



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz
de grano blanco para Valles Altos de México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A :

ALAN MONTER SANTILLÁN

**ASESOR DE TESIS:
DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN**

**COASESORA:
DRA. MARGARITA TADEO ROBLEDO**

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2020



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.

A mis Padres, quienes han debido realizar un esfuerzo enorme para poder brindarme la valiosa oportunidad de estudiar y la satisfacción de terminar una carrera universitaria

A mis hermanos, a quienes espero sirva de motivación y ejemplo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por otorgarme los medios y estímulos necesarios para culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria, así como darme la oportunidad de enriquecerme académicamente aún más al realizar estancias estudiantiles dentro y fuera del país con el beneficio del Programa de Movilidad Nacional e Internacional. Estoy orgulloso de pertenecer a la prestigiosa y máxima casa de estudios de México.

A la Dra. Margarita Tadeo Robledo y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por darme la oportunidad de formar parte del magnífico equipo de trabajo que ambos tienen a bien dirigir. Así como por el tiempo invertido en mi formación y por el acompañamiento recibido en la elaboración de la presente tesis.

Al Dr. Alejandro, por considerarme y permitirme ser beneficiario del estímulo de Ayudante de Investigador Nivel III, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IT2016-18) Mejoramiento genético, productividad, calidad industrial y registro de maíces amarillos de la UNAM para apoyar la suficiencia alimentaria en México, por los recursos económicos sin los cuales no hubiese sido posible llevar a cabo esta investigación.

A los miembros del jurado: Mtra. Elva Martínez Olguín, Mtra. Consuelo López López, Dra. Martha Yolanda Quezada Viay, Dra. María Elena Quintana Sierra y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por sus valiosas aportaciones al trabajo de investigación.

A la Mtra. Consuelo López López y al Dr. Enrique I. Canales Islas, por el asesoramiento en el manejo del paquete estadístico y posteriormente en el análisis e interpretación de los resultados.

A cada uno de los integrantes del equipo de semillas, por la ayuda operativa otorgada durante la fase experimental del ensayo, con un reconocimiento especial por su apoyo de calidad a los Ing. Agrícolas José de Jesús Macedo González e Israel

Arteaga Escamilla, a la Mtra. Consuelo López López y al laboratorista Carlos Ortega Romero.

A la Mtra. Consuelo, por ayudarme a conseguir la información meteorológica de la localidad Texcoco.

Al Dr. Gustavo Mercado Mancera, por facilitarme los datos meteorológicos correspondientes a la localidad FESC, UNAM.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.1.1. <i>Objetivos particulares</i>	3
2.2.1. <i>Hipótesis</i>	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. LA UTILIZACIÓN E IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO	5
2.2. VALLES ALTOS DE LA MESA CENTRAL DE MÉXICO	5
2.3. GENERALIDADES DEL MAÍZ.....	6
2.3.1. <i>Origen y aspectos importantes</i>	6
2.3.2. <i>Descripción de la planta</i>	7
2.3.3. <i>Requerimientos agroecológicos del maíz</i>	8
2.4. VARIEDADES MEJORADAS DE MAÍZ.....	9
2.4.1. <i>Híbrido de tres líneas</i>	9
2.4.2. <i>Tlaoli Puma</i>	9
2.4.3. <i>H-49 AE</i>	10
2.4.4. <i>Atziri Puma</i>	10
2.4.5. <i>H-47 AE</i>	10
2.4.6. <i>Tsíri Puma</i>	11
2.5. FENOLOGÍA DEL MAÍZ.....	11
2.5.1. <i>Etapa R6 o Madurez fisiológica</i>	12
2.6. DETERMINACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA	13
2.6.1. <i>Unidades calor</i>	13
2.6.2. <i>Capa negra</i>	14
2.6.3. <i>Porcentaje de humedad</i>	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.....	15
3.1.1. <i>Localidad FESC, UNAM</i>	15
3.1.2. <i>Localidad Texcoco</i>	16

3.2.	MATERIAL GENÉTICO.....	18
3.3.	MANEJO AGRONÓMICO	18
3.3.1.	<i>Preparación del suelo</i>	18
3.3.2.	<i>Siembra</i>	18
3.3.3.	<i>Riego</i>	19
3.3.4.	<i>Fertilización</i>	19
3.3.5.	<i>Control de maleza</i>	19
3.3.6.	<i>Cosecha</i>	19
3.4.	VARIABLES EVALUADAS	20
3.4.1.	<i>Altura de planta</i>	20
3.4.2.	<i>Altura de mazorca</i>	20
3.4.3.	<i>Peso de campo</i>	20
3.4.4.	<i>Número de hileras por mazorca</i>	20
3.4.5.	<i>Número de granos por hilera</i>	20
3.4.6.	<i>Granos por mazorca</i>	20
3.4.7.	<i>Porcentaje de humedad</i>	20
3.4.8.	<i>Porcentaje de grano</i>	21
3.4.9.	<i>Porcentaje de capa negra</i>	21
3.4.10.	<i>Rendimiento</i>	21
3.5.	DETERMINACIÓN DE UNIDADES CALOR.....	21
3.6.	<i>Diseño experimental</i>	22
3.7.	<i>Análisis estadístico</i>	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA.....	23
	COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LOS DOS AMBIENTES	26
	COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LAS DOS FECHAS DE COSECHA.....	28
	COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LOS 10 HÍBRIDOS DE MAÍZ.....	30
	GRÁFICO DEL COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LOS 10 HÍBRIDOS DE MAÍZ	32
V.	CONCLUSIONES	34
VI.	LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Híbridos de maíz, tipo de material, origen de desarrollo y condición de registro, considerados en el estudio para determinar madurez fisiológica, porcentaje de humedad en el grano, porcentaje de capa negra y unidades calor	29
Tabla 2	Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en los 10 híbridos en dos ambientes y dos fechas de cosecha para determinar madurez fisiológica, y unidades térmicas en el ciclo primavera-verano del 2018	36
Tabla 3	Comparación de medias para dos ambientes en diversas variables evaluadas considerando la media de 10 híbridos de Valles Altos y dos épocas de cosecha en el ciclo primavera-verano del 2018	38
Tabla 4	Comparación de medias para dos fechas de cosecha (165 y 180 días después de la siembra) en diversas variables evaluadas para Valles Altos de México considerando la media de dos ambientes y diez híbridos de maíz en el ciclo primavera-verano del 2018	40
Tabla 5	Comparación de medias para 10 híbridos de maíz en diversas variables evaluadas considerando la media de dos épocas de cosecha y dos ambientes de Valles Altos de México en el ciclo primavera-verano del 2018	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estadios reproductivos y vegetativos de una planta de maíz	23
Figura 2	Estación de crecimiento para la localidad FESC, UNAM, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Elaborada con el software <i>LocClim</i> (2002)	27
Figura 3	Estación de crecimiento para la localidad Huexotla, Texcoco de Mora, Estado de México. Elaborada con el software <i>LocClim</i> (2002)	28
Figura 4	Comportamiento del rendimiento de los 10 híbridos evaluados en dos ambientes y en dos fechas de cosecha en el ciclo primavera – verano del 2018. Elaboración propia	44

RESUMEN

El maíz es la especie vegetal más relevante en el planeta y a pesar del alto consumo de los mexicanos de este cereal y que el país es el centro de origen, la realidad es que la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda, cuya cifra es de más de 40 millones de toneladas, por lo cual el país requiere importar año con año elevados volúmenes (más de 17 millones de toneladas), principalmente de Estados Unidos. De la producción nacional, estimada en 27 millones de toneladas, el 86.7 % corresponde a maíz blanco. De las más de seis millones de hectáreas cultivadas con maíz en México, 1.5 millones se ubican en altitudes de 2200 a 2600 msnm, en los Valles Altos de la Mesa Central, de esta extensión 800 mil hectáreas se cultivan en temporal estricto. En dicha región existe la necesidad de disponer de variedades de maíz con alto potencial productivo y competitivo frente a las ya existentes, para poder así aumentar la producción de maíz de grano blanco y contribuir positivamente al incremento de los ingresos económicos de los productores de la región. Desde 1985, la Carrera de Ingeniería Agrícola de la UNAM, mediante el programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de Maíz y en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han trabajado en la generación de variedades mejoradas de maíz. Producto de estos trabajos, se generaron en los últimos años nuevos híbridos de maíz, los cuales se encuentran en la etapa previa a la liberación comercial. La presente investigación tuvo como objetivo determinar para 10 nuevos híbridos de maíz, de grano blanco, con características ventajosas para la región de Valles Altos del país, el número de días desde la siembra hasta la formación de la capa negra con el fin de establecer el periodo en el que se alcanza la madurez fisiológica, así como determinar su capacidad productiva, en dos fechas de cosecha evaluados en dos ambientes. El experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2018 en dos localidades, la primera en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FESC, UNAM), en Cuautitlán Izcalli, Estado de México a una altitud de 2,252 msnm, y la segunda localidad en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, a una altitud de 2,250 msnm. Se evaluaron 10 genotipos; cinco se encuentran en fase experimental, mientras que Atziri Puma, Tsiri Puma, H-47 AE, H-49 AE y Tlaoli Puma que fueron liberados comercialmente en los últimos años y se utilizaron como testigos comerciales. Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar con

tres repeticiones en cada uno de los ambientes. Se realizó un análisis de varianza combinado, donde las fuentes de variación fueron los ambientes (dos), fechas de cosecha (165 y 180 días después de la siembra), genotipos (10), bloques y sus diferentes interacciones. La parcela experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho, dando un total de 4.0 m² de parcela útil, a una densidad de 75,000 plantas por ha⁻¹. Se realizó un análisis de varianza combinado y la comparación de medias por medio de la prueba de Tukey, al 0.05 de significancia para cada una de las variables evaluadas. En el análisis de varianza combinado para rendimiento hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos, y significancia ($p \leq 0.05$) para días a cosecha, y en la interacción genotipo por días a cosecha. La media general de rendimiento fue de 7,513 kg ha⁻¹. Con un coeficiente de variación de 12.8 %. El rendimiento medio en el ambiente de Texcoco fue de 7,829 kg ha⁻¹, estadísticamente superior al ambiente FESC, UNAM, cuya media fue de 7,197 kg ha⁻¹. Para genotipos el rendimiento estadísticamente más alto, considerando la media de ambientes y fechas de cosecha, correspondió al híbrido trilineal (IA424AEC x IA249) x MIA46, con 9,434 kg ha⁻¹ seguido del genotipo (IA446AEC x IA422) x MIA46 (8,054 kg ha⁻¹) los cuales fueron estadísticamente iguales al híbrido comercial Atziri Puma; el de menor rendimiento fue Tlaoli Puma, con 6,307 kg ha⁻¹. En la comparación de medias para fechas de cosecha, considerando los genotipos y ambientes, a los 180 días después de la siembra se mostró el rendimiento medio estadísticamente más alto con 7,734 kg ha⁻¹, mientras que la fecha de cosecha a 165 días mostró un rendimiento medio de 7,292 kg ha⁻¹. Para el ambiente de Texcoco se acumularon 1,452 unidades calor al momento de la cosecha a los 165 días después de la siembra (21 de noviembre) y 1,613 unidades calor a los 180 días después de la siembra, efectuada el 04 de diciembre. Mientras que, para la FESC, UNAM se tuvieron 1,193 unidades calor acumuladas a los 165 días (16 de noviembre), y 1,267 a los 180 días (14 de diciembre). Los híbridos experimentales trilineales de maíz de grano blanco con los mejores rendimientos fueron el (IA424AEC x IA249) x MIA46 y el (IA446AEC x IA422) x MIA46, los cuales superaron considerando la media de ambientes y fechas de cosecha a los híbridos comerciales Atziri Puma, Tsíri Puma, y H-47 AE. La mejor fecha de cosecha corresponde a los 180 días, puesto que se permitió una mayor acumulación de materia seca. El mejor ambiente fue Texcoco, debido a que se presentó un mejor temporal.

I. INTRODUCCIÓN

Entre las diversas aportaciones de México al mundo, el maíz reviste una importancia creciente. Este cereal es la especie vegetal más cultivada actualmente en el planeta y sus volúmenes de producción han venido incrementándose (Trueba, 2012). Es el cultivo más relevante del país por su importancia económica, social y cultural.

En el mes junio del 2017 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos estimó una producción mundial de maíz para el ciclo 2017/2018 de 1,099 millones de toneladas de maíz (United States Department of Agriculture [USDA], 2018) donde el 37 % corresponde a maíz para consumo humano, industrial y semilla (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura [FIRA], 2019).

Este cereal se cultiva en toda la gama de condiciones que se presentan en la agricultura mexicana. En el año agrícola 2018 participó con 16.3 % del valor de la producción agrícola del país. En el mismo año, el 70.8 % de la producción de maíz provino del ciclo primavera-verano con un rendimiento promedio de 2.5 t ha⁻¹, mientras que el 29.2 % restante se produjo en otoño-invierno con rendimientos promedios por hectárea de 8.6 toneladas (FIRA, 2019).

En México se siembran con maíz más de siete millones de hectáreas anualmente (FIRA, 2019), de las cuales “1.5 millones de hectáreas se ubican en altitudes de 2200 a 2600 msnm, en los Valles Altos de la Mesa Central, de cuya extensión 800 mil hectáreas se cultivan en temporal estricto” (Tadeo *et al.*, 2012, p. 1418). De la producción nacional el 86.7 % corresponde a maíz blanco, 12.9 % a maíz amarillo y el restante 0.5 % a otros tipos de maíz (FIRA, 2019). El principal destino del maíz amarillo es la industria pecuaria, seguido de la industria almidonera, por otro lado, el maíz blanco se destina en mayor parte al consumo humano, el cual es de 196.4 kg de consumo anual per cápita (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2016) o de 138.45 kg según FIRA (2016). Los estados de la República que son los principales productores del grano son: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, México, Guanajuato (FIRA, 2016; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2017a).

A pesar del alto consumo de este grano por los mexicanos y de que el país es centro de origen de la planta, la realidad es que la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda de más de 40 millones de toneladas (FIRA, 2019). Para el año 2018 el consumo nacional aparente fue de 43.7 millones de toneladas, de las cuales más del 60% correspondió a maíz blanco, del cual se debió importar más de un millón de toneladas. Por otro lado, fue necesario importar el 76 % de maíz amarillo (FIRA, 2019).

Para conseguir cubrir la demanda se lleva a cabo el intercambio comercial con diferentes naciones, con Estados Unidos como principal origen, el cual provee el 95 % de este cereal (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de los Mercados Agropecuarios [ASERCA], 2020). México es en la actualidad el mayor importador mundial de grano de maíz; tan sólo para el 2020 se prevé una importación record de 18 millones de toneladas, un 12.5 % más que el 2017 (González, 2020).

En los Valles Altos de México sólo en el 6 % de la superficie cultivada con maíz se emplean semillas certificadas (González *et al.*, 2008 (como se cita en Virgen *et al.*, 2016)). Es importante considerar que en México más del 90 % de los productores de maíz poseen superficies menores a las cinco hectáreas y estos aportan más de la mitad de la producción total, por lo tanto, si los pequeños productores tuvieran mayor acceso a insumos que pudieran aumentar sus rendimientos, como las semillas certificadas, el panorama con respecto a la producción de maíz sería muy distinto. Virgen *et al.* (2016) refieren que en esta región existe la necesidad de disponer de variedades de maíz con alto potencial productivo y competitivo frente a las ya existentes, para poder así aumentar la producción de maíz de grano blanco y contribuir positivamente al incremento de los ingresos económicos de los productores de la región.

Dentro de los aspectos considerados para realizar una planeación oportuna de la cosecha está el conocer el momento en que una variedad alcanza la madurez fisiológica, entendida ésta como el momento en el que se logra la máxima acumulación de materia seca y el porcentaje de humedad en el grano se encuentra alrededor del 35 % (Copeland y McDonald, 2001; Llanos, 1984; Endicott *et al.*, 2015).

Jugenheimer (1981) reporta diversos criterios para medir la madurez fisiológica utilizados por diferentes investigadores, entre ellos están: la suma de unidades calor, el

porcentaje de humedad, días posteriores a la floración femenina y la aparición de la capa negra del grano.

Esta última es utilizada ampliamente como indicador de madurez fisiológica y se presenta cuando el grano ha terminado de transformar en almidón y proteína sus sustancias de reserva y las células especializadas del pedicelo que unen al grano con el zuro pierden su integridad y colapsan y hacen que se forme una capa de abscisión de color marrón a negra en la parte basal del grano, conocida en inglés por el nombre de “black-layer” o capa negra. En ese momento el contenido de humedad del grano se encuentra en un rango que va del 30 al 35 % (Llanos, 1984; Endicott *et al.*, 2015).

La generación de materiales mejorados adaptados a las condiciones que prevalecen en los Valles Altos de México debe ser una meta compartida entre las diversas instituciones públicas de investigación vinculadas al sector agrícola. Particularmente la Carrera de Ingeniería Agrícola de la UNAM, desde 1985, mediante el programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de Maíz y en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha estado participando en la formación de nuevos genotipos de maíz grano blanco con características ventajosas para la región de Valles Altos del país. Producto de estos trabajos, se permitió en los últimos años la generación de nuevos híbridos de maíz; algunos de los cuales se encuentran en etapa previa a la liberación comercial.

1.1. Objetivo general

La presente investigación tuvo como objetivo determinar para 10 nuevos híbridos de maíz de grano blanco de la UNAM e INIFAP, el número de días desde la siembra hasta la formación de la capa negra con el fin de establecer el periodo en el que alcanzan la madurez fisiológica, así como determinar su capacidad productiva, evaluándolos en dos ambientes y dos fechas de cosecha en los Valles Altos de México

1.1.1. Objetivos particulares

- ❖ Determinar en días el tiempo en que los híbridos de maíz (IA424AEC x IA249) x MIA46, (IA446AEC x IA422) x MIA46, Atziri Puma, Ixim Puma, (IA424AEC x IA249) x MIA45, Tsiri Puma, H-47 AE, Cuxi Puma, Tlaoli Puma y H-49 AE

alcanzan su madurez fisiológica con base al porcentaje de humedad en el grano, porcentaje de capa negra y unidades calor.

- ❖ Establecer la relación existente entre el porcentaje de capa negra, el porcentaje de humedad y las unidades calor como índice de madurez fisiológica en los híbridos de maíz en evaluación.
- ❖ Determinar la productividad de los híbridos de maíz en dos localidades.

2.2.1. Hipótesis

- ❖ Los híbridos en evaluación alcanzan su madurez fisiológica desde la primera fecha de cosecha, determinada por la humedad del grano cercana a 35 %, además de presentar menor humedad de grano en la segunda fecha de cosecha.
- ❖ Los híbridos en evaluación, además de alcanzar su madurez fisiológica en la primera y segunda fecha de cosecha, presentan mayor rendimiento de grano en la segunda fecha de cosecha debido a que cuentan con mayor posibilidad de completar su productividad.
- ❖ Al menos un híbrido experimental es estadísticamente superior en rendimiento con respecto a los híbridos comerciales ya liberados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La utilización e importancia del maíz en México

México es uno de los más importantes países consumidores de maíz, con una gran tradición en este cultivo y un fuerte arraigo del producto como base de la alimentación de la población (Llanos, 1984). Este cereal ocupa el sitio más importante dentro de la canasta alimenticia básica de la población mexicana donde el consumo per cápita por año de maíz blanco es alrededor de 196.4 kg, principalmente en tortillas (SAGARPA, 2016). Esto representa el 20.9 % del gasto total en alimentos, bebidas y tabaco realizado por las familias mexicanas (SAGARPA, 2016). Lo anterior demuestra su alta importancia social, cultural y económica.

De acuerdo a FIRA, 2019 el año 2018 cerró con una producción nacional de 27.2 millones de toneladas: el 86.7 % correspondió a maíz blanco, 12.9 % a maíz amarillo y el restante 0.4 % a otros tipos de (azul, pozolero y de color).

Este grano tiene numerosas y diversas aplicaciones alimentarias, así como no alimentarias, es una importante fuente de materia prima para producir edulcorantes, aceite, alcohol, dextrinas, jarabe y almidón; este último tiene aportes energéticos importantes para los seres humanos y es un proveedor de materias primas para la industria alimenticia, tanto humana como pecuaria (Grande y Orozco, 2013).

2.2. Valles Altos de la Mesa Central de México

La región de los Valles Altos de la Mesa Central de México comprende los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Morelos, Guanajuato, Distrito Federal y Estado de México ubicados en una región que va de los 2,200 msnm a los 2,600 msnm (Virgen *et al.*, 2016).

En esta área ecológica se cosecharon en 2017 alrededor de dos millones de hectáreas de maíz grano, con un rendimiento medio de 3.5 t ha⁻¹, misma área que representa el 27,4 % de la superficie nacional sembrada con maíz (SIAP, 2017a). Cerca del 50 % de dicha extensión establecida con esta especie se ubica en zonas de riego y/o buen temporal (700 a 800 mm) (Turrent, 1994 (como se cita en Ávila *et al.*, 2009)). Tadeo *et al.* (2015)

mencionan que en esta región hay cerca de 300 mil hectáreas con humedad residual, punta de riego y buen temporal, donde el rendimiento promedio es de 3.5 t ha⁻¹ de grano y donde se podrían sembrar híbridos que incrementarían el rendimiento a 6.0 t ha⁻¹. Torres *et al.* (2011) indican que tan sólo en los Valles Altos Centrales de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala existe el potencial para sembrar maíz en tres millones de hectáreas.

En la mencionada región ecológica los factores que principalmente limitan la producción de este cereal, son las temperaturas bajas y las precipitaciones escasas, por lo que los genotipos a cultivarse deben contar con características favorables que superen estas características climáticas (Beck, 2001; Nava *et al.*, 2002 (como se cita en Torres *et al.*, 2011)).

En los Valles Altos sobresale por su importancia el Estado de México, ya que anualmente se establecen alrededor de 600,000 ha con maíz, 80 % se cultivan bajo condiciones de temporal y el resto en punta de riego, con un rendimiento medio estatal de 3.7 t ha⁻¹, por lo que en la entidad se producen alrededor de dos millones de toneladas de esta gramínea (Ávila *et al.*, 2009).

La producción por unidad de superficie es baja y se requiere incrementarla, pues cada vez la superficie para el cultivo es menor y la demanda aumenta. Una alternativa es utilizar semilla de calidad de variedades mejoradas con características agronómicas y productividad sobresalientes para condiciones de temporal y riego adaptadas a esta región.

Torres *et al.*, (2011) consideran que es factible incrementar el rendimiento en la zona de los Valles Altos, sembrando híbridos trilineales de mayor producción y estabilidad y con características agronómicas que les otorguen eficiencia en el uso de fertilizantes y del agua en altas densidades de población.

2.3. Generalidades del maíz

2.3.1. Origen y aspectos importantes

Su origen, domesticación y dispersión a partir del teocintle (*Zea mays*, ssp. *parviglumis*), su ancestro silvestre más directo, datan de hace cerca de 10,000 años. De las 220 razas conocidas en el mundo, México cuenta con 64. El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a

la familia de las gramíneas, y tiene por origen a México y a América Central, se distribuye desde los 50° LN a 40° LS y posee una amplia adaptación; regiones tropicales, subtropicales y templadas (González, 1984 (como se cita en Ruíz *et al.* 2013)). Es de tipo fotosintético C₄. El ciclo de madurez es de hasta 80 días en variedades precoces, y hasta 200 días en las tardías; las variedades que presentan mayor rendimiento se encuentran en un ciclo de 100 a 140 días (Santacruz, 2007 (como se cita en Ruíz *et al.* 2013)).

2.3.2. Descripción de la planta

El sistema radicular se caracteriza por poseer raíces adventicias, la cuales inician su desarrollo a partir del primer nudo en el extremo del mesocótilo; estas raíces se desarrollan en una red espesa de raíces fibrosas que complementan al sistema inicial de raíces. El sistema de raíces adventicias es el principal sistema de fijación de la planta, y además absorbe agua y nutrientes (Deras, 2010).

El tallo de la planta es robusto, formado por nudos y entrenudos más o menos distantes; presenta de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadoras de 4 a 10 cm de ancho por 35 a 50 cm de longitud; tienen borde áspero, finamente ciliado y algo ondulado. Desde el punto donde nace el pedúnculo que sostiene la mazorca, la sección del tallo es circular hasta la panícula o inflorescencia masculina (Deras, 2010).

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son afilados y cortantes (CIBIOGEM, s.f.)

El maíz es normalmente monoico, con inflorescencia terminal estaminada (panoja) o flor masculina que puede producir de 20 a 25 millones de granos de polen (SAGARPA, 2016); y flores femeninas pistiladas, ubicadas en yemas laterales (mazorcas); así, el maíz produce su rendimiento económico (grano) en ramificaciones laterales. Como resultado de esta separación de mazorca y panoja, y del fenómeno llamado protrandia en la floración, el maíz es una especie alógama (de polinización cruzada) y su tipo de inflorescencia ha permitido la producción de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación (Deras, 2010).

2.3.3. Requerimientos agroecológicos del maíz

En altitudes mayores a los 3 000 msnm disminuyen los rendimientos; siendo la altitud óptima la que va de 0 a 2 500 msnm (Santacruz, 2007 (como se cita en Ruíz *et al.* 2013)).

Tiene un desarrollo óptimo en los suelos franco-limosos, franco-arcillosos y franco-arcillosos-limosos; suelos encharcados por más de 36 horas suelen dañar a las plantas y perjudicar en el rendimiento, suelos con una profundidad mayor o igual a 1 m, con un pH óptimo de 5.5 a 7.5 (Ruíz *et al.*, 2013; SAGARPA, 2016).

La temperatura óptima para su desarrollo es de 18 a 24 °C, la temperatura base o umbral mínima de desarrollo es de 10°C para cultivares que se adaptan a regiones tropicales y subtropicales y máximo de 30°C (Cross y Zuber, 1972; Shaw, 1975; Neild, 1982; Eskridge y Stevens, 1987; Cutforth y Shaykewich, 1989 (como se cita en Ruíz *et al.*, 2013)) mientras que para genotipos que se adapten a zonas templadas y de valles altos el umbral mínimo es alrededor de 7 °C y máximo de 27 °C (Hernández y Carballo, 1984; Narwal, 1986 (como se cita en Ruíz *et al.*, 2013). Espinosa *et al.*, (2015) indican que la temperatura base para maíz en la región de Valles Altos es de 10 °C. Sin embargo, la temperatura base varía entre razas de maíz, las cuales van desde los 2 °C hasta los 9.5 °C. Las áreas de mayor producción de maíz están donde las isotermas de los meses más cálidos varían de 21 a 27 °C y un periodo libre de heladas de 120 a 180 días (Ruíz *et al.*, 2013).

Requiere una precipitación media anual de 700 a 1,300 mm (SAGARPA, 2016) y de la siembra a la madurez de 500 a 800 mm; dependiendo de la variedad y del clima (Ruíz *et al.*, 2013). Los mismos autores afirman que los periodos críticos por necesidad de agua son: la germinación, primeras tres semanas de desarrollo, el periodo comprendido entre 15 días antes hasta 30 días después de la floración y el llenado del grano.

Bajo condiciones climáticas adecuadas o mediante el aporte del riego, el maíz es el cereal más productivo y la rentabilidad aumenta cuando se utilizan cultivares mejorados en condiciones favorables y manejo adecuado.

2.4. Variedades mejoradas de maíz

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. (...) La obtención de una nueva variedad implica de 12 a 15 años de trabajo de fitomejoradores (Espinosa *et al.*, 2009, p.120).

Con la aplicación de recomendaciones tecnológicas y un mayor uso de variedades mejoradas se podrían elevar los rendimientos de maíz, por lo cual la adopción de semilla mejorada se presenta como una alternativa para elevar el rendimiento y rentabilidad del cultivo en un corto plazo (Virgen *et al.*, 2016).

2.4.1. Híbrido de tres líneas

Estos resultan de la cruce de un híbrido simple por una línea pura $(A \times B) \times (C)$.

En teoría los híbridos de tres líneas son menos productivos que los híbridos simples, sin embargo, los de dos líneas presentan mayor interacción genotipo-ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido que también su producción de semilla es más costosa (Torres *et al.*, 2011).

A continuación, se describen los cinco híbridos trilineales utilizados como referencia para este trabajo:

2.4.2. Tlaoli Puma

Híbrido trilineal de grano blanco semidentado, con adaptación a Valles Altos. Es de ciclo intermedio, su floración masculina aparece a los 87 días y la femenina a los 89 días, en altitudes de 2,250 msnm. Llega a madurez fisiológica entre los 166-169 días. Se puede cortar, amogotar (secado en campo) y posteriormente efectuar la pizca si esta labor se hace manualmente, en cambio con maquinaria se puede cortar a los 181 días con cosechadora mecánica. Su rendimiento potencial es de 11.5 ton ha⁻¹. Su uso es recomendado en

humedad residual, punta de riego, riego completo y buena humedad en los Valles Altos, 2,200 a 2,600 msnm en localidades ubicadas en estas altitudes (INIFAP, 2017a).

2.4.3. H-49 AE

Híbrido trilineal con esquema de androesterilidad en sus progenitores para Valles Altos integrado por las líneas M56 fértil y M56AE androestéril isogenética generadas por el INIFAP en colaboración con la UNAM. M58 y M57 se generaron en INIFAP, de germoplasma de Valles Altos y la segunda con fuente del CIMMYT. Su rendimiento varía entre 4.5 y 12.5 t ha⁻¹ a través de localidades del Estado de México y Tlaxcala, el grano es blanco y semidentado adecuado para la industria de la masa y la tortilla, de ciclo intermedio con 165 días a madurez fisiológica, con adaptación a altitud de 2,200 a 2,600 msnm. Tiene número de registro MAZ-1676-181115 en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) y título de obtentor 1532, con vigencia hasta junio de 2031 (INIFAP, 2017b).

2.4.4. Atziri Puma

Híbrido trilineal de grano blanco semidentado con adaptación a Valles Altos. Es de ciclo intermedio, su floración masculina aparece a los 86 días y la femenina a los 88 días, en altitudes de 2,250 msnm. Llega a madurez fisiológica a los 164-167 días; se puede cortar a los 179 días con cosechadora mecánica. Su rendimiento potencial es de 10.5 t ha⁻¹ (INIFAP, 2017c).

2.4.5. H-47 AE

Híbrido trilineal, de grano blanco y dentado, con adaptación a Valles Altos en altitudes de 2,200 a 2,600 msnm, bajo condiciones de riego, punta de riego y humedad residual. Es un híbrido de madurez intermedia; a una altitud de 2,250 m alcanza su floración masculina a los 86 días y la femenina a los 88 días. Llega a madurez fisiológica a los 156 días, momento en el cual se puede cortar, amogotar y posteriormente pizarcar; si la cosecha es mecanizada se puede cortar a los 175 días. Presenta una altura de planta de 245 a 273 cm y una altura de mazorca de 135 a 176 cm. Es resistente al acame de raíz y de tallo (4.5 a 10 % en ambos casos) y a la roya (*Puccinia sorghi*). Su rendimiento medio de grano es de 7.9 t ha⁻¹ a una densidad de 65 mil plantas ha⁻¹ (Espinosa *et al.*, 2018).

2.4.6. Tsíri Puma

Híbrido trilineal, de grano blanco y textura semidentada, con adaptación favorable a Valles Altos (de 2,200 a 2,600 msnm); sin embargo, prospera bien desde 1,900 a 2,600 msnm. En fechas de siembra del 15 de mayo al 20 de abril, con densidad de población de 65,000 plantas ha⁻¹, es de madurez intermedia ya que su floración masculina ocurre a los 84 días y la femenina a los 86 días. Llega a madurez fisiológica a los 161 días, después de lo cual se puede cortar y amogotar para luego efectuar la pizca manual; de ser el caso, la cosecha mecánica puede efectuarse a los 175 días. La altura de planta varía de 255 a 270 cm y la de mazorca de 127 a 140 cm; la longitud de mazorca es de 16.5 cm, con 16 hileras y 32 granos por hilera; y su relación grano/mazorca es de 86 %. Es resistente al acame de raíz y tallo, y a las enfermedades fungosas de planta y mazorca causadas por los géneros *Puccinia* y *Ustilago*. Su rendimiento promedio de grano es de 8.5 t ha⁻¹ (Tadeo *et al.*, 2016).

2.5. Fenología del maíz

El desarrollo del cultivo consiste en una sucesión obligatoria de etapas o fases dadas en un orden riguroso e irreversible, es un fenómeno puramente cualitativo (Fassio *et al.*, 1998). Se denomina ciclo de desarrollo al conjunto de fases o etapas fenológicas que van desde la germinación de la semilla hasta la formación del fruto. Para poder establecer cuando se alcanza una etapa fenológica específica, al menos el 50 % de las plantas deben de presentar las características correspondientes a esa fase (CIBIOGEM, s.f.; Tadeo *et al.*, 2010).

El ciclo de desarrollo comprende dos etapas bien definidas; desarrollo vegetativo y desarrollo reproductivo, donde el inicio y fin de cada una de estas estará determinado por la interacción del cultivar con las condiciones agroclimáticas que prevalezcan durante el desarrollo del cultivo. Durante la duración de estas etapas fenológicas existen periodos muy cortos que resultan críticos, ya que cualquier aspecto agrometeorológico negativo repercutirá directamente en el rendimiento del cultivo.

En la Figura 1 se mencionan brevemente cada una de las etapas que constituyen el ciclo de desarrollo del maíz.

ESTADIOS VEGETATIVOS	
<i>Crecimiento de la plántula y crecimiento vegetativo</i>	
Etapa	Características
VE	Emergencia; el coleóptilo emerge de la superficie del suelo
V1	Primera hoja; es visible el cuello de la primera hoja
V2	Segunda hoja; es visible el cuello de la segunda hoja
Vn...	Es visible el cuello de la hoja número “n”
VT	Panojamiento; es completamente visible la última rama de la panícula
ESTADIOS REPRODUCTIVOS	
<i>Floración y fecundación, llenado de grano y madurez</i>	
Etapa	Características
R0	Antesis o floración masculina; el polen es liberado
R1	Floración femenina; son visibles los estigmas
R2	Etapa de ampolla; las sustancias de reserva se encuentran en fase líquida y se puede ver el embrión
R3	Etapa lechosa; la sustancia de reserva de los granos tiene un aspecto líquido lechoso de color blanco
R4	Etapa masosa: los granos se llenan con una pasta blanca y el embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano
R5	Etapa dentada; la parte superior de los granos se llena con almidón
R6	Madurez fisiológica; una capa negra es visible en la base del grano, la humedad del grano es generalmente de alrededor del 35 %

Figura 1. Estadios reproductivos y vegetativos de una planta de maíz.
Fuente: Adaptado de CIBIOGEM (s.f.) y Fassio *et al.* (1998).

2.5.1. Etapa R6 o Madurez fisiológica

Dentro de los aspectos considerados para realizar una planeación oportuna de la cosecha está el de conocer el momento en que una variedad alcanza la madurez fisiológica, la cual se define cuando todos los granos del jilote han alcanzado su máximo peso seco o máxima acumulación de materia seca y se forma una abscisión de color marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca (punto negro o capa negra). Esta abscisión es un buen indicador de la máxima acumulación de materia seca y señala el final del crecimiento del grano (Fassio *et al.*, 1998).

2.6. Determinación de la madurez fisiológica

Jugenheimer (1985) reporta diversos criterios para medir la madurez fisiológica utilizados por diferentes investigadores, entre ellos: la suma de los grados calor de los días de crecimiento o la suma de unidades calor y el número de días desde la siembra o de la emergencia hasta la formación de la capa negra del grano, así como el porcentaje de humedad en el grano.

2.6.1. Unidades calor

Gilmore y Rogers, 1985 (como se cita en Endicott *et al.*, 2015) demostraron que para que el maíz pueda pasar de una etapa de desarrollo a otra requiere de cierta cantidad de calor acumulado.

Actualmente se conocen varios métodos para calcular el calor acumulado o unidades calor, el más común es el método residual clásico (Endicott, *et al.*, 2015; Tadeo *et al.*, 2015). Este método emplea las temperaturas medias diarias registradas durante el ciclo del cultivo, a las cuales se les va restando la temperatura base del cultivar en cuestión, entendiéndose ésta como la temperatura mínima crítica donde el crecimiento será casi o completamente nulo.

Para genotipos de maíz que se adapten a zonas templadas y de valles altos el umbral mínimo es alrededor de 10 °C (Tadeo *et al.*, 2015) y el máximo de 27 °C; por debajo de la temperatura mínima o por encima de la máxima habrá poco o ningún crecimiento (Hernández y Carballo, 1984; Narwal, 1986 (como se cita en Ruíz, 2013)).

El método residual clásico emplea la fórmula siguiente:

$$UCA = \sum(T - Tb)$$

Donde:

T= temperatura media diaria

Tb= temperatura base para maíz en zonas de Valles Altos (10 °C)

2.6.2. Capa negra

Una vez que el grano ha terminado de transformar en almidón y proteína sus sustancias de reserva, las células en la punta del grano pierden su integridad y caen y hacen que se forme una capa de abscisión de color marrón a negra en su parte basal, conocida en inglés por el nombre de “black-layer” o capa negra. En ese momento el contenido de humedad del grano alcanza el 30-35 %. Una vez que se forma la capa negra, el almidón y la humedad no pueden ingresar o salir más del grano, con la excepción de la pérdida de humedad a través de la evaporación (Llanos, 1984; Endicott *et al.*, 2015).

La capa negra facilita a cualquiera la determinación de la madurez fisiológica. Esta es una medición más precisa del crecimiento máximo que la humedad o los días posteriores a la floración femenina (Jugenheimer, 1981).

2.6.3. Porcentaje de humedad

El promedio de la humedad de grano en la fase de madurez fisiológica se ubica entre 30 y 35 %; los granos se consideran maduros fisiológicamente y han alcanzado su peso seco máximo. Sin embargo, esto puede variar entre cultivares y condiciones ambientales. Este porcentaje de humedad será diferente al requerido en la madurez comercial, ya que para ésta se necesita de un porcentaje cercano al 14 %; humedad en el grano que permite la cosecha mecanizada, ya que valores por debajo o encima provocarían en el proceso de cosecha daño mecánico en la semilla o grano (Llanos, 1984; Fassio *et al.*, 1998; Endicott *et al.*, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y descripción de los sitios experimentales

La fase de campo se desarrolló en el ciclo primavera-verano del 2018 bajo condiciones de temporal con punta de riego en dos ambientes distintos, ambos pertenecientes al Estado de México, el primero corresponde al municipio de Cuautitlán Izcalli en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FESC, UNAM) y el segundo al municipio de Texcoco de Mora. A continuación, se detallan sus características:

3.1.1. Localidad FESC, UNAM

3.1.1.1. Localización

El ensayo se estableció en la parcela número siete del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la FESC, UNAM, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, ubicado entre las coordenadas 19°41'48.76" de latitud norte y 99°11'35.9" longitud oeste, a una altitud de 2,252 msnm.

3.1.1.2. Clima

El clima que prevalece en esta localidad se clasifica como C (w0) (w) b (i") (García, 2004 (como se cita en Tadeo *et al.*, 2015); templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los templados subhúmedos, con un régimen de lluvia en verano y menos del 5 % de lluvias en invierno, presenta poca oscilación térmica (García, 2004). Una temperatura media normal de 15.8 °C, una máxima de 23.3 °C y una mínima de 8.4 °C, siendo junio el mes más cálido y enero el más frío y una precipitación media anual de 682.1 mm, donde julio es el mes con mayor precipitación (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2019a).

En la figura 2 se muestra la estación de crecimiento para la localidad FESC, UNAM la cual fue elaborada mediante el software New LocClim 1.10, creado por la FAO en el 2002, este programa provee estimaciones medias de las condiciones climáticas de una gran cantidad de localidades; también permite la visualización de la estación de crecimiento de cada localidad (*LocClim*, 2002).

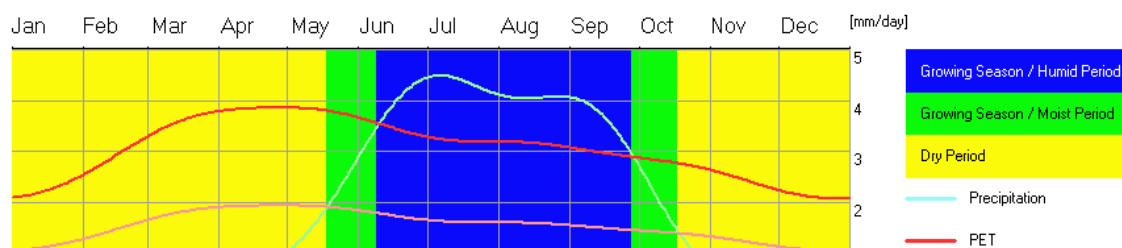


Figura 2. Estación de crecimiento para la localidad FESC, UNAM, Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Fuente: Elaborada con el software LocClim (2002).

De acuerdo a la figura anterior, el periodo húmedo (establecimiento del cultivo) en la FESC, UNAM comienza el 18 de mayo y finaliza el 17 de octubre con una duración de 153 días. En promedio durante este periodo se registran las siguientes temperaturas: una media de 16.7 °C, una máxima de 23.7 °C y una mínima de 11.8 °C, así como una precipitación media de 3.6 mm por día. El periodo de máxima precipitación (periodo donde la precipitación supera la evapotranspiración) inicia el 9 de junio y finaliza el 27 de septiembre con una duración de 110 días, donde se alcanzan precipitaciones promedio de hasta 4.1 mm por día. En el periodo de desarrollo del experimento se registró un total de 706.1 mm de precipitación (180 días).

3.1.1.3. Suelo

Los suelos son de tipo vertisol pélico (Vp), caracterizados por ser de textura fina y arcillosa; son suelos pesados, difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan (López *et al.*, 2017). Pueden ser impermeables y formar grietas profundas cuando están secos; con un pH de 6 (Gardi *et al.*, 2014).

3.1.2. Localidad Texcoco

3.1.2.1. Localización

La parcela experimental se ubicó en Huexotla, en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, ubicado entre las coordenadas 19°29'34.82" de latitud norte y 98°54'23.53" de longitud oeste, a una altitud de 2,250 msnm.

3.1.2.2. Clima

El clima que prevalece en esta localidad se clasifica como C (Wo) (w) b (i) g (Martínez *et al.*, 2017); templado con lluvias en verano, el más seco de los templados subhúmedos, con veranos frescos y prolongados con un régimen de lluvia en verano y menos del 5 % de lluvias en invierno, presenta poca oscilación térmica (García, 2004). Una temperatura media normal de 17.2 °C, una máxima de 26.1 °C y una mínima de 8.2 °C, siendo mayo el mes más cálido y enero el más frío y una precipitación media anual de 598.6 mm, donde julio es el mes con mayor precipitación (SMN, 2019 b).

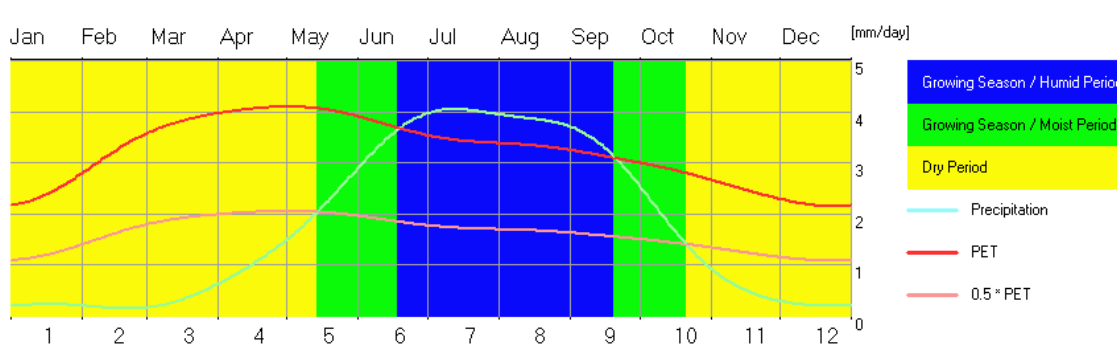


Figura 3. Estación de crecimiento para la localidad Huexotla, Texcoco de Mora, Estado de México. Fuente: Elaborada con el software LocClim (2002).

De acuerdo a la estación de crecimiento (figura 2), el periodo húmedo (establecimiento del cultivo) en Huexotla comienza el 14 de mayo y finaliza el 20 de octubre con una duración de 160 días. En promedio durante este periodo se registran las siguientes temperaturas: una media de 16.6 °C, una máxima de 24.5 °C y una mínima de 8.8 °C, así como una precipitación media de 3.3 mm por día. El periodo de máxima precipitación (periodo donde la precipitación supera la evapotranspiración) inicia el 18 de junio y finaliza el 19 de septiembre con una duración de 94 días, donde se alcanzan precipitaciones promedio de hasta 3.8 mm por día y finalmente se obtuvo una precipitación de 734 mm en el periodo más largo de establecimiento del cultivo.

3.1.2.3. Suelo

Predominan los suelos de tipo cambisol, caracterizados por una textura arcillo-arenosa de origen aluvial y lacustre (López *et al.*, 2017), por lo tanto, altamente inundables, poseen un pH ácido y bajo contenido de materia orgánica (Gardi *et al.*, 2014).

3.2. Material genético

Se evaluaron diez genotipos, los cuales han sido generados por la investigación conjunta entre la UNAM e INIFAP; cinco se encuentran en fase experimental; Cuxi Puma, Ixim Puma, (IA424AEC x IA249) x MIA46, (IA446AEC x IA422) x MIA46, (IA424AEC x IA249) x MIA45, mientras que Atziri Puma, Tsíri Puma, Tlaoli Puma, H-47 AE y H-49 AE, sirvieron como testigos comerciales. Todos estos son híbridos trilineales de grano blanco y están adaptados a las condiciones que prevalecen en la región de los Valles Altos de México.

Tabla 1

Híbridos de maíz, tipo de material, origen de desarrollo y condición de registro, considerados en el estudio para determinar madurez fisiológica, porcentaje de humedad en el grano, porcentaje de capa negra y unidades calor.

HÍBRIDO	CONFORMACIÓN	ORIGEN DE DESARROLLO	SITUACIÓN DE REGISTRO
Cuxi Puma	Trilineal	UNAM/INIFAP	Experimental
Ixim Puma	Trilineal	UNAM/INIFAP	Experimental
(IA424AEC x IA249) x MIA46	Trilineal	UNAM/INIFAP	Experimental
(IA446AEC x IA422) x MIA46	Trilineal	UNAM/INIFAP	Experimental
(IA424AEC x IA249) x MIA45	Trilineal	UNAM/INIFAP	Experimental
Atziri Puma	Trilineal	UNAM/INIFAP	Comercial
Tsíri Puma	Trilineal	UNAM/INIFAP	Comercial
Tlaoli Puma	Trilineal	UNAM/INIFAP	Comercial
H-47 AE	Trilineal	INIFAP/UNAM	Comercial
H-49 AE	Trilineal	INIFAP/UNAM	Comercial

3.3. Manejo agronómico

3.3.1. Preparación del suelo

Se realizó un barbecho, seguido de un paso de arado, dos de rastra, una nivelación y finalmente el surcado.

3.3.2. Siembra

La actividad se efectuó de manera manual a “tapa pie” el 07 de junio en la localidad FESC, UNAM, mientras que en la localidad de Texcoco la siembra se efectuó el 13 de junio. En ambos casos se depositaron dos semillas por mata cada 25 cm. Posterior a la

emergencia de las plántulas se procedió a realizar un aclareo para dejar 30 plantas por surco, para lograr la densidad de población de 75,000 plantas/ha⁻¹, que es la densidad de población recomendada para Valles Altos del Centro de México (Tadeo *et al.*, 2014).

3.3.3. Riego

Se contó con un riego de auxilio al día siguiente de haberse realizado la siembra, para el resto del ciclo ambos ensayos estuvieron bajo condiciones de temporal.

3.3.4. Fertilización

Se empleó la fórmula de fertilización 60-40-00 (urea y fosfato diamónico) en la FESC, UNAM, mientras que en Texcoco se empleó la fórmula 80-40-30 (urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio). Ambas fueron suministradas mecánicamente en su totalidad en la labor del surcado. Dichas fuentes de fertilizantes varían debido a su disponibilidad en el momento y la variante en las dosis se debe principalmente a la diferencia de suelos.

3.3.5. Control de maleza

La primera aplicación de herbicida se efectuó a los 10 días posteriores a la siembra con mochilas aspersores de motor utilizando la siguiente mezcla por hectárea: de 1.5 kg de Gesaprim® Calibre90, 1 litro de Hierbamina® y 1 litro de Sanson® 4 SC. La segunda se realizó a los 40 días posteriores bajo la misma dosis.

3.3.6. Cosecha

En cada localidad se realizaron dos fechas distintas de cosecha, la primera fue a los 165 días después de la siembra (dds) y la segunda a los 180 dds, dicha labor fue realizada de manera manual. Para la localidad de FESC, UNAM las cosechas se realizaron el 16 de noviembre (165 dds) y el 04 de diciembre (180 dds); mientras que para la localidad Texcoco fueron el 21 de noviembre (165 dds) y el 14 de diciembre (180 dds).

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Altura de planta

Se eligieron cinco plantas al azar por unidad experimental, donde se registró la distancia en metros desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga.

3.4.2. Altura de mazorca

Se eligieron las mismas cinco unidades experimentales de donde se tomó la altura de planta; se registró la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

3.4.3. Peso de campo

Se pesaron todas las mazorcas existentes en cada repetición; dato expresado en kilogramos.

3.4.4. Número de hileras por mazorca

Se obtuvo del promedio de hileras presentes en cinco mazorcas elegidas al azar por cada repetición.

3.4.5. Número de granos por hilera

Se obtuvo del promedio de granos por hilera presentes en cinco mazorcas elegidas al azar en cada repetición.

3.4.6. Granos por mazorca

Resultó de la multiplicación del número de hileras por mazorca por el número de granos por hilera, esto en cada repetición.

3.4.7. Porcentaje de humedad

Se eligieron al azar cinco mazorcas por repetición, mismas que fueron desgranadas y se extrajo una muestra de 250 gr para someterse al determinador de humedad Gac 2100® de Dickey-John. Dicha variable se tomó el mismo día de la cosecha.

3.4.8. Porcentaje de grano

Se tomaron cinco mazorcas al azar por repetición, se pesaron, se desgranaron y nuevamente se determinó el peso, pero ahora sin olote; el porcentaje de grano resulta de la siguiente operación:

$$\% \text{ de grano} = \frac{\text{peso de grano (gr)}}{\text{peso de mazorcas (gr)}} * 100$$

3.4.9. Porcentaje de capa negra

De las cinco mazorcas elegidas al azar de cada repetición se tomó una muestra de 100 semillas, mismas a las que se les observó si ya presentaban o no la capa negra; para esto se desprendía el pedicelo del grano. El porcentaje se estableció de acuerdo al número de semillas que presentaron la capa negra, esta variable se tomó el mismo día de la cosecha.

3.4.10. Rendimiento

El rendimiento por hectárea se determinó con la fórmula siguiente:

$$RG = ((PC * \%MS * \%G) * FC) / 8600$$

Donde:

- PC: Peso de campo del total de las mazorcas cosechadas en la parcela, expresado en kilogramos
- %MS: Porcentaje de materia seca calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas.
- %G: Porcentaje de grano obtenido como el cociente entre el peso de grano y el peso de mazorca.
- FC: Factor de conversión a rendimiento por hectárea, que se obtiene de dividir 10,000 m² entre el tamaño de la parcela útil determinado en metros cuadrados.
- 8 600: Constante empleada para estimar el rendimiento con una humedad del grano del grano de 14 %.

3.5. Determinación de Unidades Calor

Para la determinación de las unidades térmicas se recurrió al método residual clásico. La fórmula es la siguiente:

$$UCA = T - Tb$$

Donde:

T: Temperatura media diaria

T_b: Temperatura base para maíz (10 °C)

Los registros de temperatura media diaria para la localidad FESC, UNAM fueron tomados de la estación meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y los correspondientes a Texcoco de la Estación Meteorológica Chapingo.

3.6. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en Bloques Completos al Azar (BCA) constituido por tres repeticiones y un arreglo factorial formado por 10 híbridos, dos fechas de cosecha y dos ambientes de evaluación dando como resultado 60 unidades experimentales. La parcela experimental consistió en un surco de 5.0 m de largo por 0.8 m de ancho, dando un total de 4.0 m² de parcela útil, a una densidad de 75,000 plantas ha⁻¹.

3.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinado donde las fuentes de variación fueron los ambientes, las fechas de cosecha, genotipos, bloques y sus diferentes interacciones. Para cada una de las variables a evaluar se recurrió a una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey, con una probabilidad del 0.05. Esto se procesó con el paquete estadístico S.A.S. versión 9.0 para Windows 10.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadrados medios y significancia estadística

Para el factor de variación ambiente el análisis de varianza indica que hay diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables de rendimiento, floración masculina, altura de mazorca, longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, porcentaje de capa negra y porcentaje de humedad, mientras que las variables floración femenina y altura de planta presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 2).

Para el factor de variación genotipos se obtuvo diferencia significativa para la variable granos por hilera y diferencias altamente significativas para rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta, hileras por mazorca, granos por mazorca y porcentaje de capa negra; este último pudiese indicar diferencias en el tiempo de madurez fisiológica entre los genotipos evaluados (Tabla 2).

El factor de variación de días a cosecha muestra diferencias altamente significativas para porcentaje de capa negra y porcentaje de humedad y diferencia significativa para la variable rendimiento (Tabla 2).

La variable, floración masculina presenta alta significancia para la interacción ambiente por genotipo, mientras que la variable altura de mazorca resulta con diferencia significativa (Tabla 2).

Únicamente las variables de rendimiento y floración masculina presentan diferencia significativa para la interacción genotipo por días a cosecha (Tabla 2).

Para el factor de variación que resulta de la interacción del ambiente por días a cosecha se tiene diferencia altamente significativa para la variable porcentaje de capa negra y diferencia significativa para longitud de mazorca y granos por hilera (Tabla 2).

Finalmente, la interacción de ambientes por genotipos y fechas de cosecha indica diferencia altamente significativa para rendimiento y diferencia significativa para la variable porcentaje de humedad (Tabla 2).

Para la variable rendimiento se tiene una media de 7,513 kg ha⁻¹ y un coeficiente de variación de 13 %, para porcentaje de capa negra una media de 57 % con un coeficiente de variación de 15 % y finalmente para porcentaje de humedad una media de 29 % y un coeficiente de variación de 7 % (Tabla 2). Los coeficientes de variación se encuentran entre los rangos aceptables para este tipo de experimentos (Ramírez, 2020).

Tabla 2

Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en los 10 híbridos en dos ambientes y dos fechas de cosecha para determinar madurez fisiológica, y unidades térmicas en el ciclo primavera-verano del 2018.

FV	GL	REND	FM	FF	AP	AM	LM	HM	GH	GM	%CN	%HUM
AMB	1	11985754**	49**	22*	1025*	7668**	59**	10**	27**	880	12160**	80**
BLO	2	511447	9*	6	87	110	0.2	3	5	483	405**	1
GEN	9	12889304**	58**	41**	632**	671	1	5**	8*	7952**	210**	18**
DC	1	5852967*	8	11	0.4	3	3	0.2	0.01	78	148544**	2017**
AMB x GEN	9	943574	9**	5	237	1141*	1	1	3	1849	101	2
GEN x DC	9	2434937*	5*	3	249	441	1	1	2	2580	126	4
AMB x DC	1	751608	3	0.3	57	1623	7*	0.01	18*	3214	2632**	7
AMB x GEN x DC	9	2691191**	3	2	256	415	1	2	2	2341	159	8*
MEDIA	-	7513	81	83	263	111	16	16	30	491	57	29
CV (%)	-	13	2	2	5	19	6	7	6	9	15	7

Nota: *Significativo ($p \leq 0.05$); **Altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV=factor de variación; GL=grados de libertad; AMB=ambiente; BLO=bloque; GEN=genotipo; DC=días a cosecha; CV= coeficiente de variación; REND=rendimiento; FM=floración masculina; FF=floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; HM=hileras por mazorca; GH=granos por hilera; GM= granos por mazorca; %CN= porcentaje de capa negra; %HUM= porcentaje de humedad.

Comparación de medias para los dos ambientes

En la comparación de medias entre los dos ambientes evaluados para los 10 híbridos, considerando la media de éstos y las dos épocas de cosecha, se definió que el rendimiento estadísticamente más alto lo presentó Texcoco, con una media de 7,829 kg ha⁻¹, mientras que 7,197 kg ha⁻¹ fue la media de rendimiento para el ambiente FESC, UNAM (Tabla 3).

En lo que respecta al porcentaje de humedad, el ambiente FESC, UNAM tuvo la media estadísticamente más alta con un porcentaje del 29 %, mientras que Texcoco presentó una media de 28 % de humedad (Tabla 3).

Del mismo modo, el porcentaje de capa negra estadísticamente superior se presentó en el ambiente de Texcoco con una media de 68 % y 47 % para FESC, UNAM. A pesar de que la media de porcentaje de humedad al momento de la cosecha en ambos ambientes indicaba que ya se había alcanzado la madurez fisiológica, el porcentaje de capa negra no era visible al cien por ciento en ambas localidades (Tabla 3).

Con respecto a la precipitación registrada durante el desarrollo del ensayo, se observó que la localidad de Texcoco presentó 30 mm más en comparación con la segunda localidad evaluada, esto justificaría que la localidad FESC, UNAM obtuviera una media de rendimiento menor (Tabla 3) ya que el volumen de agua captado durante el ciclo de cultivo es altamente determinante en la productividad del maíz. A pesar de que el periodo de máxima precipitación durara 15 días menos en la localidad de Texcoco, esta registró mayor precipitación en el periodo de lluvias.

Para el ambiente de Texcoco se registró la siguiente acumulación de unidades calor; 1,452 para la cosecha a los 165 días después de la siembra (21 de noviembre) y 1,613 para los 180 días después de la siembra, efectuada el 04 de diciembre. Mientras que, para la FESC, UNAM se tuvieron 1,193 unidades calor acumuladas a los 165 días, y 1,267 a los 180 días.

Tabla 3

Comparación de medias para dos ambientes en diversas variables evaluadas considerando la media de 10 híbridos de Valles Altos y dos épocas de cosecha en el ciclo primavera-verano del 2018.

AMBIENTES	REND	FM	FF	AP	AM	LM	HM	GH	GM	%CN	%HUM
FESC, UNAM	7197 b	81 b	83 b	260 b	119 a	16 b	16.4 a	30 b	494 a	47 b	29 a
Texcoco	7829 a	81 a	84 a	266 a	103 b	17 a	15.8 b	31 a	489 a	68 a	28 b
DSH (0.05)	351	0.5	0.7	5	8	0.4	0.4	0.7	16	3	0.7

Nota: *Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales; REND=rendimiento en kg ha⁻¹; FM=floración masculina en días; FF=floración femenina en días; AP= altura de planta en cm; AM= altura de mazorca en cm; LM= longitud de mazorca en cm HM=hileras por mazorca; GH=granos por hilera; GM=granos por mazorca; %CN= porcentaje de capa negra; %HUM= porcentaje de humedad; DSH=diferencia significativa honesta.

Comparación de medias para las dos fechas de cosecha

En la comparación de medias entre dos fechas de cosecha, se tuvo que en la cosecha a los 180 días después de la siembra los genotipos tuvieron el rendimiento medio estadísticamente más alto con $7,734 \text{ kg ha}^{-1}$, mientras que en la fecha de cosecha a los 165 días mostraron un rendimiento medio de $7,292 \text{ kg ha}^{-1}$, esto considerando los dos ambientes y los diferentes genotipos (Tabla 4). Lo anterior es diferente a lo que reporta Ramírez (2020), en cuyo trabajo se definió que la mejor época de cosecha, considerando la media de los genotipos y localidades de evaluación fue la establecida a los 160 días ($9,182 \text{ kg ha}^{-1}$); donde el mejor híbrido en la mejor época de cosecha (160 días), fue Atziri Puma con $12,404 \text{ kg ha}^{-1}$ y un total de 1,172 unidades calor acumuladas.

El porcentaje de capa negra estadísticamente más alto se presentó a los 180 días después de la siembra, con un valor de 93%, mientras que a los 165 días este fue de 22%, lo cual puede explicarse debido a un mayor tiempo disponible para que se expusiera fisiológicamente la capa negra en el grano. Mientras que lo reportado refiere a que la formación de la capa negra coincide con un 35 % de humedad en los granos, para este caso se difiere, ya que la cosecha a los 165 días posteriores a la siembra ya presentaba valores en humedad de semilla por debajo del 35 % (Tabla 4).

Finalmente, a los 180 días se obtuvo el porcentaje de humedad de 24 %, estadísticamente más bajo en contraste con un 33 % de humedad para los 165 días (Tabla 4).

Esta diferencia significativa en el rendimiento (Tabla 4), indica que se continuaba acumulando materia seca aún después de los 165 días después de la siembra, es decir, aún no se alcanzaba por completo la madurez fisiológica. Esto se confirma con el hecho de que a los 180 días ya casi se presentaba en su totalidad la capa negra y la humedad en el grano estaba muy por debajo del umbral indicado para madurez fisiológica; 35% (Copeland y McDonald, 2001; Endicott *et al.*, 2015).

Tabla 4

Comparación de medias para dos fechas de cosecha (165 y 180 días después de la siembra) en diversas variables evaluadas para Valles Altos de México considerando la media de dos ambientes y diez híbridos de maíz en el ciclo primavera-verano del 2018.

AMBIENTES	REND	FM	FF	AP	AM	LM	HM	GH	GM	%CN	%HUM
165	7292 b	82 a	84 a	263 a	111 a	17 a	16 a	30 a	491 a	22 b	33 a
180	7734 a	81 a	83 a	263 a	111 a	17 a	16 a	30 a	492 a	93 a	24 b
DSH (0.05)	351	0.5	0.7	5	8	0.3	0.4	0.7	16	3	0.7

Nota: *Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales; REND=rendimiento en kg ha⁻¹; FM=floración masculina en días; FF=floración femenina en días; AP= altura de planta en cm; AM= altura de mazorca en cm; LM= longitud de mazorca en cm; HM=hileras por mazorca; GH=granos por hilera; GM=granos por mazorca; %CN= porcentaje de capa negra; %HUM= porcentaje de humedad; DSH=diferencia significativa honesta.

Comparación de medias para los 10 híbridos de maíz

La comparación de medias para los 10 híbridos arrojó cinco grupos de significancia (Tabla 5).

En la comparación de medias entre híbridos (Tabla 5), la media de rendimiento estadísticamente más alta para genotipos considerando la media de los dos ambientes y las dos épocas de cosecha, correspondió al híbrido trilineal experimental (IA424AEC x IA249) x MIA46, con 9,434 kg ha⁻¹ seguido del híbrido comercial Atziri Puma con 8,640 kg ha⁻¹, el cual, además de ser estadísticamente igual al primero, lo es también para el genotipo experimental (IA446AEC x IA422) x MIA46 (8,054 kg ha⁻¹); lo anterior es importante porque indica que el rendimiento más elevado le correspondió a un nuevo híbrido en etapa experimental, que supera estadísticamente al híbrido comercial Atziri Puma, liberado por la UNAM, el cual se registró en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) y que además de contar con Título de Obtentor se encuentra inscrito en la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV). La superioridad estadística en rendimiento del híbrido experimental, que superó al testigo, es un argumento para proponer su liberación e inscribirlo ante el CNVV y en consecuencia tramitar el Título de Obtentor.

Lo que se señala en el párrafo anterior, permite aceptar una de las hipótesis específicas de este trabajo, la cual refiere a que al menos un híbrido experimental es estadísticamente superior en rendimiento con respecto a los híbridos comerciales ya liberados.

Para el genotipo experimental (IA446AEC x IA422) x MIA46, el cual se ubicó en tercer lugar, también se podría justificar su liberación comercial, debido a que su rendimiento fue estadísticamente similar al testigo comercial Atziri Puma, pero superior a otros híbridos comerciales como H-47 AE, Tlaoli Puma y H-49 AE (Tadeo *et al.*, 2014; Tadeo *et al.*, 2016; Tadeo *et al.*, 2018), lo que le otorga perspectivas de uso comercial.

El menor rendimiento lo mostró el híbrido de maíz Tlaoli Puma (Tabla 5), con 6,307 kg ha⁻¹; valor bajo con respecto a lo obtenido por Tadeo *et al.*, (2018) para los mismos ambientes; el rendimiento reportado osciló de 11,400 a 13,000 kg ha⁻¹.

Tabla 5

Comparación de medias para 10 híbridos de maíz en diversas variables evaluadas considerando la media de dos épocas de cosecha y dos ambientes de Valles Altos de México en el ciclo primavera-verano del 2018.

GENOTIPOS	REND	FM	FF	AP	AM	LM	HM	GH	GM	%CN	%HUM
(IA424AEC x IA249) x MIA46	9434 a	79 de	82 c	256 ab	117 a	16 a	17 ab	31 ab	524 ab	53 bc	29 abc
Atziri Puma	8640 ab	80 de	81 c	257 ab	110 a	16 a	16 abc	32 a	515 ab	56 abc	29 abc
(IA446AEC x IA422) x MIA46	8054 bc	83 ab	85 ab	257 ab	111 a	16 a	17 a	31 ab	533 a	55 abc	29 ab
H-49 AE	7716 bcd	79 de	82 c	289 ab	102 a	17 a	16 bc	30 ab	473 b	57 abc	27 bc
(IA424AEC x IA249) x MIA45	7695 bcd	85 a	86 a	253 b	104 a	17 a	15 c	30 ab	466 b	52 c	31 a
Tsiri Puma	7400 bcde	78 e	81 c	274 a	116 a	16 a	16 bc	30 ab	469 b	64 ab	27 c
Cuxi Puma	7190 cde	84 a	85 ab	264 ab	103 a	16 a	17 abc	30 ab	499 ab	57 abc	29 abc
H-47 AE	6503 de	81 dc	83 bc	262 ab	119 a	17 a	16 abc	30 ab	496 ab	65 a	28 bc
Tlaoli Puma	6306 e	82 bc	85 ab	274 a	123 a	16 a	16 bc	30 ab	470 b	59 abc	29 abc
Ixim Puma	6191 e	82 bc	84 ab	262 ab	106 a	16 a	16 bc	29 b	469 b	5 abc	29 abc
DSH (0.05)	1283	2	2	18	28	2.	1	2	59	11	2.7

Nota: *Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales; REND=rendimiento en kg ha⁻¹; FM=floración masculina en días; FF=floración femenina en días; AP= altura de planta en cm; AM= altura de mazorca en cm; LM= longitud de mazorca en cm; HM=hileras por mazorca; GH=granos por hilera; GM=granos por mazorca; %CN= porcentaje de capa negra; %HUM= porcentaje de humedad; DSH=diferencia significativa honesta.

Gráfico del comportamiento del rendimiento de los 10 híbridos de maíz

En la figura 4, se presenta el comportamiento de los rendimientos de cada uno de los 10 híbridos de maíz evaluados en las localidades de Texcoco y la FESC, UNAM, así como las fechas de cosecha a los 165 días y 180 días después de la siembra, cuyos datos, muestran que el genotipo que mejor se expresó en cuanto a rendimiento dentro de los dos ambientes, sobre todo en Texcoco, fue el híbrido (IA424AEC x IA249) x MIA46, seguido del híbrido (IA446 AEC x IA442 AEC) x MIA46, ambos híbridos experimentales, mostraron rendimientos altos respecto al híbrido comercial H-47 AE, liberado en años anteriores (Espinosa *et al.*, 2019), lo que constituye una buena perspectiva de los híbridos experimentales.

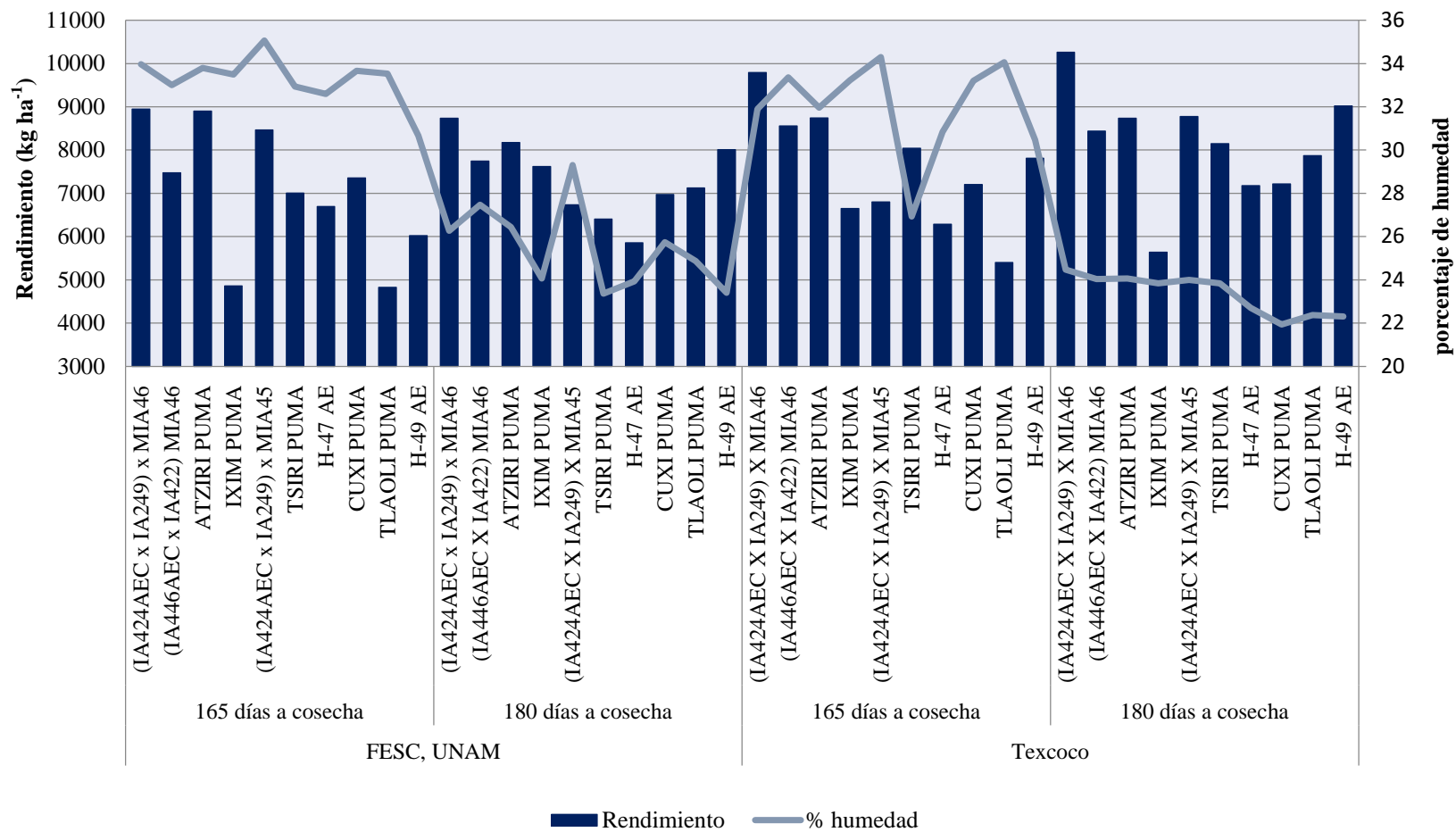


Figura 4. Comportamiento del rendimiento de los 10 híbridos evaluados en dos ambientes y en dos fechas de cosecha en el ciclo primavera – verano del 2018. Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

Dos híbridos trilineales experimentales presentaron rendimientos sobresalientes y con características agronómicas favorables para su uso comercial, registro y liberación.

Los híbridos experimentales trilineales de maíz de grano blanco con los mejores rendimientos fueron el (IA424AEC x IA249) x MIA46 y el (IA446AEC x IA422) x MIA46.

La mejor fecha de cosecha corresponde a los 180 días, ya que mostró una mayor acumulación de materia seca.

El mejor ambiente fue Texcoco, debido a que se presentó un mejor temporal.

El porcentaje de presencia de la capa negra en el grano pudo relacionarse efectivamente con el inicio de la madurez fisiológica; su presencia coincidió con valores menores a 35% de humedad en todos los híbridos.

Es conveniente continuar con la descripción y caracterización varietal de los mejores híbridos para su registro y liberación comercial.

VI. LITERATURA CITADA

- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de los Mercados Agropecuarios (ASERCA). (2020). *Importaciones y exportaciones de maíz* (enero de 2020). Recuperado de https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/ci_ie/2020/Importaciones_exportaciones_maiz_300120.pdf
- Ávila, M., Arellano, J., Virgen, J. y Gámez, A. (2009). H-52 híbrido de maíz para Valles Altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 35(2), 237-240. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a12.pdf>
- CIBIOGEM (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados). (s.f.). *Maíz*. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 2001. Principles of seed science and technology. 4 ed. Burgess Publishing Company. Mineapolis, Minnesota, USA. p. 121–144.
- Deras, H. (2010). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D.,... Carter, P. (2015). *Maíz. Crecimiento y desarrollo*. Recuperado de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Espinosa, A., Tadeo, M., Tinoco, L.E., Martínez, R., Téllez, C., González, I.,... Zamudio, B. (2009a). Épocas de cosecha, productividad y tamaño de semilla con relación al vigor de dos híbridos. *Agricultura Técnica de México*, 35(2), 169-177. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a4.pdf>
- Espinosa, A., Tadeo, M., Zamudio, B., Virgen, J., Turrent, A., Rojas, I.,... Martínez, B. (2018). H-47 AE, híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia*

Mexicana 41 (1), 87 – 89. Recuperado de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-1/11a.pdf>

Espinoza, A., Tadeo, R., Turrent, A., Gómez, N. (2009b). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Revista Ciencias*, 92(octubre-marzo), 118-125. Recuperado de <https://www.revistaciencias.unam.mx/es/41-revistas/revista-ciencias-92-93/209-el-potencial-de-las-variedades-nativas-y-mejoradas-de-maiz.html>

Fassio, A., Carriquiry, A., Tojo, C. y Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología*. Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2844/1/111219240807135855.pdf>

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). (2019). *Panorama Agroalimentario Maíz 2019*. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Ciudad de México, México: UNAM.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz, C., Encina, A.,... Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Recuperado de http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/LAC.pdf

González, S. (21 de enero del 2020). México importará cifra record de maíz este año por la sequía. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/economia/2020/01/21/mexico-importara-cifra-record-de-maiz-este-ano-por-la-sequia-8730.html>

Grande, C.D. y Orozco, B.S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110. Recuperado de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/GuillermoOckham/article/download/604/404/>

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017c). *ATZIRI PUMA: Primer híbrido de maíz de alto rendimiento para Valles Altos de*

México, Producción de semilla utilizando restauración de la fertilidad masculina en sus progenitores. [Folleto].

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017a). *TLAOLI PUMA: Híbrido de maíz de alto rendimiento para Valles Altos de México. Restauración de la fertilidad masculina para producción de semilla.* [Folleto].

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017b). *Tecnología para la producción de semilla certificada del híbrido de maíz H-49 AE.* [Folleto].

Jugenheimer, R. (1981). *Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla.* Illinois, Estados Unidos: LIMUSA.

Llanos, M. (1984). *El maíz. Su cultivo y aprovechamiento.* España: MUNDI-PRENSA.

LocClim (Nº de versión 1.10). (2002). Windows. USA: Agrometeorology Group of the Environment and Natural Resources Service (SDRN). Recuperado de http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp

López, C., Tadeo, M., Espinosa, A., García, J., Benítez, I., Vázquez, M. y Carrillo, J. (2017). Productividad de cruza simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (3), 559-570. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263150932007>

Martínez, B., Tadeo, M., Benítez, I., Vázquez, G., Espinosa, A., Mejía, ... Martínez, F. (2017). Productividad de híbridos no convencionales de maíz de endospermo amarillo para valles altos de México. *Agrociencia*, 51 (6), 635-647. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30252708004>

Ramírez, O. (2020). *Madurez fisiológica de los híbridos de maíz Tsíri Puma, Atzíri Puma y Tlaoli Puma de la UNAM.* (Tesis de pregrado). FESC, UNAM. Cuautitlán, Izcalli, Estado de México.

Ruíz, J., Medina, G., González, I., Flores, H., Ramírez, G., Ortiz, C., Byerly, K. y Martínez, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos.* Jalisco, México: INIFAP.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2016). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Maíz grano blanco y amarillo mexicano*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2017b). *Boletín Balanza disponibilidad-consumo. Maíz blanco*. (abril, 2017). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214365/Bolet_nes_Balanzas_prod_uctos_agropecuarios.pdf
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2017a). *Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo* [Base de datos]. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2019a). *Normales Climatológicas por estado. Cuautitlán Izcalli*. [Base de Datos]. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2019b). *Normales Climatológicas por estado. Chapingo, Texcoco de Mora*. [Base de Datos]. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>
- Tadeo, M., Espinosa, A., Arteaga, I., Trejo, V., Sierra, M., Valdivia, R., y Zamudio, B. (2012). Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1417-1423. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n7/v3n7a10.pdf>
- Tadeo, M., Espinosa, A., Canales, E.I., Arteaga, I., Trejo, V., Sierra, R.,... Zamudio-González, B. (2010). Productividad de híbridos trilineales de maíz de Valles Altos en versión androestéril y fértil. *Unacar Tecnociencia* 4 (2), p. 19-31. Recuperado de http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnocienciajulio_dic10/tema_2_productividad_de_hibridos.pdf

- Tadeo, M., Espinosa, A., López, C., Canales, E. I., Zaragoza, J., Sierra, M. y Gómez, N. O. (2018). ATZIRI PUMA y TLAOLI PUMA nuevos híbridos de maíz blanco con restauración de la fertilidad masculina en la producción de semilla. *Acta Fitogenetica*, 5 (1), 85-85. Recuperado de https://www.somefi.mx/wpcontent/uploads/2018/10/ACTA-5-2018_Texcoco_Colpos.pdf
- Tadeo, M., Espinosa, A., Turrent, A., Zamudio, B., Sierra, M., Gómez, N.,... Virgen, J. (2014). Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 883-891. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500013&lng=es&tlng=es
- Tadeo, M., Zamudio, B., Espinosa, A., Turrent, A., Cárdenas, L., López,... Valdivia, R. (2015). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 33-43. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n1/v6n1a4.pdf>
- Torres, J., Morales, E., González, A., Laguna, A. y Córdova, H. (2011). Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(6), 829-844. Recuperado, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20070934201100060003&lng=es&tlng=es.
- Trueba, A. (2012). *Semillas mexicanas mejoradas de maíz y su potencial productivo*. México: Biblioteca Básica de Agricultura (bba).
- USDA (United States Department of Agriculture). (2018). *World Agricultural Supply and Demand Estimates*. (583 - November 8, 2018). Recuperado de <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>
- Virgen, J., Zepeda, R., Ávila, M.A., Espinosa, A., Arellano, J.L. y Gámez, A.J. (2016). Producción y calidad de semilla de maíz en valles altos de México. *Agronomía*

Mesoamericana, 27(1), 191-206. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/437/43743010019/html/index.html>