum, M. K. 2017. Lessons from temporal and spatial patterns in global use of N and P fertilizer on cropland. *Sci. Rep.* 7:40366.

Carpenter J., Sánchez G. and E. Villalpando. 2005. The Late Archaic/Early Agricultural Period in Sonora, México. New perspective ob the late archaic across the Bordelands University of Texas Press, Austin. Pp. 3-40.

Cervantes, O. F., J. Covarrubias P., J. Rangel L., A. D. Terrón I., M. Mendoza E., R. Preciado O. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):101-110.

Cervantes, O. F.; Cadenas, T. J. L.; Raya, P. J. C.; Andrio, E. E.; Rangel, L. J. A.; Guevara, A. L. P.; Rodríguez, H. R. S. y Mendoza, E. M. 2015. Respuesta del SilkBalling a humedad edáfica y densidad de población en líneas de maíz. *Rev. Mex.Cienc. Agríc.* 6 (1):231-241.

Chura, J. J. Mendoza C. J. C. De la Cruz. 2019. Dosis y fraccionamiento de nitrógeno endos densidades de siembra del maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria* 10(2):241-248.

Cox, W. J., and Cherney D. J. R.. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agron. J.* 93:597-602.

Cruz F., G., D. Flores R., G. Alcántar G., A. Trinidad S. y R. Vivanco E. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno y fosforo en genotipos de trigo, triticale y maíz. *Terra* 20:411-422.

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

Doebley, J. F. 1980. Taxonomy of *zea* (gramineae). II. Subesocific categories in the *zea* mays complex and a generic synopsis.

Domínguez, G. F., G. A. Studdert y H. E. Echeverría. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Cienc. Suelo* 19:47-56.

Donnet, L., D. López, J. Arista, F. Carrión, V. Hernández, A. González. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. Mexico. CIMMYT.

Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, B. Zamudio-González, J. Virgen-Vargas¹, A. Turrent-Fernández, I. Rojas-Martínez, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, C. López-López, A. Palafox-Caballero, G. Vázquez-Carrillo, F. Rodríguez-Montalvo, E. I. Canales-Islas, J. Zaragoza-Esparza, B. Martínez-Yañez, R. Valdivia-Bernal, A. Cárdenas-Marcelo, K. Mora-García y B. Martínez-Nuñez. 2018. H 47 AE.: Nuevo Híbrido de Maíz para Valles Altos con Androesterilidad para la producción de semillas *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 41 (1):87 – 89.

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(2):78-85.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I.; Gómez, M. N. O.; Sierra M. M.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F. A.; Zamudio, G. B.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E.; Martínez, Y. B. y Valdivia, B. R. 2012. H-51 AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos del Centro de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(4):347-349.

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra M., M.; Martínez, M. R.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E. I.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2010. H-47 AE híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. *In: Día de Campo: CEVAMEX 2010.* Chapingo, México. Memoria técnica núm. 11. Pp. 15-16

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

Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Martínez, M. R.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2008b. H-49 AE híbrido de maíz para Valles Altos con androestérilidad para producción de semilla. *In*: Día de Campo CEVAMEX. Chapingo, Estado de México. Memoria técnica núm. 9. 13-14 pp.

Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A. Caballero, H. F.; Rodríguez, M. F.; Valdivia, B. R. y Esqueda, E. V. 2007. Algunos elementos de la crisis del maíz y la tortilla en México. *In*: Resúmenes del LIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. Instituto de Ciencias y Tecnología Agropecuaria, ICTA, Guatemala. Pp. 93-93.

Farnham, D. E. 2001. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agron. J.* 93: 1049-1053.

Gordon W. B. and G. M. Pierzynski (2006) Corn Hybrid Response to Starter Fertilizer Combinations, *Journal of Plant Nutrition*, 29 (7):1287-1299.

Griffith, W. K. and Murphy, L. S. 1991. The development of crop production systems using the best management practices. Potash Phosphate Institute. 254 p.

Haegerle, J. W.; Cook, K. A.; Nichols, D. M. and Below, F. E. 2013. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Sci.* 53:1256-1268.

International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2009. 4R nutrient stewardship style guide. Norcross, GA. 32 p.

Janssen, K. 2008. Phosphorus Management. *In*: Fertilizing for Irrigated Corn— Guide to Best Management Practices Edited by Dr. W.M. (Mike) Stewart, International Plant Nutrition Institute, and Dr. W.B. Gordon, Kansas State University. Published by the International Plant Nutrition Institute.

Jugenheimer, R. W. 1990. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. del inglés por Pina G., R. LIMUSA. México, D. F., México. 841 p.

Kablan, L. A., Chabot, V., Mailloux, A., Bouchard, M.-É., Fontaine, D., & Bruulsema, T. (2017). Variability in Corn Yield Response to Nitrogen Fertilizer in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 109(5), 2231. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0511>

Kovács, P.; Van Scoyoc, G. E.; Doerge, T. A.; Camberato, J. J. and Vyn, T. J. 2014. Pre-plant anhydrous ammonia placement consequences on no-till *versus* conventional-till maize growth and nitrogen responses. *Agron. J.* 106(2):634-644.

Larqué, S. S, A. Limón O., M. Irizar G. y M. Díaz V. 2017. Fertilización química del maíz, su impacto en el rendimiento y en los costos de producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Centro, Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Folleto Técnico Núm. 2.

Maddux, L. D., L. and Halvorson A.. 2008. Phosphorus Management. In: *Fertilizing for Irrigated Corn— Guide to Best Management Practices* Edited by Dr. W.M. (Mike) Stewart, International Plant Nutrition Institute, and Dr. W.B. Gordon, Kansas State University. Published by the International Plant Nutrition Institute.

Manschadi A. M., K. H. P. Kaul, J. Vollmann, J. Eitzinger and W. Wenzel. 2014. Developing phosphorus-efficient crops varieties - An interdisciplinary research framework. *Field Crops Research* 162:87-98.

María, R. A.; Rojas, M. I.; Ávila, P. M. A. y Gámez, V. J. A. 2003. Producción de Maíz de Temporal en el Estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)- Campo Experimental Tlaxcala. Tlaxcala. México. Folleto para productores núm. 3. 16 p.

Martínez-Gutiérrez, A., B. Zamudio G., M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. C. Cardoso G., G. Vázquez C., A. Turrent F. 2018. Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (7).

Martínez Lázaro, C; Mendoza-Onofre, LE; García-de Los Santos, G; Mendoza-Castillo, M del C; Martínez Garza, A. 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 Mexica* 28(2):127-133

Maya LJB, Ramírez DJL 2002. Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):333-338.

Mendoza, E· M., C. Mosqueda V., J. Rangel L., A. López B., S. Rodríguez H., L. Latournerie M. y E. Moreno M. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM*. *Agric. Téc. Méx* 32:1

Mera-Ovando L M, C Mapes-Sánchez 2009. El maíz. Aspectos biológicos. *In: Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica.* T A Kato, C Mapes, L M Mera, JA Serratos, R A Bye (eds). Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. pp:19-32.

Miranda-Colín, S. 2000. Mejoramiento genético del maíz en la época prehispánica. *Agric. Téc. Méx.* 1(1):3-15.

Nazir, M.; Pandey, R.; Siddiqi, T. O.; Ibrahim, M. M.; Qureshi, M. I.; Abraham, G.; Vengavasi, K. and Ahmad, A. 2016. Nitrogen-deficiency stress induces protein expression differentially in low-N tolerant and low-N sensitive maize genotypes. *Front. Plant Sci.* 7:1-16.

Njoka EM, Muraya M, Okumo M. 2005. Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays*) grain and fodder yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44:1215-1219.

Osborne, L; Scheppers, S; Francis, D; Schlemmer, R. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop. Sci.* 42:165-171.

Oyervides, A; Ortiz, J; González, V; Carballo, A. 1990. El número de mazorcas por planta y la formación de arquetipos de maíz. *Serie fitotecnia* 1(4):103-118.

Pecina M., J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.

Pedersen, P. and J. G. Lauer. 2003. Corn and soybean response to rotation sequence, rows spacing, and tillage system. *Agron. J.* 95: 965-971

Quiroz, M. J., D. Pérez L., A. González H., M. Rubí A., F. Gutiérrez R., P. Franco M., J. Ramírez D. (2017) Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 8 (7):1521-1535.

Reta, S. D. G., M. A. Gaytán, y A. J. S. Carrillo. 2003. Rendimiento y componentes del rendimiento de maíz en respuesta a arreglos topológicos. *Rev. Fitot. Mex.* 26: 75-80.

Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F.460 p

Reynoso Q., C. A., A. González H., D. de J. Pérez L., O. Franco M., J. L. Torres F., G. A. Velázquez C., C. Breton L., A. Balbuena M. y O. Mercado V. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:871-882.

Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2015. La interacción genotipo*ambiente en la caracterización de áreas de temporaleras en la producción de trigo. *Agrociencia.* 39(1):51-64.

Sangoi, L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural* 31(1):159-168.

Sarlangue, T.; Andrade, F. H.; Calviño, P. A. and Purcell, L. C. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99(4):984-991.

SAS Institute. (2001). SAS User's Guide. Release 8.1. 6a (Ed.). SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 956 p.

SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera).2019.Produccion anual de cultivos año Agrícola 2019 en México. En <http://www.siap.gob.mx/>

SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera).2019.Produccion anual de cultivos año Agrícola 2016 en México. En <http://www.siap.gob.mx/>

Stamp, P; Schowchong, S; Menzi, M; Weingarther, U; Kaiser, O. 2000. Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop. Sci.* 40:1586-1587.

Tadeo, R. M., J. J. García Z., H. J. Alcántar L., R. Lobato O., N. O. Gómez M., M. Sierra M., M. B. G. Irizar G., R. Valdivia B., J. Zaragoza E., B. Martínez Y., C. López L., A. Espinosa C. y A. Turrent F. 2017. Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México1. *Terra Latinoamericana* 35:65-72.

Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J. J.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N. O.; Sierra M.M.; Valdivia, B. R.; Zamudio, G. B.; Martínez, Y. B.; López, L. C.; Mora, G. K. Y.; Canales, I. E. I.; Cárdenas, M. A. L.; Zaragoza, E. J. y Alcántar, L. H. J. 2016. TsíriPuma, híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(3):331-333.

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 y B. Zamudio-González. 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana* 30:156-164.

Tanaka, A; Yamaguchi, J. 1981. Producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de grano en maíz. 2ª impresión. Trad. por J. Kohashi, S. Rama de Botánica, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México. México. 124 p.

Tollenaar, M. and Lee, E. A. 2011. Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews.* 34(4):37-82.

Turrent, F. A. 2009. Potencial productivo de maíz. *Rev. Cienc.* 92(93):126-129.

Vásquez M G, H Mejía A, C Tut C, N Gómez M. 2012. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:23-31.

Virgen, V. J., J. L. Arellano V., I. Rojas M., M. A. Ávila P. y G. F. Gutiérrez H. 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:107-110.

Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M. A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J. L. y Gámez, V. A. 2016. Producción y calidad de semillas de maíz en Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 27(1):191-206.

Willey, R. 1994. Plant population and crop yield. In: Rechcigl Jr. M. *CRC handbook of agricultural productivity*. Boca Raton, CRC Press, p. 201-207.

Zamudio, G. B., M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. N. Martínez R., D. Celis E., R. Valdivia B. 2015. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (7):1557-1569.

Zamudio G., B., A. Espinosa C., y M. Tadeo R. 2012. Enzimas y aminoácidos en producción de maíz grano bajo estrés natural en Temascalcingo, Estado de México. XV Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. UBC-México. 11-18 pp.

Zepeda, B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S. y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México* Vol. 33 (1):17-24.