



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Madurez fisiológica de los híbridos de maíz Tsíri Puma, Atziri
Puma y Tlaoli Puma de la UNAM**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:

Orlando Ramírez Acuña

ASESOR:

Dra. Margarita Tadeo Robledo

COASESOR:

Dr. Alejandro Espinosa Calderón

Cuautitlán Izcalli, Edo., 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Madurez fisiológica de los híbridos de maíz Tsiri Puma, Atziri Puma y Tiaoli Puma de la UNAM

Que presenta el pasante: ORLANDO RAMÍREZ ACUÑA

Con número de cuenta: 31102393-4 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de diciembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en E. Elva Martínez Holguín	
VOCAL	Dra. Margarita Tadeo Robledo	
SECRETARIO	Dra. Martha Yolanda Quezada Viay	
1er. SUPLENTE	Ing. Karina Yazmine Mora García	
2do. SUPLENTE	M. en C. Consuelo López López	

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

LMCF/ntm*

DEDICATORIAS

A mis padres Juan Ramírez González y Leticia Acuña Hernández, por apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi vida académica y mi vida personal, por siempre corregirme hacia el buen camino y no dejarme llevar hacia malos pasos, por cuidarme cada vez que caigo en enfermedad y por siempre procurar que nunca me falte nada de alimento, cobijo o un techo donde poder llegar. Este trabajo es gracias a ustedes y para ustedes.

A toda mi familia, mi hermano Bruno Iván Ramírez Acuña, a mis tíos que me permitieron iniciar mi primer año en la universidad fuera de casa.

A mis abuelos maternos Reyna Bautista Hernández (NINA) y mi abuelo Emilio Acuña Rojas (TITO), por criarme como si fueran mis padres los primeros años de mi vida y cuidarme siempre hasta la fecha. ¡Gracias por todo!

A mis abuelos paternos (QEPD) Socorro González González y José Ramírez González, que a pesar de ya no estar presentes hoy en día, aun los recuerdo con cariño y afecto.

A todos mis amigos y compañeros, por acompañarme hasta este punto de mi vida y que me permitieron entrar en sus vidas hasta forjar muy buenos lazos de amistad, por todas aquellas aventuras vividas dentro y fuera de la universidad, por todas aquellas personas que se fueron de mi vida y por aquellas que llegaron, ustedes formaron parte de mi carácter y experiencias que nunca olvidare. Disculpen que no los mencione uno por uno pero si los incluyo a todos me saldría más caras las fotocopias. Una disculpa de ante mano.

A mis mejores Amigos Leopoldo Solano Suarez, Gonzalo Eduardo Matías Uraje, José Alberto Guadarrama, a Jorge Estefan Luis Jiménez y a kelvin vega. Sé que siempre podré contar con su apoyo. Muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por formar mi vida académica dentro de sus instalaciones desde la preparatoria hasta concluir la licenciatura. Agradezco la calidad de educación que recibí en todos estos años y la calidad de sus profesores.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por haberme dado la formación de un profesionista como Ingeniero Agrícola y ampliar mis panoramas sobre el campo mexicano.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: IT201618), por proporcionar los recursos económicos para la realización de éste trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada por dos años como Ayudante del Dr. Alejandro Espinosa Calderón, Investigador Nacional Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores.

A mis asesores de tesis, la Dra. Margarita Tadeo Robledo y el Dr. Alejandro Espinosa Calderón por permitirme formar parte de este grandioso equipo de trabajo en mejoramiento genético de maíz y darle seguimiento a mi formación profesional y trabajo de tesis hasta su culminación.

Agradezco a mis sinodales a la M. en E Elva Martínez Holguín, a la Dra. Martha Yolanda Quezada Viay, a la M. en C. Karina Yazmine Mora García y a la M. en C. Consuelo López López por el apoyo recibido en la revisión y evaluación de este trabajo.

A todo el equipo de semillas, un equipo excelente con personas de calidad comprometidas con el trabajo y el estudio. A los ingenieros Agrícolas Israel Arteaga Escamilla, Arturo Chávez Gordillo, Saúl Velasco Macías, al Dr. Enrique Canales Islas, al Dr. Joob Anastasio Zaragoza Esparza, al distinguido Carlos Ortega Romero, José de Jesús Macedo González y Alan Monter por su apoyo, platicas, consejos y buen compañerismo brindados para terminar mi tesis.

CONTENIDO GENERAL

	Página
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos particulares	3
1.2 Hipótesis	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Desarrollo de la planta de maíz y su ciclo de cultivo	5
2.1.1 Etapas vegetativas	5
2.1.2 Etapas reproductivas y desarrollo de grano	7
2.2 Caracteres que afectan el rendimiento de maíz	7
2.2.1 Tasa fotosintética	9
2.2.2 Caracteres vegetativos	9
2.2.3 Caracteres reproductivos	9
2.3 Madurez fisiológica	10
2.3.1 Capa negra	11
2.4 Unidades calor acumuladas	11
2.4.1 Métodos para calcular unidades calor	12
2.5 Mejoramiento genético de maíz	14
2.6 Híbrido TSÍRI PUMA	14
2.7 Híbrido ATZIRI PUMA	15
2.8 Híbrido TLAOLI PUMA	16
2.9 Híbrido H-53 AE	17
III MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Ubicación	18
3.2 Material genético	19
3.3 Análisis estadístico	19
3.4 Establecimiento del experimento y manejo agronómico	20
3.5 Variables evaluadas	20
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V CONCLUSIÓN	32
VI LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Descripción de las etapas vegetativas de maíz.	7
Cuadro 2	Etapas reproductivas de maíz	8
Cuadro 3	Días a cosecha, fechas de siembra y cosecha y ambientes de evaluación de madurez fisiológica de híbridos de maíz para Valles Altos de México. Ciclo P-V 2016.	18
Cuadro 4	Establecimiento de los tratamientos con respecto a los días a cosecha de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos de México de la FES Cuautitlán, UNAM e INIFAP. Ciclo P-V 2016.	19
Cuadro 5a	Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas para definir la madurez fisiológica en nuevos híbridos de maíz de grano blanco de Valles Altos evaluados bajo cuatro fechas de cosecha en tres ambientes de prueba. Ciclo P-V 2016.	24
Cuadro 5b	Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas para definir la madurez fisiológica en nuevos híbridos de maíz de grano blanco de Valles Altos evaluados bajo cuatro fechas de cosecha en tres ambientes de prueba. Ciclo P-V 2016.	24
Cuadro 6a	Comparación de medias entre ambientes, considerando la media de seis híbridos de maíz y cuatro diferentes fechas de cosecha del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	25
Cuadro 6b	Comparación de medias entre ambientes, considerando la media de seis híbridos de maíz y cuatro diferentes fechas de cosecha del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	25
Cuadro 7a	Comparación de medias entre híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y cuatro diferentes fechas de cosecha, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	26
Cuadro 7b	Comparación de medias entre híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y cuatro diferentes fechas de cosecha, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	27

Cuadro 8a	Comparación de medias entre fechas de cosecha, considerando la media de tres ambientes y seis híbridos de maíz, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	28
Cuadro 8b	Comparación de medias entre fechas de cosecha, considerando la media de tres ambientes y seis híbridos de maíz, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1	Progresión de la formación de la capa negra en grano de maíz. 11
Figura 2	Planta (a), elote (b), mazorca y grano (c) del híbrido de maíz Tsiri Puma. 15
Figura 3	Híbrido de maíz ATZIRI PUMA para Valles Altos de México. 16
Figura 4	TLAOLI PUMA: Híbrido de maíz de alto rendimiento para Valles Altos de México. 17
Figura 5	Comportamiento del rendimiento de diferentes genotipos de maíz de grano blanco para Valles Altos evaluados en tres ambientes. Ciclo P-V, 2016. 29
Figura 6	Comportamiento del Rendimiento de diferentes genotipos de maíz de grano blanco para Valles Altos evaluados en tres ambientes. Ciclo P-V, 2016. 30
Figura 7	Rendimientos promedio, fechas de siembra, fechas a cosecha y días a cosecha entre ambientes, así como unidades calor acumulados (UCA) de híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016. 30
Figura 8	Porcentaje de humedad de grano, así como fecha de siembra, fechas de cosecha, días a cosecha y unidades calor acumuladas (UCA) hasta la fecha de cosecha de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V 2016. 31

Resumen

Las plantas de diferentes cultivos y las distintas variedades cubren, dentro de cierto margen, los requerimientos de unidades térmicas para cada etapa de desarrollo vegetativo hasta llegar a madurez fisiológica. Lo cual permite estimar para cada etapa fenológica del cultivo y de cada variedad, las unidades calor que se necesitan sean acumuladas para alcanzar ese estadio. Esto permite programar el manejo agronómico y actividades de importancia en el cultivo, incluyendo la cosecha.

En este trabajo se tuvo como objetivo definir para seis híbridos de maíz el rendimiento y unidades térmicas requeridas para cubrir el ciclo vegetativo y llegar hasta la madurez fisiológica así como establecer la relación de fechas de cosecha con el rendimiento de cada variedad híbrida.

El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FES Cuautitlán, UNAM) y en el Campo Experimental del Valle de México, INIFAP (CEVAMEX). Se establecieron dos fechas de siembra en el CEVAMEX y una fecha de siembra en la FES C UNAM. En cada uno de los experimentos se evaluaron 6 híbridos de maíz, de los cuales, cuatro fueron desarrollados en la FES Cuautitlán, UNAM (TLAOLI PUMA 1, TLAOLI PUMA 2, TSÍRI PUMA y ATZIRI PUMA) y dos híbridos desarrollados en el INIFAP (H-61, H-53 AE).

Cada genotipo se evaluó en diferente época de cosecha a los 150, 160, 170, 180 días desde la siembra hasta la cosecha en cada uno de los ambientes en evaluación.

Para cada caso de acuerdo con a fecha de siembra y cosecha, se determinaron las unidades calor acumuladas (UCA) con el método residual clásico hasta la madurez fisiológica de cada material.

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial (considerando como factores al genotipo como tratamiento, híbridos, fecha cosecha, localidades e interacciones), con tres repeticiones, se evaluó rendimiento, % humedad, floración masculina y femenina, altura de la planta y de la mazorca.

Se definió el rendimiento en híbridos, ambientes y la interacción híbridos x épocas de cosecha diferencias altamente significativas y significativas para la interacción híbridos por ambientes. El rendimiento más elevado, en la media de las localidades y fechas de cosecha lo obtuvo el híbrido ATZIRI PUMA con 10637 kg ha^{-1} .

En segundo lugar, se ubicó el híbrido H-53 AE con rendimiento de 9269 kg ha^{-1} . La mejor época de cosecha, considerando la media de los genotipos y localidades fue a los 160 días con 9182 kg ha^{-1} , el mejor híbrido en la mejor época de cosecha fue la de 160 días, ATZIRI PUMA con $12,404 \text{ kg ha}^{-1}$ con un total de 1172 UCA.

Se definió que, para los seis híbridos con base al porcentaje de humedad (definida en 35%) que, en las diferentes épocas de cosecha, desde la primera fecha de cosecha a los 150 días, ya habían alcanzado la madurez fisiológica. Los mejores híbridos evaluados en cuanto a rendimiento, días a cosecha desde la siembra y unidades calor acumulados fueron ATZIRI PUMA y H-53 AE, a los 160 días a cosecha para los tres ambientes de evaluación.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantas dentro de cierto margen presentan requerimientos de unidades calor para llegar a cada etapa de desarrollo hasta alcanzar la madurez fisiológica, lo cual permite estimar la duración de cada estado fenológico de un cultivo con base en la acumulación de unidades calor y así estimar su fecha aproximada de madurez fisiológica, para programar las actividades de cosecha apropiadamente (SIMARBC, 2015).

La identificación de un método para estimar con precisión las etapas fenológicas y el ciclo de madurez de los cultivos es importante porque tiene relación con el dominio de recomendación de las variedades, la producción de semilla mejorada y los criterios de selección de variedades mejoradas en función de su desarrollo. Los cultivos dependen de la temperatura y el fotoperiodo, por lo que se requiere índices biometeorológicos para describir este proceso (Ruiz *et al.*, 2002).

Con la agricultura de precisión se ha impulsado una nueva forma de evaluar el desarrollo de los cultivos, pasando de una evaluación empírica a una evaluación cuantitativa. Otro concepto que se ha incorporado es la forma de evaluar el tiempo, pasando de usar el tiempo cronológico (días) al tiempo fisiológico, pues el tiempo cronológico se ve influenciado por todas las variables ambientales; mientras que en el tiempo fisiológico, expresado en Grados Día (GD), es determinado únicamente por la temperatura, ya que esta variable controla la velocidad de las reacciones bioquímicas (PRONAP, 2015).

Por otra parte, durante el periodo de 2000-2008, en el Estado de México, figuró como el segundo productor de maíz a nivel nacional (Hernández *et al.*, 2017). En 2013, en los Estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Morelos, Guanajuato, Distrito Federal y Estado de México (ubicados en la región de los Valles Altos de México), se sembraron con maíz dos millones de hectáreas con un rendimiento de 2.7 ton ha⁻¹ (Virgen, 2015), que representaron el 27,4% de la superficie nacional sembrada con maíz. En México, en el 2013 se cosecharon 6,484 ha de semilla certificada de maíz, con un rendimiento promedio de 6,84 ton ha⁻¹ y una producción de 44,332 ton, cantidad necesaria para sembrar 2,216,647 ha⁻¹ (considerando 20 kg de semilla categoría certificada por

hectárea). Esta superficie corresponde al 29.6% de la nacional sembrada con maíz, lo que justifica la importancia de la presente investigación (SIAP, 2013).

De la superficie anterior, se estima que al menos 300,000 hectáreas se podrían sembrar híbridos de alto rendimiento. El rendimiento promedio que se obtiene bajo esas condiciones es de 3.5 t ha⁻¹ de grano de maíz, aunque puede incrementarse a 6.0 t ha⁻¹ si se siembran semillas mejoradas y se aplican las tecnologías de producción desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y los genotipos de maíz que se han desarrollado en Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), como el híbrido Tsíri Puma (Tadeo *et al.*, 2016).

Sin embargo, en los Valles Altos de México solo el 6% de la superficie cultivada con maíz utilizan semillas certificadas (González *et al.*, 2008) y en la región de Amecameca, Estado de México, solo el 4 % (Jolalpa *et al.*, 2014).

En particular para Valles Altos, la investigación en semillas y mejoramiento genético que realiza el INIFAP y la FESC ha continuado en respuesta a la problemática actual que representa la producción de maíz, porque desafortunadamente el abastecimiento se limitó a los productores ante el cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), lo que dificultó el aprovechamiento, incremento y distribución de la semilla de las variedades mejoradas disponibles (Espinosa *et al.*, 2014), además de la controversia sobre la introducción de transgénicos de esta especie y la posible contaminación de cultivos de maíz nativo o de poblaciones silvestres.

Por lo tanto, en el INIFAP y la FESC se continúan ofreciendo variedades mejoradas, producto de los programas de mejoramiento genético de ambas instituciones. Para los Valles Altos de México se tienen registradas un total de 27 variedades o híbridos de maíz, para Ciudad de México (CDMX), así como los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala (SNICS – SAGARPA, 2018), lo que se podría considerar una cantidad insuficiente de variedades mejoradas por las instituciones públicas para la región, considerando los estados que comprende y la superficie de maíz que se cultiva (Canales, 2018). Dadas las circunstancias de lo antes mencionado, es relevante y urgente generar variedades de maíz que satisfagan las necesidades de los productores de grano de las

diferentes regiones agrícolas del país, y de manera particular para los Valles Altos de México. Para que lo anterior ocurra, es necesario fortalecer estrategias de investigación, generación, desarrollo y producción y difusión de variedades para dar solución a estos problemas (Canales, 2018).

En el año 2017 se culminó el registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) de dos híbridos generados en la FES Cuautitlán, UNAM, ATZIRI PUMA y TLAOLI PUMA, posteriormente en el año 2019 se obtuvieron los títulos de obtentor de ambos maíces. Por su parte el INIFAP logró el registro de nuevos maíces, entre ellos H-53 AE y otro maíz experimental (H-61), ambos se utilizaron en esta investigación en el ciclo primavera-verano 2016, los híbridos de la UNAM denominados Tlaoli Puma y Atziri Puma son los primeros materiales con androesterilidad y restauración de la fertilidad generados por la investigación pública en México que se registran ante el CNVV y poseen títulos de obtentor. Por lo anterior en el presente trabajo se propusieron los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar la productividad de grano y días a madurez fisiológica con respecto a las unidades calor acumuladas de los híbridos de maíz TSÍRI PUMA, ATZIRI PUMA, TLAOLI PUMA 1 y TLAOLI PUMA 2, híbridos de maíz blanco en dos localidades en comparación a un híbrido comercial y uno experimental del INIFAP.

1.1.2. Objetivos particulares

- 1.- Determinar la madurez fisiológica de los genotipos en estudio con base a las unidades calor acumuladas.
- 2.- Analizar la relación entre madurez fisiológica con unidades calor acumuladas y días a madurez fisiológica.
- 3.- Establecer las probables interacciones entre madurez fisiológica, unidades calor acumuladas y su medición en días respecto a la siembra.
- 4.- Determinar la relación de fechas de cosecha respecto a días transcurridos desde la siembra entre los híbridos evaluados de acuerdo con su ciclo vegetativo.

1.2. Hipótesis

El rendimiento de los seis híbridos de maíz de grano blanco se verá afectado significativamente por la madurez fisiológica medida en unidades calor acumuladas a diferentes días de cosecha.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Desarrollo de la planta de maíz y ciclo del cultivo

Se llama ciclo de desarrollo al conjunto de fases que van desde la germinación de la semilla hasta la floración y formación del fruto. Este ciclo comprende de dos etapas bien definidas; el desarrollo vegetativo y el desarrollo reproductivo (Fassio *et al.*, 1998).

El sistema para clasificación de etapas o estadios utilizado por la Universidad de Iowa (Iowa State University of Science and Technology) que se presenta a continuación divide al desarrollo de la planta en vegetativo y reproductivo. Las subdivisiones del estadios vegetativo (V) son designadas como V1 hasta V(n), siendo (n) la última hoja antes del panojamiento (VT) para el cultivar considerado (Ritchie and Benson, 1986). El número de hojas varía de acuerdo al cultivar y el efecto ambiental.

2.1.1. Etapas vegetativas

2.1.1.1. Germinación y emergencia

Para DUPONT (2015) después de la siembra, una semilla de maíz absorbe aproximadamente del 30 al 35% de su peso en agua. Para que la radícula comience la elongación, las temperaturas del suelo deben ser las propicias para el proceso de germinación; una temperatura del suelo mínima aceptada habitualmente es de 50 °F (10°C).

Poco después de que la radícula emerge, de tres a cuatro raíces adicionales emergen de la semilla. Estas raíces y la radícula forman el sistema de raíces seminales que actúa en la absorción de agua y algunos nutrientes para la plántula, la mayoría de los nutrientes para la plántula son previstos por las proteínas y los almidones hidrolizados del endospermo. El desarrollo radicular de coronas se inicia en la etapa VE. La planta de maíz muestra emergencia “hipogea”, en la que el cotiledón permanece debajo de la superficie. El mesocótilo o primer nodo interno, se alarga y empuja la punta del coleóptilo hacia la superficie del suelo, cuando el coleóptilo rompe la superficie del suelo se ha producido la emergencia.

Luego de la emergencia del coleóptilo, el crecimiento del sistema de raíces seminales disminuye y luego se detiene aproximadamente en la V3, a medida que el sistema de raíces principales crece, el sistema de raíces seminales permanece activo, pero progresivamente suministra un porcentaje más bajo del total de agua y nutrientes del suelo para el crecimiento de la planta. El coleóptilo emergido, con la plúmula incluida luego se alarga.

Según el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (CONACYT, 2014), para la normalización de las definiciones, los investigadores de maíz han elaborado una guía para identificar las diferentes etapas de crecimiento de maíz. No todas las plantas en el campo llegan a una etapa en particular al mismo tiempo, por lo tanto, los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa específica cuando al menos el 50% de las plantas presentan las características correspondientes. La normalización de las definiciones permite que los investigadores se refieran a los problemas de las etapas de crecimiento específicas, también pueden comparar la fenología de maíz bajo diferentes condiciones ambientales y de tratamientos experimentales.

Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías:

- Vegetativa (V)
- Reproductiva (R)

Además, las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes periodos:

- Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1)
- Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3... Vn)
- Floración y la fecundación (etapas VT, R0, y R1)
- Llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6)

En el cuadro 1, se enlistan las diferentes etapas de desarrollo de maíz según CIMMYT, 2004.

Cuadro 1. Descripción de las etapas vegetativas de maíz.

Etapas	Días	Descripción
VE	5	El coleóptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja
Vn		Es visible el cuello de la hoja “n” (“n” es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; “n” generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo)
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panoja.

Fuente: Elaboración propia con datos de CIMMYT, 2004.

2.1.2. Etapas reproductivas y desarrollo de grano

Las etapas reproductivas se caracterizan por la emergencia de granos en desarrollo en la mazorca, excepto por la primera etapa reproductiva (R1), que se identifica únicamente por la emergencia de estigmas del jilote (Dupont, 2015).

Para la descripción de las etapas reproductivas y de desarrollo de grano, Ritchie *et al.*, 1986 describen las características de los estadios R1 a R6 de maíz (cuadro 2).

2.2. Caracteres que afectan el rendimiento de maíz

Los rendimientos de grano de maíz varían entre genotipos, lo cual dificulta la selección de cultivares con mayor adaptación a las condiciones ambientales de una misma localidad. Por ello, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para un mejor aprovechamiento de su potencial genético (Aguilar, 2015).

Cuadro 2. Etapas reproductivas de maíz.

Etapas	Descripción
R1	Emergencia de estigmas. (Aproximadamente 66 días después de la emergencia). Un grano de polen capturado requiere 24 horas para crecer dentro del estigma hasta el óvulo donde ocurre la fertilización y el óvulo es fecundado.
R2	Ampolla. (Aproximadamente 10-14 días después de emergencia de los estigmas). La mazorca está casi por alcanzar, o ya alcanzó, su tamaño completo. Los estigmas, habiendo completado su función de floración, se oscurecen y comienzan a secarse.
R3	Lechoso. (18-22 días después de emergencia de estigmas). El grano es externamente de un color amarillo y el fluido interno es blanco lechoso debido a la acumulación de almidón. Los granos presentan una rápida acumulación de materia seca y contiene aproximadamente 80% de humedad.
R4	Masosa. (24-28 días después de emergencia de estigmas). La continua acumulación de almidón en el endospermo provoca que el fluido interno se transforme en una consistencia pastosa.
R5	Dentado. (35-40 días después de emergencia de estigmas). Los granos se secan comenzando por la parte superior donde aparece una capa dura de almidón de color blanco. Una helada severa, temprana puede cortar la acumulación de materia seca y causar la formación prematura de punto negro.
R6	Madurez fisiológica. (55-65 días después de emergencia de los estigmas) R6 se define cuando todos los granos en la espiga han alcanzado su máximo peso seco o máxima acumulación de materia seca y se forma una abscisión marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca (punto negro o capa negra). El promedio de humedad de grano en R6 es 30-35%, sin embargo, esto puede variar entre cultivares y condiciones ambientales.

Fuente: Elaboración propia con datos de Richie *et al.*, 1986

2.2.1. Tasa fotosintética

La tasa fotosintética es un factor esencial en la producción de materia seca. Esta depende de las especies, e incluso de las variedades, así como del estado de desarrollo de la hoja. Igualmente es muy afectada por la nutrición mineral y el régimen de radiación solar durante el período de crecimiento. Por otro lado la temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia.

2.2.2. Caracteres vegetativos

2.2.2.1. Área foliar

La determinación del área foliar de las plantas, así como la duración de la misma, tienen gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo, dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse entre los diferentes órganos (Hernández, 2013).

2.2.2.2. Duración del área foliar

La Duración del Área Foliar (DAF) se define como la integral del Índice de Área Foliar (IAF) en un cierto período de tiempo. El rendimiento de grano tiende a estar correlacionado positivamente con la DAF durante el período de llenado de grano (Elk and Hanway, 1966).

2.2.2.3. Altura de planta

La importancia de medir la altura de la planta se debe a que es un parámetro que determina el grado de desarrollo del área foliar y el tamaño final de la planta. En algunos casos el mayor tamaño de una planta es más importante que la duración del período de llenado de grano en la determinación del rendimiento (Toyer and Brown, 1976).

2.2.3. Caracteres reproductivos

2.2.3.1. Días a floración

Cuando lo importante en la determinación del rendimiento es el período de llenado de grano, la floración temprana aumenta el rendimiento a través de un aumento en el número de días disponibles para el llenado de este. Contrariamente, cuando el determinante del rendimiento es el tamaño de la planta, una anticipación en la floración provoca una reducción en el rendimiento debido a la menor duración de los estadios vegetativos previo a la floración (Toyer y Brown, 1976).

2.2.2.2 Período de llenado de grano

Una parte de la variación en rendimiento de los genotipos de maíz es atribuible directamente a las diferencias en el período de llenado de grano efectivo. La selección recurrente para incrementar el rendimiento aumenta indirectamente el período de llenado de grano (Crosbie y Mock, 1981).

2.3 Madurez fisiológica

El grado de madurez fisiológica es el índice más usado para la cosecha de frutos, pero debe diferenciarse la madurez fisiológica de la madurez comercial. La primera es aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo mientras que la segunda se refiere al estado en el cual es requerido el producto en el mercado (FAO, 2003).

En el caso del maíz (*Zea mays* L.), Shaw and Loomis (1950) establecieron que, al concluir la segunda etapa del desarrollo, las semillas se independizan de la planta madre y alcanzan la madurez fisiológica; esta corresponde al final del periodo de llenado de grano y equivale a la máxima acumulación de materia seca.

Dicho estado se alcanza cuando los granos logran su máxima acumulación de materia seca, asegurándose con ello la obtención del máximo rendimiento. La capa de almidón duro ha avanzado hasta la zona de unión del grano con el raquis lo que determina la desaparición de la línea de leche y el término del crecimiento de los granos. En ese momento, el contenido promedio de humedad en los granos es de 37% y en la planta de aproximadamente un 60% (Procrop, 2009).

Sumado a lo anterior, la máxima acumulación de peso seco como indicador de la madurez fisiológica establecido por Shaw y Loomis (1950), es probablemente el criterio más aceptado para todas las especies. En cultivos destinados a la producción de semilla, este criterio adquiere mayor importancia debido a que Harrington (1972) postuló que la máxima

calidad fisiológica de las semillas medida por la germinación y vigor, coincide con la madurez fisiológica.

2.3.1. Capa negra

El punto negro o “capa negra” (Figura 1), es utilizado ampliamente como indicador de madurez fisiológica en maíz. La aparición del punto negro corresponde con el desarrollo de una capa de abscisión en la base del grano que impide una mayor acumulación de materia seca; a esto se le conoce como “capa negra” la cual se visualiza cuando se arranca el grano maduro del pedicelo. El punto negro se forma cuando una capa de células se colapsa y se vuelven oscuras donde el grano se une con el “zuro” o raquis, las células especializadas en la transferencia de nutrientes en la base del grano también se colapsan y crean una barrera que detiene el movimiento de azúcares hacia el grano (PIONEER, 2016).



Figura 1. Progresión de la formación de la capa de abscisión negra en grano de maíz.
Fuente dupont pioneer, 2016

2.4. Unidades calor acumuladas

Las unidades calor (UC) o grados día (GD) se definen como: la integración de la curva de temperatura ambiental entre la temperatura crítica máxima y crítica mínima de crecimiento, las cuales definen el rango de temperatura donde el cultivo se desarrolla adecuadamente, fuera de ese rango, el cultivo detiene su crecimiento o muere. La mayoría de las plantas tienen valores fijos y determinados de unidades calor para cada etapa de desarrollo de la

planta hasta madurez, lo cual permite estimar la duración de cada estado fenológico de un cultivo como base en la acumulación de unidades calor y estimar su fecha aproximada de madurez fisiológica, lo cual permitirá programar las actividades de cosecha apropiadamente (INIFAP, 2016).

El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura; este hecho ha llevado al establecimiento del concepto grados días, que ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos (algodón, alfalfa, etc.) en distintas partes del mundo (SEFOA, 2014).

A temperaturas bajas, las plantas ralentizan el progreso hacia la madurez y las temperaturas cálidas aceleran la madurez. Otros factores ambientales, como el fotoperiodo (período diario desde el amanecer hasta el ocaso), fertilidad del suelo y disponibilidad de agua en el suelo también puede influir en la tasa de desarrollo de los cultivos (MESONET, 2012).

2.4.1. Métodos para calcular las unidades calor

Existen varios métodos para calcular los grados día, los principales son el método del seno simple, doble seno, triángulo simple y doble triángulo (SEFOA, 2014).

La forma canónica para calcular los GD es:

$$GD = (T_{max} + T_{min})/2 - T_{BASE}$$

Donde se consideran las siguientes restricciones:

Si $(T_{MAX} + T_{MIN})/2 < T_{BASE}$, entonces $GD = 0$

Si $T_{MIN} < T_{BASE}$, entonces $T_{MIN} = T_{BASE}$

T_{MAX} es la temperatura máxima diaria del aire

T_{MIN} es la temperatura mínima diaria del aire

T_{BASE} es la temperatura por debajo de la cual el crecimiento de la planta no progresa (McMaster & Wilhelm, 1997).

El método de Unidades Calor es más apropiado para describir el desarrollo, ya que es independiente del medio ambiente o año (Salazar *et al.*, 2013).

2.4.1.1. Metodología del seno simple

Este método trigonométrico ajusta algunas funciones seno a las temperaturas máximas y mínimas diarias. Mediante esta metodología se han corregido errores encontrados en otros métodos utilizando umbrales máximos y mínimos. Las temperaturas máximas y mínimas son variables importantes, ya que éstas controlan la velocidad de desarrollo de muchos organismos como las plantas y los animales invertebrados que requieren una cierta cantidad de calor para el desarrollo de su ciclo de vida (SEFOA, 2014).

2.4.1.2. Método residual

TORRES, (2013) Después de la germinación y en forma gradual, la temperatura del aire se vuelve de gran importancia para las etapas vegetativa y reproductiva. Es muy importante considerar que la temperatura o punto crítico es variable para diferentes cultivos, generalmente es una temperatura cercana a 6 °C o 7 °C, a partir de la cual entra en actividad (Crecimiento) la planta, por lo que en primer lugar debe determinarse ese punto crítico para el cultivo de interés y posteriormente correlacionar las unidades calor con cada etapa del cultivo.

Las unidades calor se han usado también en la predicción de épocas de cosecha; El método residual es el que más se ha utilizado para la estimación de unidades calor y consiste en:

$$UC = (TM - PC)$$

Dónde:

Uc = Unidades calor para un día (grados calor día)

TM = Temperatura media = (Tmax – Tmin)

PC = Punto Crítico

Sin restricciones de humedad de suelo, el crecimiento del maíz generalmente ocurre cuando la T ambiente está entre los umbrales de 10 y 35 °C. Sin embargo, estos umbrales térmicos

varían efectivamente en función del genotipo; valores de 7 y 27 °C son los más apropiados para cultivares de maíz adaptados a los Valles Altos de México (Hernández y Carballo, 1984).

2.5. Mejoramiento genético de Maíz

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

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

En los últimos años, se realizan trabajos constantes en el programa de mejoramiento genético del INIFAP, para aumentar el rendimiento de grano de maíz con la liberación de nuevas variedades mejoradas.

2.6. Híbrido TSÍRI PUMA

Híbrido de grano blanco y semidentado, con adaptación a Valles Altos (Figura 2); prospera bien desde los 1900 msnm. Es de madurez intermedia, aunque en altitud de 2250 msnm es ligeramente más tardío. Llega a su madurez fisiológica a los 161 días, se puede cosechar mecánicamente a los 175 días. Es resistente al acame de raíz y tallo, a las enfermedades fungosas de la planta y mazorca causadas por *Puccinia* y *Ustilago*. Su rendimiento varía de 9.5 a 12.5 t ha⁻¹, con un rendimiento medio de 8.5 t ha⁻¹.

También tiene buena productividad para ensilado por lo que se recomienda para doble propósito. Está registrado en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) como: MAZ-1571-290514 (Tadeo *et al.*, 2016; Zamudio *et al.*, 2018).

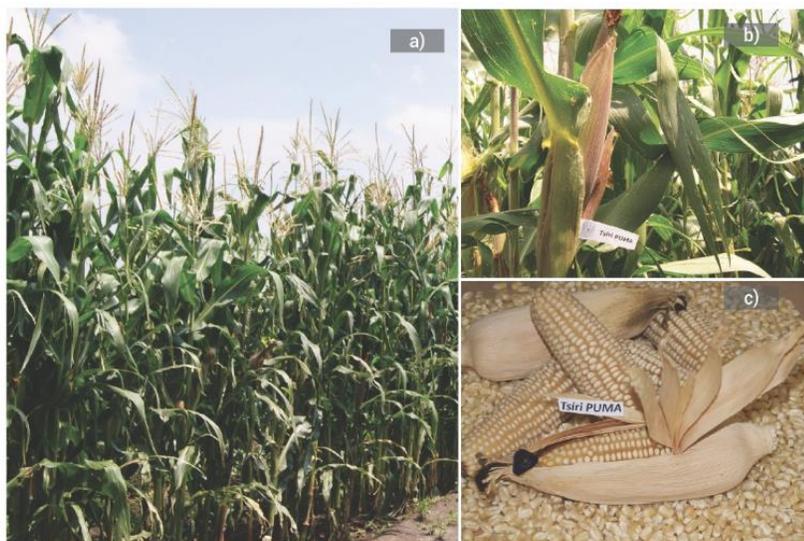


Figura 2. Planta (a), elote (b), mazorca y grano (c) del híbrido de maíz Tsiri Puma. Fuente: Revista fitotecnia mexicana, 2016.

2.7. Híbrido ATZIRI PUMA

Híbrido trilineal de grano blanco semidentado (Figura 3), 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 2250 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 ton ha⁻¹ (INIFAP, 2015).



Figura 3. Híbrido de maíz ATZIRI PUMA para Valles Altos de México. Fuente: La jornada, 2018.

2.8. Híbrido TLAOLI PUMA

Híbrido trilineal de grano blanco semidentado (Figura 4), 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 2250 msnm. Llega a madurez fisiológica a los 166 – 169 días. Se puede cortar, amogotar 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, 2200 a 2600 msnm: en localidades ubicadas en estas altitudes (INIFAP, 2015).



Figura 4. TLAOLI PUMA: Híbrido de maíz de alto rendimiento para Valles Altos de México. Fuente: INIFAP, 2016.

2.9. Híbrido H-53AE

Recomendado para Valles Altos y zonas de transición (1800 a 2600 msnm). Su rendimiento es de 8.9 a 9.9 Ton ha⁻¹, con un rendimiento potencial de 12.7 T ha⁻¹. El grano es blanco y dentado, adecuado para la industria de la masa y de la tortilla, es de madurez intermedia. Llega a madurez fisiológica a los 161-164 días. Mecánicamente se puede cosechar a los 175 días. El ámbito de adaptación es bajo condiciones de riego, punta de riego, humedad residual y buen temporal. Es tolerante al rayado fino y achaparramiento (Espinosa *et al.*, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Cuautitlán, UNAM) y en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlínchán, Municipio de Texcoco, Estado de México en el ciclo Primavera–Verano de 2016.

La primera fecha de siembra fue en Santa Lucía (CEVAMEX 1) el 25 de mayo de 2016; segunda fecha (FES Cuautitlán, UNAM) el 6 de junio de 2016 y tercera fecha en (CEVAMEX 2) el 24 de junio de 2016. Así mismo las fechas de cosecha para los respectivos ambientes se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Días a cosecha, fechas de siembra y cosecha y ambientes de evaluación de madurez fisiológica de híbridos de maíz para Valles Altos de México. Ciclo P-V, 2016.

AMBIENTE	FECHA DE SIEMBRA	FECHA DE COSECHA	DÍAS A COSECHA
CEVAMEX1	25-may-16	22-oct-16	150 DÍAS
		01-nov-16	160 DÍAS
		11-nov-16	170 DÍAS
		21-nov-16	180 DÍAS
FES Cuautitlán, UNAM	06-jun-16	03-nov-16	150 DÍAS
		13-nov-16	160 DÍAS
		23-nov-16	170 DÍAS
		03-dic-16	180 DÍAS
CEVAMEX 2	24-jun-16	21-nov-16	150 DÍAS
		01-dic-16	160 DÍAS
		11-dic-16	170 DÍAS
		21-dic-16	180 DÍAS

3.2. Material genético

Se evaluaron los híbridos H-61, H-53 AE TLAOLI PUMA 1, TLAOLI PUMA 2, TSIRI PUMA, ATZIRI PUMA. El número de tratamientos estuvo constituido de acuerdo con la fecha de cosecha (150, 160, 170, 180 días), que al combinarse con los 6 híbridos se tuvieron 24 tratamientos respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4 Establecimiento de los tratamientos con respecto a los días a cosecha de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos de México de la FES Cuautitlán, UNAM e INIFAP. Ciclo P-V, 2016.

No. Trat.	Genotipos	Días a cosecha	No. trat.	Genotipos	Días a cosecha
1	H-61	150	13	H-61	170
2	TLAOLI PUMA 1		14	TLAOLI PUMA 1	
3	TLAOLI PUMA 2		15	TLAOLI PUMA 2	
4	TSIRI PUMA		16	TSIRI PUMA	
5	ATZIRI PUMA		17	ATZIRI PUMA	
6	H-53 AE		18	H-53 AE	
7	H-61	160	19	H-61	180
8	TLAOLI PUMA 1		20	TLAOLI PUMA 1	
9	TLAOLI PUMA 2		21	TLAOLI PUMA 2	
10	TSIRI PUMA		22	TSIRI PUMA	
11	ATZIRI PUMA		23	ATZIRI PUMA	
12	H-53 AE		24	H-53 AE	

3.3. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El análisis estadístico se efectuó en forma factorial, considerando las fechas de siembra hasta la cosecha, los ensayos, los genotipos como tratamiento. Los híbridos evaluados, el ambiente experimental, así como las interacciones entre estos factores de variación.

3.4. Establecimiento del experimento y manejo agronómico

La preparación del terreno consistió en un barbecho, una cruz y un paso de rastra. En cada uno de los experimentos se manejó una sola densidad. La parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho, dando un total de 4.0 m² como parcela útil.

La siembra se efectuó a “tapa pie”, depositando dos semillas por mata cada 0.25 m. Después de la emergencia de las plántulas, se aclaró para tener una densidad de población uniforme de 65,000 plantas ha⁻¹. Esta densidad de población es la recomendada para los Valles Altos del Centro de México, para materiales similares a los que se emplearon en este estudio. Los tratamientos se establecieron como se presenta en el cuadro 4, organizando los genotipos evaluados con respecto al número de días a cosecha.

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Unidades calor acumuladas. Las unidades calor acumuladas se obtuvieron por medio del método residual clásico (mrc) considerando las fechas de siembra y las fechas a cosecha. Se utilizaron los datos de temperaturas mínimas y máximas diarias de la estación meteorológica Almaraz para el ambiente FES Cuautitlán, UNAM y de la estación meteorológica de Chapingo para los ambientes CEVAMEX 1 y CEVAMEX 2.

Las UCA fueron calculadas utilizando la siguiente expresión:

$$UCA = (T_{min} + T_{max}/2) - T_b,$$

Donde:

T_{min}= temperatura mínima diaria;

T_{max}= temperatura máxima diaria y

T_b= 10 °C, temperatura base para maíz;

UCA de siembra a madurez fisiológica correspondiente al requerimiento térmico del genotipo.

3.5.2. Peso hectolítrico. Se obtuvo a través de una balanza volumétrica eléctrica tipo DICKEY-Jhon modelo GAC 2100.

3.5.3. Madurez fisiológica. Esta variable se obtuvo en base al porcentaje de humedad, definida en 35% hasta el momento de la cosecha.

3.5.4. Peso de grano. Este dato se obtuvo al desgranar cinco mazorcas recién cosechadas por parcela útil y se definió el cociente de peso de grano entre peso de grano más los olotes.

3.5.5. Días a floración masculina y femenina. En ambas variables se contabilizó el número de días que tomó la planta para iniciar sus floraciones a partir de la fecha de siembra; considerando para la floración masculina a partir del 50% la aparición de la panícula y para la floración femenina a partir del 50% de estigmas, si éstos miden de 2 a 3 cm.

3.5.6. Longitud de mazorca (m). Se obtuvo el promedio de la longitud de las 5 mazorcas por parcela útil seleccionadas desde la base hasta la punta.

3.5.7. Hileras por mazorca. Se contaron las hileras de las 5 mazorcas cosechadas y se sacó un promedio.

3.5.8. Altura de mazorca (m). Las 5 plantas seleccionadas se midieron desde la base del pseudotallo hasta el nudo de la mazorca más alta, posteriormente se obtuvo un promedio.

3.5.9. Humedad de grano. Se obtuvo a través de un determinador de humedad eléctrico tipo DICKEY-Jhon modelo GAC 2100.

3.5.10 Granos por hilera. Se tomó una hilera al azar de cada una de las 5 mazorcas seleccionadas y se contó el número de granos desde la base hasta la punta de la mazorca, posteriormente se sacó un promedio.

3.5.11. Rendimiento (kg ha^{-1}). Se utilizó la siguiente expresión:

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

P. C. = Peso de campo en kilogramos.

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

%G. = Porcentaje de grano.

F.C. = Factor de conversión para obtener el rendimiento por ha, se obtiene al dividir 10000 m^2 /el tamaño de la parcela útil en m^2 .

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

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, se detectó para el factor de variación ambiente (AMB), diferencias altamente significativas para variables rendimiento, floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca, peso de 200 granos, longitud de mazorca, hileras por mazorca, diámetro de olote, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano. Para la variable rendimiento el coeficiente de variación fue de 16.8% y la media general de 8872 kg ha⁻¹ (Cuadro 5a y 5b).

Para el factor de variación genotipo (GEN), se presentaron diferencias altamente significativas en las variables rendimiento, floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca, peso de 200 semillas, longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano. Se presentó también diferencia significativa para la variable peso volumétrico (Cuadro 5a y 5b).

Para el factor de variación Bloques entre ambientes BLO (AMB) se presentaron diferencias altamente significativas en las variables cobertura de mazorca, peso de 200 granos y porcentaje de materia seca. Se presentó diferencia significativa en la variable longitud de mazorca (Cuadro 5b).

En la interacción AMB* GEN se presentaron diferencias altamente significativas en las variables floración masculina, floración femenina, longitud de mazorca y en granos por hilera. Se presentaron también diferencias estadísticas significativas para las variables de rendimiento, diámetro de mazorca, porcentaje de materia seca y rendimiento (Cuadro 5a y 5b). En la interacción GEN * fecha de cosecha (FE) solo hubo diferencia altamente significativa en la variable de rendimiento (Cuadro 5b).

Dentro de la interacción AMB * FE las diferencias altamente significativas se presentaron en las variables porcentaje de materia seca, longitud de mazorca, peso de 200 semillas y porcentaje de grano (Cuadro 5b). En la variable peso volumétrico, hubo diferencia estadística significativa (Cuadro 5a).

Cuadro 5a. Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas para definir la madurez fisiológica en nuevos híbridos de maíz de grano blanco de Valles Altos evaluados bajo cuatro fechas de cosecha en tres ambientes de prueba. Ciclo P-V, 2016.

Variables	GL	REND (kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (m)	AM (m)	PV (kg hl ⁻¹)
AMB	2	88268756.3**	216.5**	394.9**	5.3**	2.6**	15.5
GEN	5	57790960.4**	13.0**	13.2**	0.2**	0.2**	17.0*
BLO(AMB)	6	6505648.4	2.4	2.9	0.0	0.0	4.3
FC	3	6192518.2**	6.1	4.4	0.0	0.0	143.1**
AMB*GEN	10	7393094.6*	7.2**	7.3**	0.0	0.0	2.4
GEN*FE	15	4047689.4**	1.2	1.1	0.0	0.0	7.6
AMB*FE	6	3249667.1	1.3	1.1	0.0	0.0	13.9*
AMB*GEN*FE	30	1956436.2	2.1	1.8	0.0	0.0	4.4
CV		16.8	2.2	2.2	6.0	8.8	3.6
MEDIA		8872	76	787	2.7	1.3	69.3

*Significativo; ** altamente significativo; Rend= rendimiento; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico

Cuadro 5b. Cuadrados medios y significancia estadística para diferentes variables evaluadas para definir la madurez fisiológica en nuevos híbridos de maíz de grano blanco de Valles Altos evaluados bajo cuatro fechas de cosecha en tres ambientes de prueba. Ciclo P-V, 2016.

Variables	CM	P200 (gr)	LM (cm)	HM	GH	DM (cm)	DO (cm)	%MS	%G
AMB	1.3	1471.3**	18.7**	9.2**	11.4	0.8**	0.4	709.0**	54.0**
GEN	0.4	1536.6**	15.3**	10.1**	143.5**	0.4**	0.5	19.3**	17.7**
BLO(AMB)	2.5**	318.5**	3.3*	0.9	7.7	0.1	0.3	13.1**	3.4
FC	0.8	2157.3**	16.9**	0.5	3.1	0.2**	0.1	684.7**	204.3**
AMB*GEN	0.5	185.6	7.9**	1.2	24.1**	0.1*	0.3	10.0*	2.9
GEN*FE	0.3	49.1	1.4	0.5	3.0	0.1	0.4	2.4	2.8
AMB*FE	1.7	661.6**	3.9**	2.6	3.1	0.1	0.3	59.7**	78.5**
AMB*GEN* FE	0.2**	68.7	1.3	0.5*	3.7	0.0	0.2	3.7	2.7
CV	7.4	12.7	6.7	6.6	7.0	4.4	18.5	2.8	2.4
MEDIA	9.0	81.1	16.5	15.9	31.1	5.0	2.8	73.1	79.2

CM= Cobertura de Mazorca; P200S= peso de 200 semillas; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; DM= Diámetro de Mazorca; DO= Diámetro de Olate; %MS= % Materia Seca; %G= % Grano. AMB= ambiente; FC= fecha de cosecha; GEN= genotipo; CV= Coeficiente de variación.

En la interacción AMB * GEN * FE, solo hubo diferencia altamente significativa en la variable cobertura de mazorca y una diferencia significativa en la variable hileras por mazorca (Cuadro 5b).

En la comparación de medias entre los ambientes evaluados, los rendimientos más elevados (9741 kg ha⁻¹), se presentaron en la localidad CEVAMEX F1 Santa Lucía (en la primera fecha de siembra, que correspondió al 25 de mayo de 2016) aunque estadísticamente no fue significativo la diferencia de rendimiento con respecto al ambiente FES Cuautitlán, UNAM (9250 kg ha⁻¹). El rendimiento más bajo se obtuvo en CEVAMEX F2 Santa Lucía (en la segunda fecha de siembra, es decir de 24 de junio de 2016) con un valor de 7625 kg ha⁻¹ (Cuadro 6a y 6b).

Cuadro 6a. Comparación de medias entre ambientes, considerando la media de seis híbridos de maíz y cuatro diferentes fechas de cosecha del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

AMBIENTES	REND (kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (m)	AM (m)	PV (kg ha ⁻¹)
CEVAMEX F1	9741 a	76 b	77 b	3.0 a	1.5 a	70.0 a
FES Cuautitlán, UNAM	9250 a	78 a	80a	2.0 c	1.0 b	69.0 a
CEVAMEX F2	7625 b	75c	76 c	3.0 a	1.5 a	69.0 a
DMS	588	1	1	0.1	0.1	1

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). REND= rendimiento; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico.

Cuadro 6b. Comparación de medias entre ambientes, considerando la media de seis híbridos de maíz y cuatro diferentes fechas de cosecha del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

AMBIENTES	P200 (gr)	LM (cm)	HM	GH	DM (cm)	DO (cm)	%MS	%G
CEVAMEX F1	79.0 b	16.0 b	16 a	31 a	5.0 a	3.0 a	76.0 a	80.0 a
FES Cuautitlán, UNAM	86.0 a	17.0 a	16 a	31 a	5.0 a	3.0 a	70.0 c	78.0 b
CEVAMEX F2	78.0 b	16.0 b	15 b	31 a	5.0 a	3.0 a	74.0 b	79.0 b
DMS	4.1	0.4	1	1	0.1	0.2	0.8	0.7

P200S= peso de 200 semillas; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; DM= Diámetro de Mazorca; DO= Diámetro de Olote; %MS= % Materia Seca; %G= % Grano.

En la comparación de medias entre los híbridos, se definieron tres grupos de significancia entre los genotipos evaluados, considerando la media de los tres ambientes, así como los tratamientos de cosecha en las cuatro fechas, el genotipo sobresaliente fue ATZIRI PUMA, con un rendimiento promedio de 10637 kg ha⁻¹ seguido del híbrido H-53 AE con 9269 kg ha⁻¹ (Cuadro 7a).

Cuadro 7a. Comparación de medias entre híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y cuatro diferentes fechas de cosecha, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

GENOTIPO	REND (kg ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (m)	AM (m)	PV (kg hl⁻¹)
ATZIRI PUMA	10637 a	77 a	78 ab	3 a	1.3 cd	69 ab
H-53	9268.8 b	76 ab	77 c	3 a	1.4 ab	69 ab
TSIRI PUMA	9246.0 b	76 ab	77 c	3 a	1.3 cd	70 a
TLAOLI PUMA 2	8934.5 b	77 a	79 a	3 a	1.3 cd	70 a
TLAOLI PUMA 1	8358.3 b	76 ab	77 c	3 a	1.3 cd	68 b
H61	6787.2 c	76 ab	78 ab	3 a	1.4 ab	69 ab
DSH (0.05)	1014	1	1	0.1	0.1	2

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). Rend= rendimiento; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico; DSH = diferencia significativa honesta de Tukey al 0.05

El genotipo que exhibió menor rendimiento fue el Híbrido H-61 con 6787 kg ha⁻¹, el resto de los materiales fueron similares estadísticamente con respecto al genotipo H-53 AE (Cuadro 7a). En este trabajo se confirmó el rendimiento favorable de este híbrido inscrito recientemente ante el CNVV por el INIFAP (Espinosa *et al.*, 2019). Así mismo todos los materiales no presentaron diferencias en altura de planta, y longitud de mazorca (Cuadro 7a y 7b).

Cuadro 7b. Comparación de medias entre híbridos de maíz, considerando la media de tres ambientes y cuatro diferentes fechas de cosecha, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

GENOTIPO	P200 (gr)	LM (cm)	HM	GH	DM (cm)	%MS	%G
ATZIRI PUMA	77 bc	17 a	16 b	32 b	5 a	73 abc	80 a
H-53	89 a	17 a	15 c	32 b	5 a	72 c	79 bc
TSIRI PUMA	80 b	17 a	16 b	31 bc	5 a	74 a	79 bc
TLAOLI PUMA 2	72 c	17 a	17 a	33 a	5 a	73 abc	78 c
TLAOLI PUMA 1	88 a	16 a	16 b	30 c	5 a	72 c	79 bc
H61	81 b	15 b	16 b	28 d	4 b	74 a	80 a
DSH (0.05)	7.0	0.8	0.7	1.5	0.1	1.4	1.3

P200S= peso de 200 semillas; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; DM= Diámetro de Mazorca; %MS= % Materia Seca; %G= % Grano. DSH = diferencia significativa honesta de Tukey al 0.05

En la comparación de medias entre fechas de cosecha (cuadro 8a y 8b), considerando la media de los seis híbridos y los tres ambientes de evaluación, se definieron dos grupos de significancia, la fecha de cosecha que exhibió el rendimiento más alto fue a los 160 días, con 9182 kg ha⁻¹, este valor fue similar estadísticamente al resultado obtenido con 150 y 170 días, que obtuvieron 9022 kg ha⁻¹ y 8886 kg ha⁻¹. Lo anterior es interesante ya que los híbridos que se manejaron en este estudio, se señala que llegan a la madurez fisiológica entre estos días (Espinoso *et al.*, 2019), por lo que es explicable el rendimiento favorable a los 160 días. Lo anterior podría deberse a que los genotipos evaluados alcanzaron su mayor rendimiento de acuerdo a la acumulación de unidades calor acumulados durante esos días dando un total de 1172 (UCA).

En tanto que los menores rendimientos se obtuvieron a los 180 días después de la siembra, esto podría deberse a que los genotipos evaluados después de 180 días hayan presentado cierto deterioro en campo, perdido humedad en el grano al exponerse a mayor tiempo en campo, superando así su madurez fisiológica en cuanto a tiempo se refiere, lo que no necesariamente es favorable.

De acuerdo con Dupont, (2015) la tasa de pérdida de humedad del grano de maíz depende mucho de la temperatura y movimiento del aire, la humedad relativa y el contenido de humedad del grano. Como regla general, se requieren 17 UCA para quitar un punto de humedad del grano al principio del proceso de secado (del 30 al 25 %) y 25 UCA para quitar un punto de humedad más tarde en el proceso de secado (del 25 al 20 %). Las tasas de secado de granos varían entre los híbridos y los ambientes.

Cuadro 8a. Comparación de medias entre fechas de cosecha, considerando la media de tres ambientes y seis híbridos de maíz, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

Fechas de cosecha	REND (kg ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (m)	AM (m)	PV (kg hl⁻¹)
(160 días)	9182 a	76 a	78 a	3 a	1.3 a	68.3 b
(150 días)	9022 ab	76 a	78 a	3 a	1.3 a	68.1 b
(170 días)	8886 ab	77 a	78 a	3 a	1.3 a	68.9 b
(180 días)	8397 b	76 a	78 a	3 a	1.3 a	71.6 a
DSH (0.05)	745	1	1	0.1	0.1	1.2

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). Rend= rendimiento; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico. DSH = diferencia significativa honesta de Tukey al 0.05

Cuadro 8b. Comparación de medias entre fechas de cosecha, considerando la media de tres ambientes y seis híbridos de maíz, del análisis combinado para definir la madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para Valles Altos. Ciclo P-V, 2016.

Fechas de cosecha	LM (cm)	HM	GH	DM (cm)	DO (cm)	%MS	%G
(160 días)	17 a	16 a	31 a	5 a	3 a	72 c	80 a
(150 días)	17 a	16 a	31 a	5 a	3 a	69 d	76 b
(170 días)	16 b	16 a	31 a	5 a	3 a	74 b	80 a
(180 días)	16 b	16 a	31 a	5 b	3 a	77 a	80 a
DSH (0.05)	0.6	0.5	1	0.1	0.3	1.0	0.9

LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; DM= Diámetro/Mazorca; DO= Diámetro de Olate; %MS= % Materia Seca; %G= % Grano. DSH = diferencia significativa honesta de Tukey al 0.05

En la figura 5, se presenta el comportamiento de los rendimientos de cada uno de los híbridos de maíz evaluados en diferentes ambientes, cuyos datos, muestran que el genotipo que mejor se expresó en cuanto a rendimiento dentro de los tres ambientes, sobre todo en FES Cuautitlán-UNAM, fue el híbrido ATZIRI PUMA (11,385 kg ha⁻¹) seguido del híbrido H-53 AE (10240 kg ha⁻¹) en el ambiente CEVAMEX 1. Por lo contrario, el híbrido que mostró los menores rendimientos dentro de los tres ambientes fue el genotipo H-61. Lo anterior es consistente con los resultados reportados por (Espinosa *et al.*, 2019).

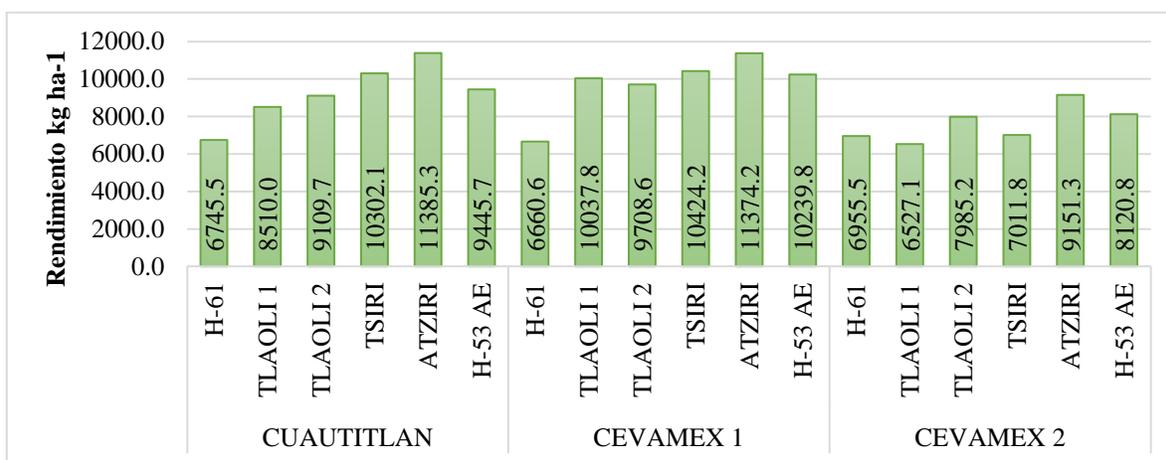


Figura 5. Comportamiento del rendimiento de genotipos de maíz de grano blanco para valles altos evaluados en tres ambientes, considerando la media de cuatro fechas de cosecha para evaluar su madurez fisiológica. Ciclo P-V, 2016.

La figura 6 muestra el comportamiento que presentaron los seis híbridos de maíz con respecto al número de días a cosecha. Se observó que el genotipo ATZIRI PUMA mostró un mayor rendimiento, y entre las fechas de cosecha se observa buen rendimiento a los 160 días a cosecha (12,404.4 kg ha⁻¹).

La figura 7 muestra el comportamiento del rendimiento entre los ambientes con respecto a las fechas de cosecha seleccionados y las unidades calor acumuladas (UCA). Se observó que a los 160 días (1 de noviembre de 2016) correspondiente a la fecha de siembra del 25 de mayo de 2016 dentro del ambiente CEVAMEX 1 se presentó un rendimiento promedio mayor de 10131.8 kg ha⁻¹ y una acumulación de 1172 unidades calor (UCA).

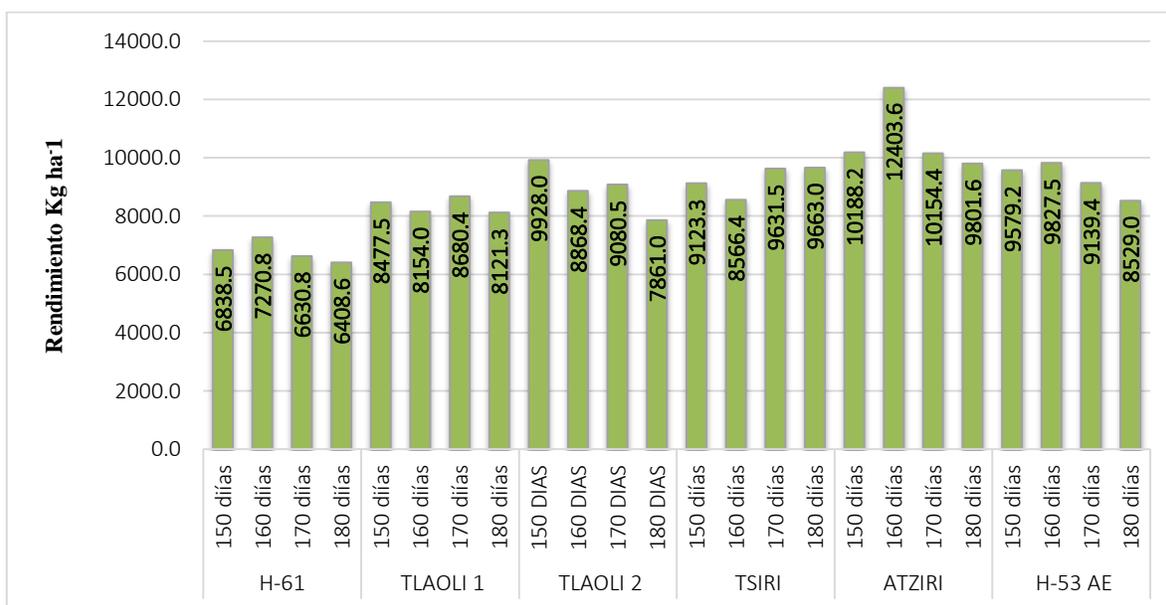


Figura 6. Comportamiento del rendimiento de seis genotipos de maíz de grano blanco en cuatro diferentes fechas de cosecha para evaluar su madurez fisiológica considerando la media de tres ambientes, Ciclo P-V, 2016.

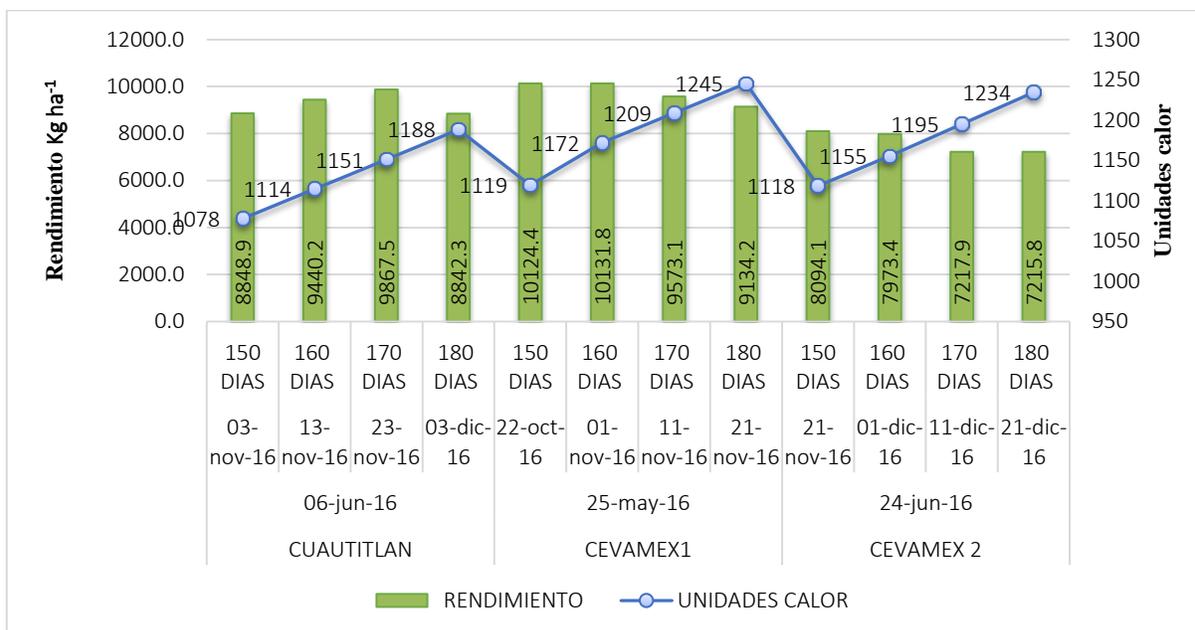


Figura 7. Rendimientos promedio, fechas de siembra, fechas a cosecha y días a cosecha entre ambientes, así como unidades calor acumulados (UCA), considerando la media de seis híbridos de maíz de grano blanco para valles altos. Ciclo P-V, 2016.

La figura 8, se muestra el porcentaje de humedad de grano en diferentes fechas de cosecha, se observó que en el ambiente de CEVAMEX 1 el híbrido ATZIRI PUMA expresó el mayor rendimiento entre los genotipos evaluados a los 160 días a cosecha (1 noviembre de 2016) con fecha de siembra del 25 de mayo de 2016 y una acumulación de 1172 unidades calor (UCA). El porcentaje de humedad en el grano fue disminuyendo a medida que avanzaron los días a cosecha. Aunque el porcentaje de humedad esperado para esta fecha de cosecha a los 160 días no alcanzara a llegar aproximadamente al 35 % de humedad se considera que los materiales TSÍRI PUMA, ATZIRI PUMA y TLAOLI PUMA alcanzan su madurez fisiológica a los 161, 164 y 167 días respectivamente (INIFAP, 2016).

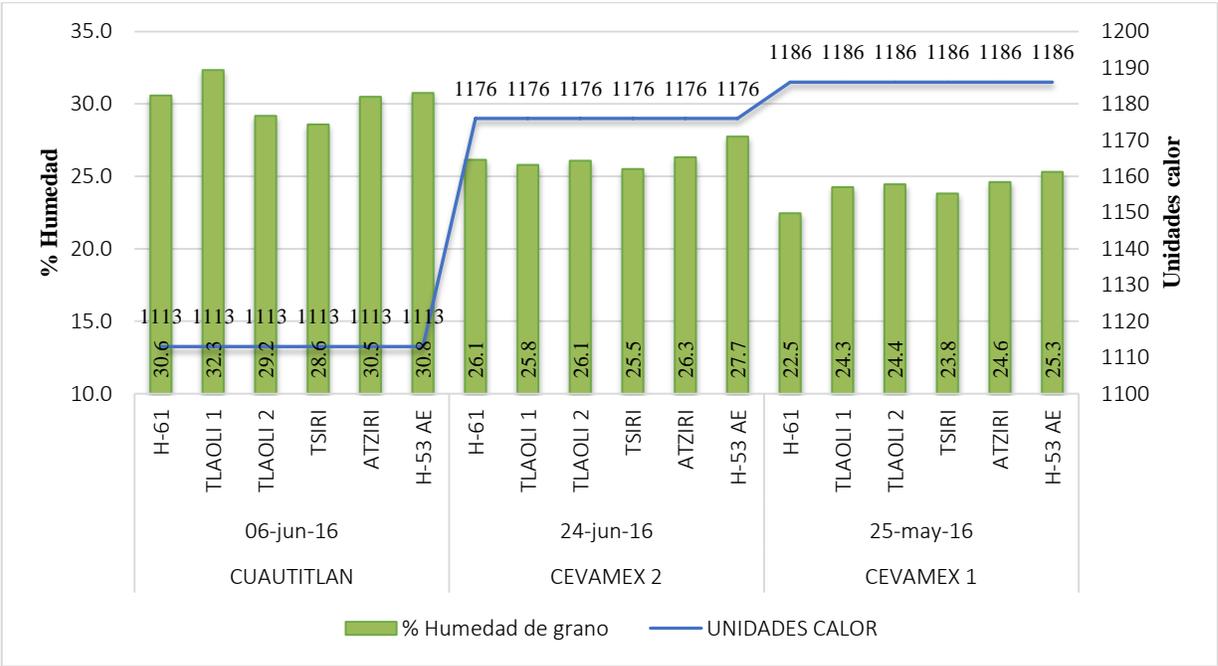


Figura 8. Porcentaje de humedad de Grano, así como fecha de siembra, fechas de cosecha, días a cosecha y unidades calor acumuladas (UCA) hasta la fecha de cosecha de nuevos híbridos de maíz de grano blanco para valles altos. P-V 2016.

V. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos y resultados obtenidos en el presente trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se definió para rendimiento en híbridos, ambientes y la interacción híbridos x épocas de cosecha diferencias altamente significativas y significativas para la interacción híbridos por ambientes en la evaluación de seis híbridos de maíz en tres ambientes y cuatro fechas de cosecha.
2. El mayor rendimiento se obtuvo con el híbrido ATZIRI PUMA ($10,367 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido del genotipo híbrido H-53 AE con un rendimiento de 9269 kg ha^{-1} .
3. Se definió que la mejor época de cosecha, considerando la media de los genotipos y localidades de evaluación fue 160 días ($9,182 \text{ kg ha}^{-1}$), el mejor híbrido en la mejor época de cosecha fue 160 días, ATZIRI PUMA con $12,404 \text{ kg ha}^{-1}$ y un total de 1172 UCA.
4. Se definió que, para los seis híbridos con base en porcentaje de humedad, definida en 35%, que, en las diferentes épocas de cosecha, desde la primera fecha de cosecha a los 150 días, ya habían alcanzado la madurez fisiológica.
5. Los mejores híbridos entre los evaluados en cuanto a rendimiento, días a cosecha desde la siembra fueron los genotipos ATZIRI PUMA y H-53 AE, a los 160 días a cosecha para los tres ambientes de evaluación.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- AGUILAR, C. E. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000100051
- CIMMYT, C. I. 2004. Etapas de crecimiento del maíz. México. (En línea). . Obtenido de <http://maizedoctor.cimmyt.org/index.php/es/empezando/9?task=view>.
- CANALES, I., E.I. 2018. Tesis Doctoral. Androesterilidad y capacidad de restauración de la fertilidad masculina, la productividad de grano y semillas en líneas e híbridos de maíz. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo Mex.
- CANALES I., E.I., , Tadeo R, M. Mejía C, J. A. García Z, J. J. Espinosa C, A. 2017. Semilla fértil y androestéril de maíz bajo diferentes densidades de población. Ecosist. Recur. Agropec. 4(12):465-473.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2004. Etapas de crecimiento del maíz. México. (En línea). . Obtenido de <http://maizedoctor.cimmyt.org/index.php/es/empezando/9?task=view>.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, C. 2014. Maíz. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- CROSBIE, T.M.; MOCK, J.J. 1981. Changes in physiological traits associated with grain yield improvement in three maize breeding programs. *Crop Science* 21 (2):255-259
- DUPONT, P. 2015. Maiz: crecimiento y desarrollo. Obtenido de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- ELK, k., & Hanway, J. 1966. Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agronomy Journal* 58(1):16-18.
- ESPINOSA C., A. et al. 2009. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Revista de Ciencias de la UNAM*. Vol. 92.: pp 118-125. En: <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/41-revistas/revista-ciencias-92-93/209-el-potencial-de-las-variedades-nativas-y-mejoradas-de-maiz.html>
- ESPINOSA, C. A., Turrent, F. A., Tadeo, R. M., San Vicente-T, A., Gómez, M. N. Valdivia, B. R. Sierra M, M. Zamudio G. B. 2014. Ley de Semillas y Ley Federal

- de Variedades Vegetales y transgénicos de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(2):293-308.
- ESPINOSA C., A.; M. Tadeo R.; J. Virgen V.; B. Zamudio G.; I. Rojas M.; A. Turrent F.; G. Vázquez C.; R. Zepeda B.; N. Gómez M. y M. Sierra M. 2015. H-53 AE, híbrido de maíz para Valles Altos y Zona de Transición con androesterilidad para producción de semilla. Desplegable para productores número 63. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.
- ESPINOSA, C. A.; Tadeo, R. M.; Zamudio, G. B.; Virgen, V. J.; Turrent, F. A.; Rojas, M. I.; Gómez, M. N. O.; Sierra, M. M.; López, L. C.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; Canales, I. E.; Zaragoza, E. J.; Martínez, Y. B.; Valdivia, B. R.; Cárdenas, M. A.; Mora, G. K. y Martínez, N. B. 2018. H-47 AE, híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 1(41):87-89.
- ESPINOSA, C. A., Tadeo R., M., Virgen V., J., Zamudio G., B., Turrent F., A., López L., C. 2019. H 47AE, H 49AE y H 53AE híbridos de maíz con androesterilidad para Valles Altos. Primer Simposio para la Autosuficiencia y Soberanía Alimentaria de México. V Reunión Estatal de Investigación. Publicación Especial Num. 1, Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Texcoco, México. Pp: 8-12.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas Del campo al mercado. En <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>
- FASSIO Alberto, C. A. 1998. MAÍZ: Aspectos sobre fenología. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2844/1/111219240807135855.pdf>
- FISCHER, K., & PALMER, F. 1984. Tropical maize. In *The physiology of tropical fieldcrops*. Ed. by P.R. Goldsworthy and N.M Fischer. Chichester, Wiley. p. 213-248.
- GONZÁLEZ, E. J. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: Híbrido H-48. Publicación Especial No. 25, INIFAP, MEX D.F., MEX.
- HERNANDEZ, O. M. E. Fajardo, G. B. Arteaga. A. G. Lezama. M. P. 2017. Tendencias del sector agrícola, Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de Mexico, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40153531006.pdf>.
- HERNÁNDEZ, C. N. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento Cultivos Tropicales, vol. 34, núm. 2 , pp. 24-29. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana
- HERNÁNDEZ, L. A. y Carballo, C. A. 1984. Caracterización de genotipos de maíz de Valles Altos por sus requerimientos de unidades calor. *Revista Chapingo* 43-44: 42-48.

- INIFAP, (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias), 2016. Folleto técnico. Laboratorio Nacional de Modelaje y sensores remotos, Cálculo de unidades calor en <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/ucalor.aspx>.
- UNAM, INIFAP. 2015. Folleto tecnico. TLAOLI PUMA: HIBRIDO DE MAIZ DE ALTO RENDIMIENTO PARA VALLES ALTOS DE MEXICO, Restauracion de la fertilidad masculina para produccion de semilla.
- UNAM, INIFAP. 2015. Folleto técnico ATZIRI PUMA: PRIMER HIBRIDO DE MAIZ DE ALTO RENDIMIENTO PARA VALLES ALTOS DE MEXICO, Producción de semilla Utilizando Restauración de la fertilidad masculina en sus progenitores
- JOLALPA, B.J.L., G. Moctezuma, J.J. Espinoza, R. Zepeda, y I. Rentería. 2014. Uso de semillas mejoradas de maíz en Amecameca, Estado de México. Enlace: La revista de la agricultura de conservación V (18):50-53.
- McMaster, G. &, & Wilhelm, W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4), pp.291–300.
- MESONET, 2012, Degree-days and Phenology Models, University of California, Statewide Integrated Pest Management, <https://www.mesonet.org/images/site/>
- LARQUÉ S., B. S.; J. Islas G.; A. González E. y J. L. Jolalpa B. 2013. Mercado de Semillas de Maíz en el Estado de México. Folleto Técnico 57. México, D.F.: CEVAMEX-INIFAP.
- PIONEER, D. 2016. Punto Negro: Anatomía, Fisiología y Causas. Obtenido de https://www.pioneer.com/web/site/spain/programs_services/information/punto_negro/
- PROCROP, P. s. 2009. MAIZE Growth & Development. Obtenido de https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/516184/Procrop-maize-growth-and-development.pdf
- RITCHIE, S., & J.J: BENSON, G. 1986. How a corn plant develops. Ames, Iowa State University. Special report no. 48. 21 p.
- RUIZ, J. C., Flores, L. H., & Ramírez, D. J. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia* 36(5):569-577. Texcoco, México.
- SALAZAR-GUTIERREZ MR, J. J.-C. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int J Plant Prod.*;7(4):741-762.
- SEFOA, (Secretaria de Fomento Agropecuario). 2014. Metodología para el cálculo de Unidades Calor. University of California, Agriculture and Natural Resources, <http://www.ipm.ucdavis.edu/index.html>

- SHAW, R. H., & Loomis, W. E. 1950. Bases for the prediction of corn yield. *Plant Physiol.* 25:225-244.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Producción anual de cultivos año agrícola 2013 en México. En: [Http://www.siap.gob.mx/](http://www.siap.gob.mx/)
- SIMARBC,(Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego de Baja California). 2015. Promedio de unidades calor acumuladas por semana para el cultivo del algodón en el valle de Mexicali, 2014 Y 2015. En http://www.oedrus-bc.gob.mx/oedrus_bca/pdf/baners/SIMARBC.pdf
- SNICS, (Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas) SAGARPA, (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2018. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, tercer trimestre. En <https://www.gob.mx/snics/documentos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales>.
- PRONAP (Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos) 2015. Edad fisiológica de los cultivos: El uso de Grados Día), Costa Rica. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf>
- RITCHIE, S.W.; Hanway, J.J.; Benson, G.O. 1986. How a corn plant develops. Ames, Iowa State University. Special report no. 48. 21 p
- RUIZ, C. J. A.; Flores, L. H., & Ramírez, D. J. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia* 36(5):569-577., pp. 569-577.
- TADEO R, M., García Z, J. J. Alcántar L, H. J. Lobato O, R. Gómez M, N. O. Sierra M, M. Irizar G, M. B. G. Valdivia B, R. Zaragoza E, J. Martínez Y, B. López L, C. Espinosa C. A y Turrent F. A. 2017. Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. *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. Cardenas, M. A. L. Zaragoza E, J. Alcántara, L. H. J. (2016). Tsiri puma, híbrido de maíz para valles altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Recuperado el 19 de abril de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300331
- TADEO R., M., Espinosa C., A., García Z., J. J., Lobato O., R., Gómez M., N. O., Sierra M., M., Valdivia B., R., Turrent F., A., Zamudio G., B. 2018. Productivity of three maize hybrids under different proportions of male sterile and fertile seeds. *Interciencia*, Vol. 43 (12): 852-857.

- TORRES, M. I. 2013. Identificación de estados fenológicos y determinación de unidades calor en el cultivo de rosa (rosa x híbrida) en la región florícola del Estado de México. En: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40670/Tesis.pdf>
- TOYER, A.F.; BROWN, W.L. 1976. Selection for early flowering in corn: seven late synthetics. *Crop Science* 16(6):767-773
- TORRES, M. I. 2013. Identificación de estados fenológicos y determinación de unidades calor en el cultivo de rosa (rosa x híbrida) en la región florícola del Estado de México. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40670/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- VIRGEN, V. J. Zepeda, B. R. Avila, P. M. A. Espinosa, C. A. Arellano, V. J. L. Gomez, V. A. J. 2015. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (1). Obtenido de <http://www.redalyc.org/jatsRepo/437/43743010019/html/index.html>
- ZAMUDIO, G B. Félix R. A. Martínez, G. A. Cardoso G, J. C. Espinosa C, A. Tadeo, R. M. 2018. Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 9 (6): 1231-1244.