



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**Variedades de maíz rojo con potencial para uso como  
maíz palomero**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A:**

**MACEDO GONZÁLEZ JOSÉ DE JESÚS**

**ASESORA DE TESIS:**

**DRA. MARGARITA TADEO ROBLEDO**

**COASESOR:**

**DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN**

**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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de 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

**Variedades de maíz rojo con potencial para uso como maíz palomero**

Que presenta el pasante: JOSÉ DE JESÚS MACEDO GONZÁLEZ

Con número de cuenta: 41403799-9 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 18 de Marzo de 2020.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**PRESIDENTE**

Dra. Margarita Tadeo Robledo

**VOCAL**

Dr. Gustavo Mercado Mancera

**SECRETARIO**

Dra. Martha Yolanda Quezada Viay

**1er. SUPLENTE**

Ing. Karina Yazmine Mora Garcia

**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).

## **Dedicatoria**

A mis padres, que, a pesar de su ausencia, siempre vivirán en mis recuerdos.

A mis tíos, Jorge por ser un gran guía en los caminos de la vida, Alejandra por ser un gran ejemplo a seguir, Elfego por procurarme siempre y a Pepe por ser tan carismático.

A mis hermanos Benito y Yered, por ser incondicionales y siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, además de enseñarme a superar retos y adversidades.

A mi hermana y mis sobrinos, que con sus sonrisas e inocencia le dan color a la vida.

A la familia Granados Vargas, por abrirme las puertas de su hogar y ser mi segunda familia.

A Monserrat, fuente de inspiración y motivación, gracias por cruzar tu camino con el mío.

A todos y cada uno ellos que sin esperar nada a cambio, me otorgan su cariño y apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme motivado a querer ser parte de ella y esforzarme cada vez más y así honrar a la máxima casa de estudios de México.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por cambiar mi vida al mostrarme la gran diversidad de conocimiento e ideas que pueden convivir en un solo lugar, además de haberme permitido conocer excelentes personas que son parte de mi vida y grandes profesores que con sus conocimientos y consejos forman parte de mi formación.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): IT201618 por los recursos económicos para la presente investigación.

A la Dra. Margarita Tadeo Robledo y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por permitirme ser parte de su gran equipo de trabajo y por su inigualable apoyo, además por enseñarme con humildad como con su trabajo se puede ayudar a nuestro país, lo que me motiva a seguir sus pasos y poder llegar a ser como ustedes algún día. Me hacen falta muchísimas palabras para poder describir la gran admiración que tengo por ustedes, pero espero poder seguir trabajando con ustedes y demostrárselos con hechos.

Al Dr. Job Zaragoza Esparza, por sus valiosas enseñanzas y su gran calidad humana.

A la M. C. Consuelo López López, que además de ser profesora es amiga y que con sus consejos ha guiado mis pasos a lograr mis metas.

A todos y cada uno de los miembros de este gran equipo de trabajo, Israel Arteaga Escamilla por ser tan paciente y tan buena persona, Alan que empezamos juntos esta recta del camino, Carlos que siempre con su buen humor me hace reír, M. C. Karina Yazmine Mora García por tantos intercambios de conocimientos y a los demás miembros que han formado parte de esta etapa de mi vida.

A los miembros del jurado, que sin sus observaciones y correcciones este trabajo no hubiera sido posible, muchas gracias por ello.

**“La agricultura se ve fácil cuando el arado es un lápiz y se está a mil millas del campo de maíz.”**

Dwight D. Eisenhower

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	i
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>ABREVIATURAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	2
<b>1.1.1 Objetivos particulares:</b> .....	2
<b>1.2 HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
<b>2.1 Origen del maíz</b> .....	4
<b>2.2 Fenología del maíz</b> .....	5
<b>2.3 Tipos de ciclos del maíz</b> .....	7
<b>2.4 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de maíz</b> .....	7
<b>2.5 Razas de maíz palomero.</b> .....	8
<b>2.6 Importancia del maíz palomero.</b> .....	9
<b>2.7 Volumen de producción en México y el mundo</b> .....	11
<b>2.8 Tipo de endospermo del maíz palomero</b> .....	12
<b>2.9 Cinética en la explosión de maíz palomero</b> .....	13
<b>2.10 Requerimiento de humedad para la expansión del grano</b> .....	14
<b>2.11 Estudios en el mejoramiento de maíz palomero</b> .....	15
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	16
<b>3.1 Descripción de la zona de estudio</b> .....	16
<b>3.2 Condiciones climáticas</b> .....	17
<b>3.4 Material genético</b> .....	18
<b>3.5 Diseño experimental y análisis estadístico</b> .....	20
<b>3.6 Establecimiento del experimento</b> .....	20
<b>3.7 Manejo agronómico</b> .....	20
<b>3.8 Cosecha</b> .....	21
<b>3.9 Variables evaluadas</b> .....	21

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	25
<b>4.1. Análisis de la estación de crecimiento de los ambientes evaluados.</b> .....	25
<b>4.2 Comparación de medias para ambientes</b> .....	28
<b>4.3 Comparación de medias para genotipos</b> .....	30
<b>4.4 Análisis de varianza para las variables de volumen y tiempo de reventado</b> .....	31
<b>4.5 Comparación de medias para volumen y tiempo de reventado</b> .....	32
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	36
<b>ANEXOS</b> .....	40

## INDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Etapas de crecimiento del maíz.	6
Cuadro 2	Clasificación de acuerdo al ciclo del maíz.	7
Cuadro 3	Variedades de maíz pericarpio rojo y endospermo duro, para determinar la productividad de grano y reventado para formar palomitas en dos localidades de Valles Altos de México.	18
Cuadro 4	Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en variedades de maíz rojo con potencial palomero para Valles Altos de México.	27
Cuadro 5	Comparación de medias para algunas variables tomando en cuenta la media de los 16 genotipos palomeros evaluados.	29
Cuadro 6	Comparación de medias entre 16 genotipos de maíz rojo para diversas variables evaluadas tomando en cuenta la media de dos ambientes de Valles Altos. Ciclo P-V 2018.	30
Cuadro 7	Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de volumen y tiempo de reventado en variedades de maíz rojo con potencial palomero para Valles Altos de México. Ciclo P-V 2018, FES Cuautitlán, UNAM.	32
Cuadro 8	Comparación de medias para el volumen y tiempo de reventado de 16 variedades de maíz rojo con potencial palomero, Ciclo P-V 2018, FES Cuautitlán, UNAM.	33

## INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Mapa de México con las localizaciones de los centros de origen-domesticación y los centros de diversificación primaria del maíz.	4
Figura 2	La planta del teocintle.	5
Figura 3	Representación gráfica del ciclo de desarrollo del maíz.	6
Figura 4	Grupo de razas indígenas antiguas	9
Figura 5	Producción nacional de maíz palomero en la década de 2007 a 2017.	11
Figura 6	Principales exportadores de maíz palomero.	12
Figura 7	Esquema de la estructura del grano de maíz.	13
Figura 8	Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli, México.	16
Figura 9	Localización geográfica del municipio de Texcoco, México.	16
Figura 10	Genotipos de maíz pericarpio rojo utilizadas para el experimento.	19
Figura 11	Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad en el ambiente de Huexotla. Estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, 2018.	25
Figura 12	Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad en el ambiente de Cuautitlán. Estación Almaraz, 2018.	26

## ABREVIATURAS

CEVAMEX	Centro Experimental del Valle de México.
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados.
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
CNVV	Catálogo Nacional de Variedades Vegetales.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FES	Facultad de Estudios Superiores.
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
NMX	Norma Oficial Mexicana.
SE	Secretaría de Economía.
SEP	Secretaría de Educación Pública.
SIAP	Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera.
SNICS	Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESUMEN

En el Programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Cuautitlán, UNAM), se trabaja con maíces ornamentales de diversos colores desde hace 25 años, definiéndose en el año 2018 que la mayoría de los materiales además poseen capacidad reventadora y calidad de expansión palomera, con diferencias en olor y sabor de las palomitas. Con base en lo anterior se estableció la necesidad de revisar las perspectivas de uso comercial de esas variedades. Por lo que se establecieron experimentos para definir capacidad de rendimiento y volumen de expansión de diferentes genotipos. En el ciclo primavera-verano del año 2018, se establecieron ensayos de rendimiento para evaluar 16 variedades de maíz rojo, con el objetivo de definir el desempeño agronómico de cada variedad, así como determinar la capacidad productiva, comparando el potencial entre las diferentes variedades. Se establecieron experimentos en parcelas experimentales de la FES Cuautitlán Campo 4, UNAM y de la comunidad de Huexotla, Texcoco. Las variedades fueron evaluadas bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones, el análisis estadístico fue en forma factorial, considerando como factores a las variedades, los dos ambientes, así como la interacción entre estos dos factores. La parcela útil fue de un surco de 5 m de longitud, la distancia entre surcos fue de 0.80 m. La siembra se llevó a cabo el día 4 de junio del año 2018, para la FES Cuautitlán, UNAM y el día 10 de junio del mismo año para el ambiente de Huexotla, Texcoco. La cosecha se realizó en el 4 de diciembre en la localidad FES Cuautitlán, UNAM y el 14 de diciembre en Huexotla, Texcoco. De acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones: a) el mejor ambiente para la variable de capacidad productiva, definida por rendimiento fue FES Cuautitlán, UNAM, obteniéndose un rendimiento promedio de  $6874 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo que es competitivo respecto a los rendimientos promedios para investigaciones con maíz palomero y b) el genotipo IAMRO 10, por sus características de rendimiento ( $5938 \text{ kg ha}^{-1}$ ), peso volumétrico ( $83 \text{ kg hL}^{-1}$ ) y volumen de expansión ( $820 \text{ cm}^3$ ) se consideró como la variedad más sobresaliente ya que sus valores cumplen con los criterios de selección en el mejoramiento de los maíces palomeros de México.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo más importante para México por su relevancia económica, social y cultural. En el país se tienen registradas 64 razas de maíz, de las cuales 59 fueron muy bien definidas, de estas, siete corresponden a maíz palomero: Palomero toluqueño, Chapalote, Nal-Tel, Reventador, Chihuahua, Jalisco y Arrocillo (Wellhausen *et al.*, 1951; CONABIO, 2012).

En el ciclo agrícola 2018, México produjo 27.1 millones 634 mil toneladas de maíz (SIAP, 2018) e importó un total de 17 millones 100 mil toneladas (SE, 2018). Según la Secretaría de Economía en ese mismo año en México se importaron 74 mil toneladas de maíz palomero con un valor de 41 millones de dólares y a nivel nacional tan sólo se produjeron 700 toneladas, siendo Tamaulipas el único estado productor, con una superficie total sembrada de 148 hectáreas y un rendimiento promedio de 4 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

En 77 años de investigación pública en México, sólo se han registrado dos variedades mejoradas de maíz palomero. El primero fue el híbrido denominado H 367 P, liberado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), para El Bajío, en 1977 (Miranda, 1977). Posteriormente se generó la variedad de polinización libre V 460P, registrada en el año 2012, por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), con número de registro MAZ-1353-190712; la metodología empleada para obtener la variedad V 460P fue mediante selección masal visual estratificada (Valadez *et al.*, 2014).

Ante la escasez de variedades palomeras y la importación de grano de maíz palomero, es urgente contar con variedades de este tipo, con características agronómicas y rendimientos favorables, que exhiban buenos rendimientos y calidad palomera. En el Programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Cuautitlán, UNAM) se trabaja con maíces palomeros y desde hace 25 años, en varias líneas de investigación, en colaboración con Investigadores del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP) y otras

instituciones, en investigaciones en diversos aspectos con maíces palomeros; se cuenta con variedades de polinización libre e híbridos en la etapa final de su caracterización, para su registro ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), así como la producción de semillas de estos materiales, para su transferencia a productores interesados y siembras comerciales.

Desde hace tiempo, se ha trabajado en el programa con diferentes variedades ornamentales de maíz rojo, las cuales en los últimos años se sometieron al proceso de reventado como maíz palomero, mostrando cualidades aceptables como palomeras. Por lo anterior, se decidió valorar sus características, tamaño y forma de roseta, con la sorpresa de un comportamiento destacado. Se revisaron todos los maíces ornamentales nativos de diferentes colores que se han seleccionado por más de 20 años en el Programa, definiéndose en el año 2018 que la mayoría de los materiales poseen capacidad reventadora y calidad de expansión, con diferencias en olor y sabor de las palomitas. Con base en lo anterior se estableció la necesidad de revisar las perspectivas de uso comercial de esas variedades, por lo que se establecieron experimentos para definir capacidad de rendimiento y volumen de expansión de los diferentes genotipos.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Determinar el rendimiento y características agronómicas de un grupo de 16 variedades ornamentales de maíz de color rojo, textura de grano dura, con potencial de reventado para la obtención de palomitas, en los Valles Altos de México.

### **1.1.1 Objetivos particulares:**

- ❖ Establecer en qué ambiente se desempeña mejor la variable de capacidad productiva.
- ❖ Definir el mejor genotipo con base a rendimiento entre los materiales en evaluación.
- ❖ Delimitar en forma preliminar los genotipos en evaluación con mayor rendimiento y volumen de reventado de grano.

## **1.2 HIPÓTESIS**

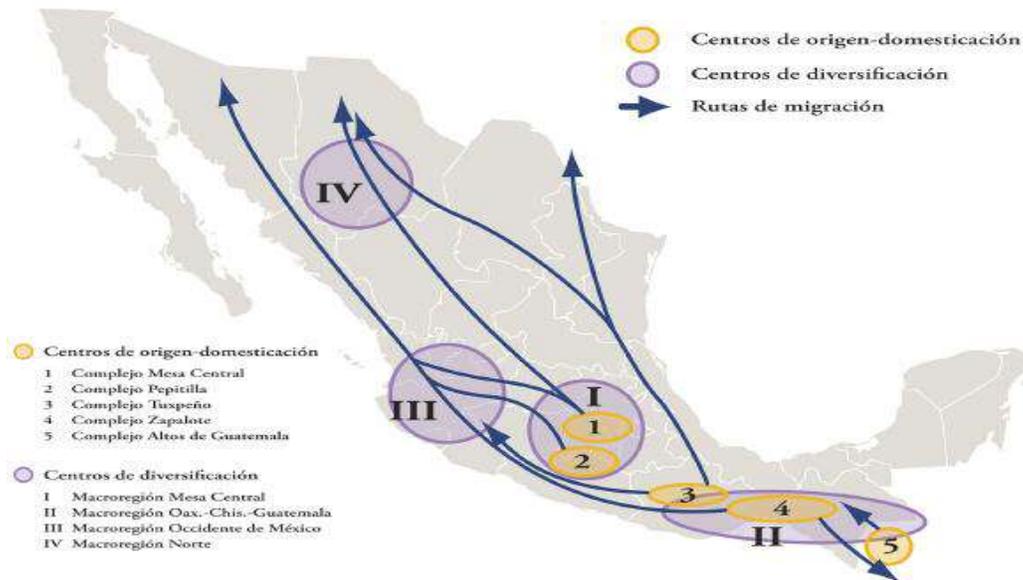
Entre las 16 variedades de grano rojo evaluadas, existen diferencias en el rendimiento y el volumen de reventado de grano, considerando este concepto en forma preliminar, además habrá diferencias con respecto a los dos ambientes establecidos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen del maíz

Entre los investigadores involucrados en el estudio del proceso de origen del maíz y la evidencia genética existente se han generado dos teorías:

- a) La primera, en la determinación de si el maíz tuvo un origen multicéntrico, producto de varias poblaciones de teocintles de diferentes regiones, teoría basada en patrones característicos de los núcleos cromosómicos del maíz y teocintle (Figura 1) (Kato *et al.*, 2009) y;



**Figura 1. Mapa de México con las localizaciones de los centros de origen-domesticación y los centros de diversificación primaria del maíz.**

- b) La segunda, teoría del evento único de domesticación (unicéntrica) propuesta por Matsuoka *et al.* (2002) que concluye que las poblaciones del teocintle de la raza Balsas o subespecie (*ssp.*) *parviglumis* localizadas en el centro de la cuenca del Balsas (Figura 2).

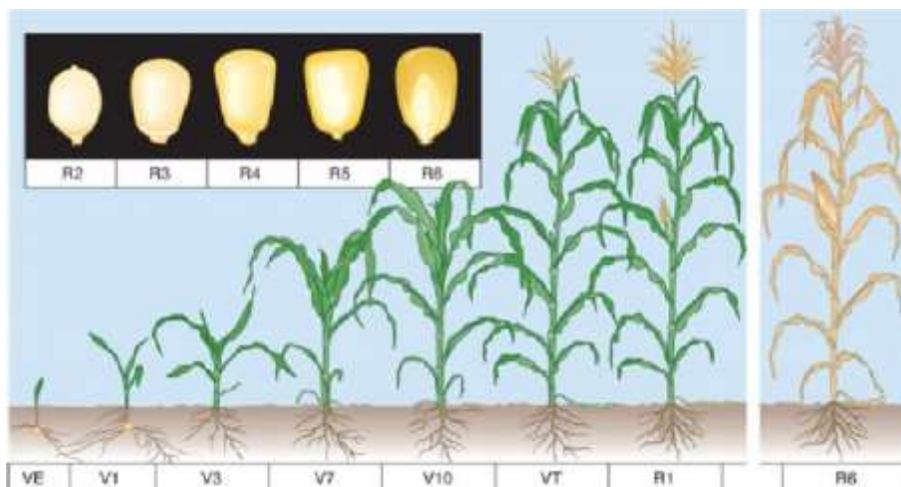


**Figura 2. La planta del teocintle. A. Vista general de la planta. B. Inflorescencia femenina “mazorca” inmadura descubierta. C. Inflorescencia femenina “mazorca” madura. D. Cápsulas de fruto “granos”.**

Aunque la evidencia arqueológica y paleontológica está lejos de completarse y los registros fósiles de maíz y teocintle han sido limitados, investigaciones recientes llevadas a cabo por científicos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) han aportado nuevos datos relacionados con el papel que jugaron los cambios ambientales hace nueve mil años en la transformación inicial del teocintle al maíz; cambios ambientales debidos a las concentraciones de metales pesados como Cadmio, Plomo, Cobalto y Cobre que podrían ser de origen volcánico provenientes de un estallido del Nevado de Toluca hace alrededor de 10 mil años, aportando así evidencias para la determinación que el origen del maíz tuvo lugar en las cuencas de los afluentes del río Balsas, entre los estados de México, Michoacán y Guerrero (Bedoya y Chávez, 2010).

## **2.2 Fenología del maíz**

El ciclo de desarrollo del maíz comprende las etapas que comienza con la germinación de semillas a floración y finalmente la formación del fruto. Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías, la cual se divide en vegetativo (V) y reproductivo (R) (Fassio *et al.*, 1998; INIFAP, 2018) (Figura 3).



**Figura 3. Representación gráfica del ciclo de desarrollo del maíz.**

Además, las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes períodos: 1) Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1) 2) crecimiento vegetativo (etapas V2, V3... Vn) 3) floración y la fecundación (etapas VT, R0, y R1) y por último 4) llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6) (CONACYT, 2010) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Etapas de crecimiento del maíz.**

Etapa	Días	Características
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 número "n".
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panícula.
R0	57	Antesis o floración masculina.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Los granos se llenan con un líquido claro que deja ver el embrión.
R3	80	Los granos se llenan con un líquido lechosos blanco
R4	90	Los granos se llenan de una pasta blanca.
R5	102	La parte superior de los granos se llena con almidón sólido.
R6	112	Se llega a madurez fisiológica, donde una capa negra es visible en la base del grano y la humedad del mismo es alrededor del 35%.

"n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo.

### 2.3 Tipos de ciclos del maíz

El ciclo de maíz es un índice establecido por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en el año 1952, que en aquel entonces acordó clasificar los ciclos de maíz en 10 grupos de precocidad diferentes desde ciclo FAO 100 hasta ciclo FAO 1.000 (Cuadro 2). Esta clasificación de la FAO, se basaba en los días entre la siembra y la maduración fisiológica del maíz en la zona del Corn Belt (Estados Unidos) (Amado, 2017).

**Cuadro 2. Clasificación de acuerdo al ciclo del maíz**

<b>Ciclo FAO declarado</b>	<b>Días</b>	<b>Ciclo</b>
200	86-95	Precoz
300	96-105	
400	106-115	
500	116-120	Intermedio
600	121-130	
700	131-140	
800	141-150	Tardío
900	151-160	
1000	+161	

### 2.4 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de maíz

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C (Gómez, 2012).

La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido del cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. Cerca de la floración (desde unas dos semanas antes de la emisión de estigmas, hasta dos semanas después de ésta) el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante este período. En general, el maíz necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo (Deras, 2017).

En cuanto al tipo de suelo, los más idóneos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua. El cultivo se desarrolla bien en suelos con pH entre 5.5 y 7.8. Fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Cuando el pH es inferior a 5.5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencia de hierro, manganeso y zinc. Los síntomas en el campo, de un pH inadecuado, en general se asemejan a los problemas de micro nutrimentos.

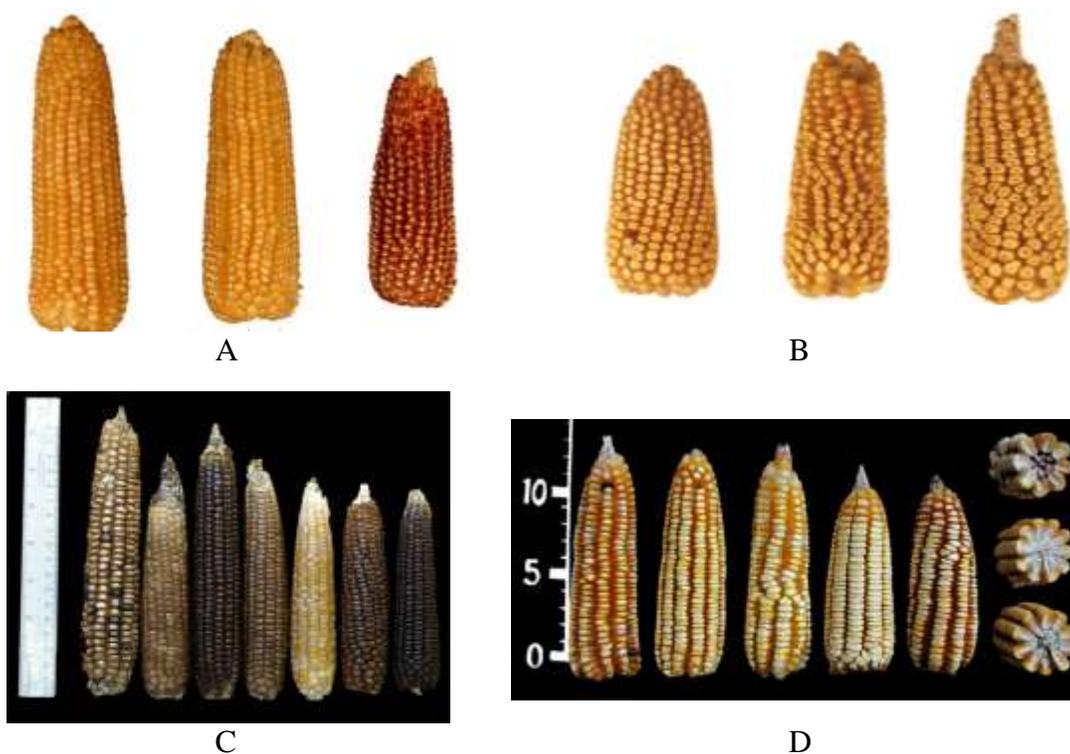
## **2.5 Razas de maíz palomero.**

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo. Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (CONABIO, 2012).

Recientemente, en el año 2020, se definió en la Ley de Fomento y Protección del Maíz Nativo (LFPMN) que maíz nativo son; Razas de la categoría taxonómica *Zea mays* subespecie *mays* que los pueblos indígenas, campesinos y agricultores han cultivado y cultivan, a partir de semillas seleccionadas por sí mismos u obtenidas a través de intercambio, en evolución y

Diversificación Constante, que sean identificadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (DOF, 2020).

Según la CONABIO (2012) el maíz palomero se encuentra dentro del grupo de razas indígenas antiguas, que incluyen al Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote, Nal-Tel, las cuales tienen características en común como: endospermo duro, mazorcas pequeñas y son reventadoras (Figura 4).



**Figura 4. Grupo de razas indígenas antiguas; A. Palomero Toluqueño, B. Arrocillo Amarillo, C. Chapalote y D. Nal-Tel.**

## **2.6 Importancia del maíz palomero.**

Gracias a los testimonios tempranos del siglo XVI, se pudo identificar que el maíz palomero toluqueño y sus subrazas fueron utilizados como base para preparar varios alimentos por los grupos de la antigua Mesoamérica: mexicas, matlatzincas, otomíes, tlahuicas, mazahuas y otros establecidos en los valles altos más alejados, como en Jalisco y Chihuahua. Al parecer

su consumo en forma de tortillas pudo ser menos privilegiada. Esto debido a que en la actualidad a los campesinos no les gusta su consumo de esta forma, ya que “se ponen duras y quebradizas” (Romero *et al.*, 2004).

Debido a que esta raza de maíz se cultiva en gran medida en el Valle de Toluca, se le dio el nombre de Palomero Toluqueño, pero existen subrazas como el Palomero Poblano y el Palomero Jalisciense (Wellhausen *et al.*, 1951; Gámez, 2014), dicha raza Palomero es poco usada en México para elaborar palomitas. Sin embargo, en algunas zonas del centro de México como San Felipe del Progreso en donde la “flor” del maíz (palomita de maíz) es utilizada con fines ceremoniales. Los pobladores de este lugar elaboran guirnaldas que utilizan para decorar altares e iglesias. Su uso se remonta a tiempos prehispánicos en los cuales las palomitas representaban la abundancia y la pureza (SEP, 1982; Romero *et al.*, 2004)

El Palomero Toluqueño se encuentra en peligro de extinción debido a la baja productividad y caracteres indeseables que manifiesta en la nixtamalización, pero pueden impulsarse otros usos como la elaboración de palomitas incrementando la capacidad de expansión por medio de mejoramiento genético participativo, aprovechando que es un cultivo adaptado a condiciones adversas, así como realizar un manejo agronómico adecuado del mismo (Gámez *et al.*, 2014)

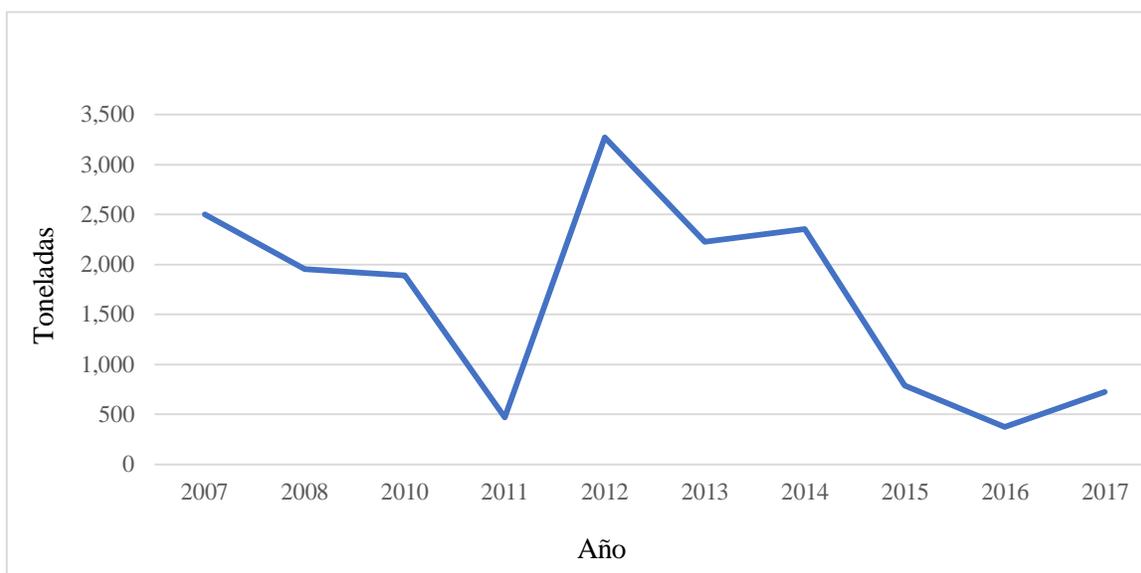
El maíz palomero se presenta actualmente como una alternativa al maíz *commodity*, ya que este maíz diferenciado tiene un alto valor agregado, debido al consumo humano directo bajo la forma de golosina dulce o salada. El negocio a escala mundial de este producto está cerca de los 100 millones de dólares con una oferta de 450,000 a 600,000 toneladas anuales (Sanz, 2013).

Además, las palomitas de maíz contienen niveles muy altos de polifenoles, los cuales son antioxidantes que previenen el daño celular y que pueden ayudar a combatir enfermedades cardiovasculares y problemas de cáncer; también por sus altos contenidos de fibra, vitaminas

del complejo B, vitamina E, minerales y proteínas, ayudan a disminuir el colesterol y controlar la diabetes (Arendt y Zannini, 2013; Paraginski *et al.*, 2016; De la O *et al.*, 2018).

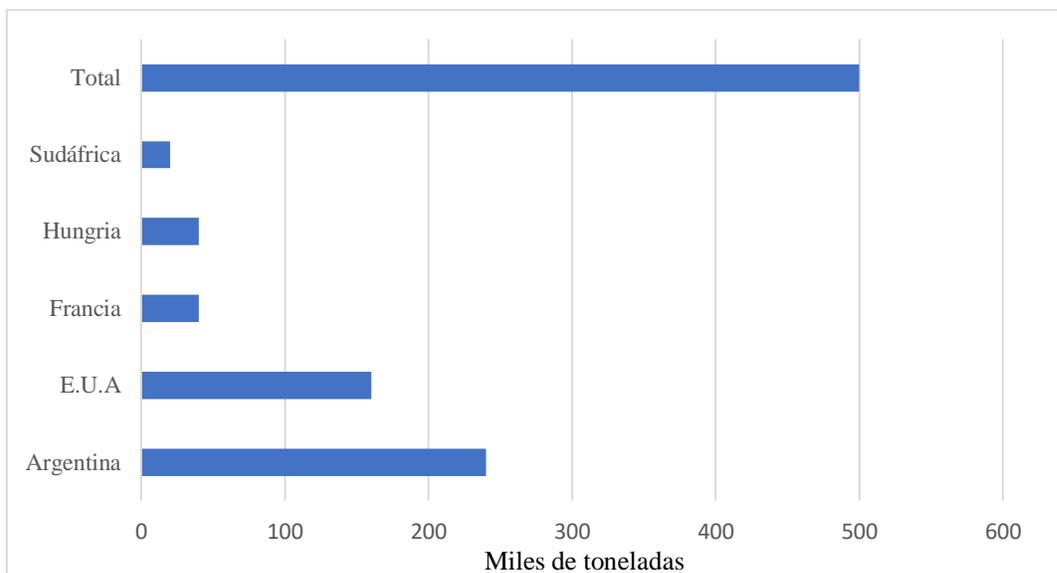
## 2.7 Volumen de producción en México y el mundo

De acuerdo con estadísticas del SIAP (2018), la producción de maíz palomero en México desde 2007 hasta 2017 ha sido muy inestable, teniendo producciones tan bajas como la de 2011 que fue de 473 t, hasta el sorprendente incremento de 600% del siguiente año (siendo 2012 el año con el mejor rendimiento de la historia) con 3 273 t. La década tuvo un cierre de producción de 722 t (Figura 5). Donde Tamaulipas fue el único estado productor, con una superficie total sembrada de 177 hectáreas y un rendimiento promedio de 4 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).



**Figura 5. Producción nacional de maíz palomero en la década de 2007 a 2017.**

La oferta mundial de maíz palomero se estima en 500 mil toneladas, siendo Argentina, Estados Unidos, Francia, Hungría y Sudáfrica los principales exportadores (Rojas, 2016). Argentina es el principal vendedor de este grano, ya que abastece cerca de la mitad de la demanda mundial con 240 mil toneladas, enseguida está Estados Unidos con 160 mil toneladas exportadas (Figura 6).



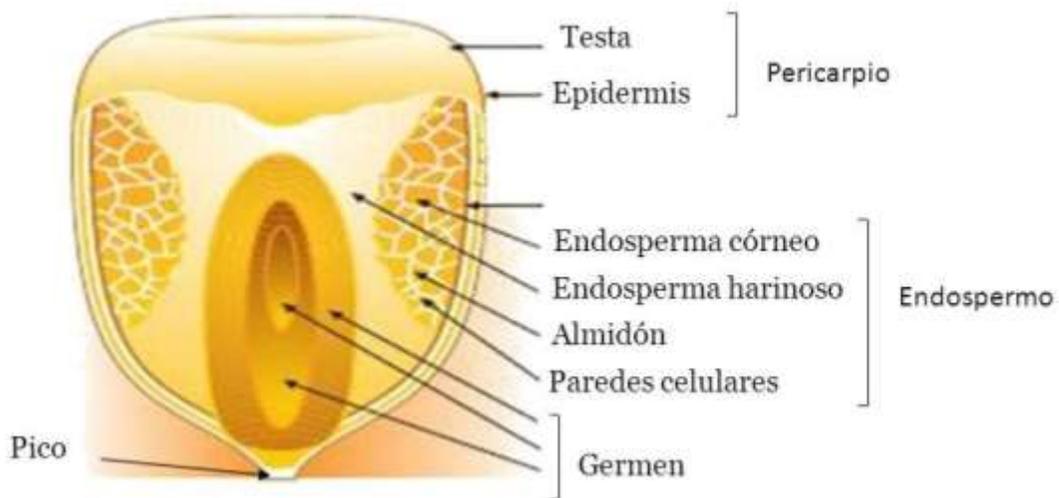
**Figura 6. Principales exportadores de maíz palomero.**

## 2.8 Tipo de endospermo del maíz palomero

El maíz palomero posee granos pequeños con un endospermo muy denso o vítreo, envuelto por un pericarpio grueso y resistente, donde las células del endospermo presentan básicamente cuatro estructuras (García, 2015), las cuales se mencionan a continuación (Figura 7):

- a) Las paredes celulares son delgadas y encierran a los demás componentes. Dentro de ellas se encuentra un alto contenido de fibra soluble e insoluble.
- b) Los granos de almidón ocupan el mayor espacio celular y están rodeados y separados por la matriz proteica que sirve como adherente para mantener la estructura interna de la célula.
- c) Los cuerpos proteicos son redondos y muy pequeños si se comparan con las unidades de almidón, los cuales están dispersos en el espacio celular y en su mayoría incrustados en la membrana de los gránulos de almidón, cuanto mayor es la fuerza de adhesión entre almidón y proteína, mayor es la dureza del endospermo.

- d) Los gránulos de almidón, de forma poliédrica, se mantienen unidos unos a otros con una matriz proteica y con presencia de cuerpos proteicos. Esta estructura tiene una apariencia vítrea y traslúcida debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo.



**Figura 7. Esquema de la estructura del grano de maíz**

## **2.9 Cinética en la explosión de maíz palomero**

El grano de maíz palomero al ser expuesto a altas temperaturas actúa como una olla a presión, donde el pericarpio encierra el contenido del grano (almidón y agua). La explosión ocurre cuando la presión acuosa interna del vapor excede la suma de la presión de explosión del pericarpio y la presión atmosférica. Este fenómeno ocurre a una temperatura interna del grano entre 180 °C y 190 °C, a esta temperatura el almidón se encuentra fundido, entonces el pericarpio se quiebra y el agua sobrecalentada se expande rápidamente, lo cual provoca que el almidón fundido se expanda y forme una roseta blanda (Villanueva, 2008; Rojas, 2016).

La cinética de reacción se caracteriza por un periodo de inducción, durante el cual los granos no revientan. Este es seguido por un periodo de explosión rápida, que luego se reduce

mientras los granos remanentes revientan. El aumento de temperatura incrementa el ritmo de explosión, y también disminuye el periodo de inducción (Villanueva, 2008)

Al momento de reventar, el grano de maíz palomero expande su volumen de 30 a 35 veces, sin embargo, hoy día, existen híbridos que tienen una capacidad de expansión de hasta 40 veces su tamaño original. El grado de expansión está relacionado con la cantidad de endospermo traslúcido presente en el grano, en éste el agua se vaporiza hacia los hilos de los gránulos de almidón y expande dichos gránulos (De la O *et al.*, 2018).

La calidad del maíz reventador se define por factores como el volumen de expansión, la forma de las rosetas, los granos que quedan sin reventar, la textura y por supuesto, el sabor (Sweley *et al.*, 2013).

## **2.10 Requerimiento de humedad para la expansión del grano**

Como menciona la norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003, la clasificación del maíz dependerá de los niveles de humedad presentes en el grano; sin embargo, se considera que el contenido de humedad adecuado para permitir el manejo, conservación y almacenamiento, es 14% (DOF, 2003).

En el caso del maíz palomero el porcentaje de humedad del grano es un factor muy importante que influye en la cantidad de granos que revientan y también en su volumen de expansión. Generalmente el grano tiene un buen comportamiento cuando contiene de 12-13% de humedad (Rojas, 2016).

Por otra parte, para lograr obtener la máxima expansión en la palomita de maíz, la humedad debe ser del 13-14.5%, siendo 13.5% el ideal. Si contiene menos de este porcentaje de humedad la expansión del maíz se reduce. El producto ya expandido contiene menos de 3% de humedad, por lo que las palomitas son muy higroscópicas, ya que absorben la humedad en ambientes con hasta 20% de humedad relativa (De la O *et al.*, 2018).

De acuerdo con De la O *et al.* (20018) la mayor influencia de la humedad y tiempo de reventado pudiera estar relacionada con la composición del pericarpio (hemicelulosa, celulosa y lignina), que cumple la función de impedir la salida de humedad del grano,

logrando de esta forma que la presión de vapor se incremente a tal grado que permita el reventado para la formación de la roseta o palomita.

## **2.11 Estudios en el mejoramiento de maíz palomero**

En el aspecto de mejoramiento genético del maíz palomero para el aprovechamiento de sus cualidades propias de expansión en la producción de palomitas, en México no se han llevado a cabo programas de mejoramiento formales, salvo hace algunos años en los que el INIFAP y su antecesor el INIA, liberaron las variedades palomeras, primero en el Campo Experimental Bajío, donde el Dr. Odón Miranda Jaimes, desarrollo e inscribió oficialmente en 1977, el híbrido de maíz palomero H 367 P (Miranda, 1977), posteriormente se liberó la variedad de maíz de polinización libre V 460 P, en el año 2012 (Valadez *et al.*, 2014). Con adaptación en el estado de Tamaulipas, entidad donde se siembra este grano con híbridos de importación bajo el esquema de agricultura por contrato y donde se inició el proyecto nacional de mejoramiento genético, a partir de una amplia base genética formada por genotipos introducidos del estado de Iowa, E.U.A y germoplasma del CIMMYT e INIFAP.

Ante la urgencia de variedades de maíz palomero, se revisaron maíces ornamentales nativos de diferentes colores que se han seleccionado por más de 20 años en la FESC UNAM, definiéndose en el año 2018 que la mayoría de los materiales poseen capacidad reventadora y calidad de expansión, con diferencias en olor y sabor de las palomitas. Se definió la necesidad de revisar las perspectivas de uso comercial de esas variedades. Por lo que se iniciaron trabajos para definir rendimiento y volumen de expansión de los diferentes genotipos (Espinosa *et al.*, 2018).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción de la zona de estudio

El experimento se llevó a cabo en el ciclo P-V 2018, en las localidades de Cuautitlán, Izcalli, Estado de México con coordenadas  $19^{\circ} 41' 35''$  Latitud Norte y  $99^{\circ} 11' 42''$  Longitud Oeste a una altitud de 2,256 msnm (Figura 8).



**Figura 8. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México.**

Y en la comunidad de Huexotla, Texcoco, Estado de México con coordenadas  $19^{\circ} 29' 43''$  Latitud Norte y  $98^{\circ} 52' 58''$  Longitud Oeste y a una altitud de 2,300 msnm (Figura 9).



**Figura 9. Localización geográfica del municipio de Texcoco. México.**

### 3.2 Condiciones climáticas

El clima de Cuautitlán se clasifica como C (w<sub>0</sub>) (w) b (i'), que corresponde al más seco de los templados subhúmedos (García, 2004; Rodríguez, 2014), con un régimen de lluvias de verano e invierno seco y verano largo. La temperatura media anual es de 14.8 °C, con una oscilación media mensual de 5.8 °C, siendo enero el mes más frío con una temperatura promedio de 11.6 °C y junio como el mes más caliente, con 17.4 °C promedio. La precipitación anual es de 612.1 mm; con un periodo de bajo riesgo de helada de 208 días (Estación meteorológica Almaraz, FES Cuautitlán, UNAM, 2018).

Por otra parte, el clima que presenta Huexotla, es una transición entre el clima seco BS<sub>1</sub> kw (w) (i') y el templado C (w<sub>0</sub>) (w) b(i') g que de acuerdo a García (1998), corresponde al subtipo más seco, dentro de los climas templados subhúmedos; su verano es largo y fresco (18° C), con poca oscilación térmica diaria. Mayo y junio son los meses más calientes, en tanto que la precipitación media anual es de 640 mm, distribuida principalmente en los meses de mayo a octubre siendo julio y agosto donde registran las mayores lluvias del año y el mes de marzo es el más seco; en invierno el mes más frío es enero (11° C) y la temperatura media normal es de 14.5°C (Toledo, 2015).

### 3.3 Características edáficas.

Los suelos predominantes en Cuautitlán quedan definidos como vertisol pélico, de acuerdo con el sistema de clasificación FAO (De la Teja, 1982). Son suelos pesados, difíciles de labrar y de drenaje interno con tendencia a deficiencia. Asimismo, estos suelos presentan dificultad al laboreo por su adhesividad y plasticidad cuando se humedecen y por su dureza cuando permanecen secos.

En cambio, los suelos de Huexotla se encuentran dentro de la clasificación feozem calcárico, los cuales se caracterizan por presentar una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrimentos. Contiene, además, cantidades considerables de material calcáreo. Es un suelo de fácil manejo que, cuando es profundo y plano, alcanza un alto grado de productividad agrícola.

### 3.4 Material genético

Se evaluaron 16 variedades de maíz con pericarpio rojo y endospermo duro (Cuadro 3), los cuales se han manejado en el Programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas de la FES Cuautitlán, UNAM, desde hace más de 20 años, recientemente se descubrió que los granos de estos genotipos al ser sometidos a altas temperaturas tienen la capacidad de reventar y formar palomitas (Figura 10).

**Cuadro 3. Variedades de maíz pericarpio rojo y endospermo duro, para determinar la productividad de grano y reventado para formar palomitas en dos localidades de Valles Altos de México.**

No.	Variedad	No.	Variedad
1	IAMRO 1	9	IAMRO 9
2	IAMRO 2	10	IAMRO 10
3	IAMRO 3	11	IAMRO 11
4	IAMRO 4	12	IAMRO 12
5	IAMRO 5	13	IAMRO 13
6	IAMRO 6	14	IAMRO 14
7	IAMRO 7	15	IAMRO 15
8	IAMRO 8	16	IAMRO 16



**Figura 10. Genotipos de maíz pericarpio rojo utilizadas para el experimento.**

### **3.5 Diseño experimental y análisis estadístico**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 16 genotipos (variedades), tres repeticiones, cada ensayo, se estableció en dos ambientes: Cuautitlán y Huexotla, Méx. La información de los dos experimentos se analizó en un arreglo factorial que consideró como factores a los genotipos (16), ambientes (2), así como la interacción genotipo por ambiente (G x A). En total se manejaron 48 unidades experimentales por ambiente.

La parcela experimental estuvo constituida de un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho, dando un total de 4.0 m<sup>2</sup>.

### **3.6 Establecimiento del experimento**

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano del 2018, la siembra fue realizada el 04 de junio del 2018 en Cuautitlán, mientras que en Huexotla se sembró el 10 de junio del 2018.

### **3.7 Manejo agronómico**

Previo a la siembra del cultivo, el terreno se preparó de forma convencional, consistió en aradura, dos pasos de rastra y trazo de surcos (distancia entre surcos de 0.8 m). Al momento de realizar el surcado se fertilizó con una dosis de 80-40-00 (N, P, K), donde las fuentes de fertilizante fueron urea y fosfato de amonio, para el ambiente de FES Cuautitlán, UNAM y para el ambiente de Huexotla, Texcoco, se aplicó la fórmula 80-40-30, con urea, superfosfato y cloruro de potasio como fuentes de fertilización.

La siembra se realizó a tapa pie depositando tres semillas por mata cada 50 cm. En el ambiente de Huexotla, al siguiente día se aplicó riego y se aplicaron dos riegos más de auxilio posteriormente, mientras que, en Cuautitlán, sólo se dio un riego al día siguiente de la siembra y en el resto del ciclo, el requerimiento hídrico se cubrió con la precipitación pluvial.

Para el control de maleza se aplicó herbicida a los 15 días posteriores al riego, con base a una mezcla de 3 kg de Gesaprim calibre 90, 1 L de Hierbamina y 1 L de Sansón 4 SC por hectárea.

Una vez que el cultivo tenía de 30-40 días se realizó un aclareo a 30 plantas por surco para obtener una densidad de población de 65,000 plantas/ha<sup>-1</sup>.

### 3.8 Cosecha

Las cosechas se realizaron de forma manual una vez que ocurrió la madurez fisiológica del grano. Se llevó a cabo el día 4 de diciembre de 2018 en Cuautitlán y el día 14 de diciembre de 2018 en Huexotla.

### 3.9 Variables evaluadas

De acuerdo a la metodología implementada por Espinosa *et al.* (2013), para la generación de nuevas variedades de maíz se deben considerar el rendimiento de grano, características morfológicas deseables y facilidad en la producción de semilla, por lo que se consideran las siguientes variables para la determinación de comportamiento *per se* y características agronómicas.

- **Plantas establecidas:** se refiere al número de plantas totales por parcela. Dicha variable se determinó después del aclareo, en el cual se manejó una densidad de 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>.
- **Floración masculina:** esta se tomó en cuenta desde el momento en que se realizó la siembra, hasta el momento en que apareció el 50% de las espigas por parcela (Anexo 1).
- **Floración femenina:** al igual que la floración masculina, se tomó desde la siembra hasta la aparición del 50% de los estigmas, los cuales debían tener una longitud aproximada de 2 a 3 cm (Anexo 1).
- **Altura de planta:** se tomaron cinco plantas al azar, las cuales se midieron desde la base de la planta (punto de inserción de raíces), hasta el inicio de la panoja, justo donde empieza a dividirse la espiga, luego se promediaron los valores para obtener el dato final. Se registró la altura de planta en cm.

- **Altura de mazorca:** en las mismas cinco plantas en que se midió la altura de planta, se determinó la distancia en cm, desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta.
- **Longitud de mazorca:** para dicha variable, se tomó una muestra de cinco mazorcas por parcela, las cuales se midieron desde la base hasta la punta, tomando el promedio como dato final, expresado en cm (Anexo 2).
- **Diámetro de mazorca:** se midió la parte media de cada mazorca de la muestra con un vernier digital, del mismo modo se obtuvo un promedio como dato final expresado en cm.
- **Hileras por mazorca:** se contabilizó el número de hileras de cada mazorca de la muestra y se obtuvo un valor promedio.
- **Granos por hilera:** de las mismas mazorcas se contaron los granos de cada hilera, para obtener un valor medio.
- **Peso volumétrico:** se pesó el grano en un determinador de humedad electrónico, para obtener la relación de la muestra a un litro, dicha variable se expresa en  $\text{kg hL}^{-1}$ .
- **Porcentaje de humedad:** del mismo grano utilizado para obtener el peso volumétrico, se tomó una muestra de 250 g, para posteriormente obtener la humedad total mediante un determinador de humedad electrónico.
- **Peso de 200 granos:** del grano utilizado para medir el peso volumétrico, se contaron 200 granos, los cuales se pesaron y se obtuvo su valor en g.
- **Porcentaje de materia seca:** obtenido mediante la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad.

- **Porcentaje de grano:** este resulta de la relación entre el peso del grano y el peso total de la mazorca con olote y se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje.
- **Rendimiento:** el rendimiento se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (P.C \times \%M.S \times \%G \times FC) / 8600$$

Donde:

P.C: Peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela (kg) (Anexo 3).

%M.S: Porcentaje de materia seca, obtenida de la muestra de cinco mazorcas cosechadas (Anexo 4).

%G: Porcentaje de grano, se obtiene del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las mismas mazorcas con olote, multiplicado por 100.

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

8600: Es una constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial del 14%, kg ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo con la estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero propuesta por De la O *et al.* (2018), se utilizaron los siguientes factores:

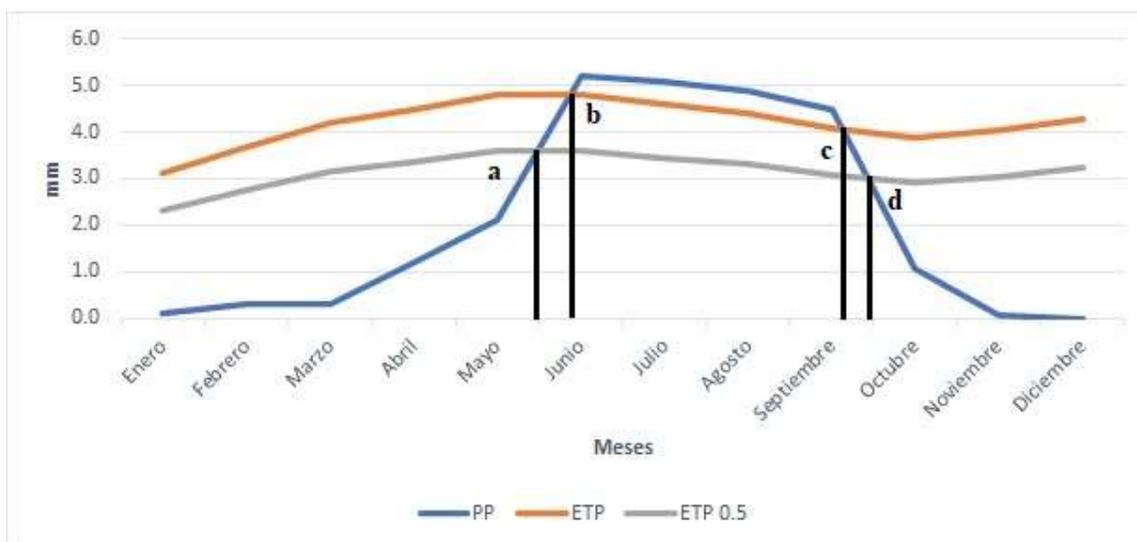
- **Tiempo de reventado:** se agregó una muestra de 80 g de grano, dentro de una máquina para hacer palomitas de maíz de la marca Cuisinart, modelo CMP100W que revienta el maíz mediante aire caliente. Se determinó el tiempo que tardaron los granos en reventar.

- **Volumen de reventado:** una vez tomado el tiempo de reventado, se depositaron las palomitas obtenidas en una probeta de 2,000 cm<sup>3</sup> y se midió el volumen ocupado por éstas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de la estación de crecimiento de los ambientes evaluados.

En la Figura 11 se muestran los datos obtenidos por la disponibilidad de humedad (Método de la FAO) para la comunidad de Huexotla. Esta indica que el inicio de la estación de crecimiento es durante finales de mayo y finaliza a finales de septiembre. Asimismo, el período húmedo comprende de los meses de junio a septiembre.

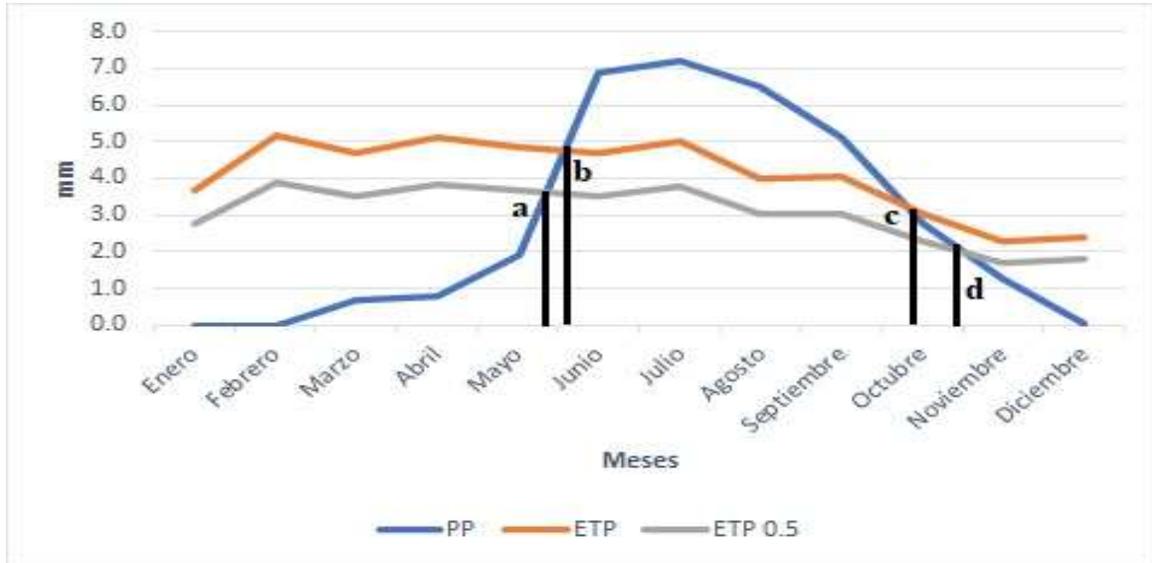


**Figura 11. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad en el ambiente de Huexotla. Estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, 2018.**

Donde:

- a= Inicio del período de crecimiento.
- b= Inicio del período húmedo.
- c= Fin del período húmedo.
- d= Fin del período de crecimiento.

Para el ambiente de Cuautitlán (Figura 12) el inicio la estación de crecimiento comienza en la segunda quincena de mayo y finaliza la segunda quincena de octubre, el período húmedo comprende los meses de junio a octubre, teniendo 5 meses de humedad.



**Figura 12. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad en el ambiente de Cuautitlán. Estación Almaraz, 2018.**

Donde:

- a= Inicio del período de crecimiento.
- b= Inicio del período húmedo.
- c= Fin del período húmedo.
- d= Fin del período de crecimiento.

Para ambos ambientes se observó que la estación de crecimiento fue normal y la disponibilidad de agua correspondió al ciclo de lluvias de verano, esto debido a que las zonas de estudio corresponden principalmente a un clima templado.

#### **4.2. Análisis de varianza para las diferentes variables evaluadas**

En el Cuadro 4, se muestra el análisis de varianza para las fuentes de variación ambiente, repetición, genotipo, así como la interacción ambiente x genotipos, para distintas variables evaluadas en maíces rojos con potencial palomero para Valles Altos de México tomando en cuenta la información de los ambientes de evaluación de la FES Cuautitlán, UNAM y Huexotla, Texcoco, durante el ciclo primavera-verano 2018.

**Cuadro 4. Cuadros medios y significancia estadística para las variables evaluadas en variedades de maíz rojo con potencial palomero evaluadas en los ambientes FES Cuautitlán, UNAM y Huexotla, Texcoco, para Valles Altos de México.**

Variable	Fuentes de variación				Media	CV (%)
	Ambiente (Amb)	Repetición	Genotipo (Gen)	Amb x Gen		
Rendimiento (kg/ha <sup>-1</sup> )	68 781,511**	19 02,871**	22 075,232**	4 601,888**	6,029	9
Floración masculina (días)	312**	17**	18**	8**	78	2
Floración femenina (días)	257**	14**	32	11**	80	2
Altura de planta (cm)	54 <sup>NS</sup>	380*	821**	435**	234.	5
Altura de mazorca (cm)	14,975**	96 <sup>NS</sup>	287**	268**	122	8
Peso volumétrico (kg/HL <sup>-1</sup> )	68**	4 <sup>NS</sup>	15**	4 <sup>NS</sup>	79	3
Peso de 200 granos (g)	561**	37 <sup>NS</sup>	277**	97 <sup>NS</sup>	37	21
Longitud de mazorca (cm)	0 <sup>NS</sup>	1 <sup>NS</sup>	6 <sup>NS</sup>	1 <sup>NS</sup>	12	8
Hileras/mazorca	2 <sup>NS</sup>	3 <sup>NS</sup>	6 <sup>NS</sup>	2 <sup>NS</sup>	16	8
Granos por hilera	0 <sup>NS</sup>	10 <sup>NS</sup>	15 <sup>NS</sup>	7 <sup>NS</sup>	28	10
Diámetro de mazorca (cm)	1**	0 <sup>NS</sup>	0**	0 <sup>NS</sup>	4	7

Significancia estadística al 0.01 y 0.05 de probabilidad (\*\*, \*); CV: Coeficiente de variación, NS: No significativo.

Para la variable rendimiento de grano se detectaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), para todas las fuentes de variación, lo que indica diferencias en capacidad de rendimiento de los genotipos,. Lo anterior es importante ya que la primera premisa de todo programa de mejoramiento genético, es contar con diferentes genotipos, como ocurre en este caso (Espinosa *et al.*, 2018). Estas diferencias interactúan con las condiciones específicas de cada uno de los dos ambientes de evaluación. La media general del rendimiento fue 6,028 kg ha<sup>-1</sup> y el coeficiente de variación fue de 9% (Cuadro 2).

La media observada de peso volumétrico ( $79 \text{ kg hL}^{-1}$ ) demuestra que se trata de maíces de granos duros; sin embargo, esta dureza es menor a la del palomero comercial que ronda los  $84.83 \text{ kg hL}^{-1}$  (Bautista *et al.*, 2019).

Para la fuente de variación ambiente, se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para las variables de floración masculina, floración femenina, altura de mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos y diámetro de mazorca. Para el factor de variación genotipo, las variables con diferencias altamente significativas fueron; rendimiento, floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos y diámetro de mazorca, dichas variables también fueron significativas para el factor ambiente salvo la variable altura de planta. Para las variables de longitud de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera, no se detectaron diferencias estadísticas significativas para ambos factores de variación.

Para el factor de variación ambiente x genotipo se detectó diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) para las variables de rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta y altura de mazorca; las variables peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, hileras/mazorca, granos por hilera y diámetro de mazorca no mostraron significancia estadística.

#### **4.2 Comparación de medias para ambientes**

En el Cuadro 5, se presenta la comparación de medias entre ambientes evaluados, para diversas variables. Para rendimiento se encontró diferencia significativa entre los dos ambientes, definiendo que la FES Cuautitlán, UNAM, con  $6,874 \text{ kg ha}^{-1}$  fue superior estadísticamente a Huexotla, Texcoco cuya media fue  $5,181 \text{ kg ha}^{-1}$ , para todas las variables estudiadas, se presentaron diferencias significativas, salvo en altura de planta que no mostró diferencia significativa.

**Cuadro 5. Comparación de medias para algunas variables tomando en cuenta la media de los 16 genotipos palomeros evaluados.**

Ambiente	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Peso volumétrico (kg hL <sup>-1</sup> )	Peso de 200 granos (g)
FES-Cuautitlán	6874 a	76 b	78 b	235 a	134 a	79.6 a	39.8 a
Huexotla, Texcoco	5181 b	80 a	81 a	233 a	109 b	77.9 b	35.0 b
D.H.S (P<0.05)	227	1	1	4	4	1	3.3

D.H.S: Diferencia honesta significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Para el caso de las variables rendimiento, altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico y peso de 200 granos, el ambiente de FES Cuautitlán, UNAM se mostró superior comparado con el de Huexotla, Texcoco, esto debido a que como se expuso en las estaciones de crecimiento, el ambiente de FES Cuautitlán, UNAM tuvo 5 meses de período húmedo en comparación con Huexotla, Texcoco, que sólo duró 4 meses, además de que en el primero hubo una mayor precipitación. Como menciona Ruiz (2018) el maíz requiere aproximadamente de 8.5 mm de agua por día en la etapa R1, que es la demanda de agua más alta de su ciclo y cuando ésta no se cumple, las plantas se ven afectadas por estrés hídrico, la aparición de estigmas puede retrasarse y en consecuencia se genera una falta de sincronización entre la liberación del polen y la aparición de estigmas, resultando en una mala polinización, lo que reduce el potencial de rendimiento.

En lo que concierne a las variables de floración masculina y floración femenina, el ambiente de Huexotla, Texcoco, fue superior en comparación con el de FES Cuautitlán, UNAM ya que en promedio los genotipos fueron más tardíos, con una diferencia de 4 días. Esto quizá por la variación que hubo en la temperatura máxima de los ambientes. Para Huexotla fue de 23.4 °C y para FES Cuautitlán, UNAM fue de 23.7 °C y como menciona Noriega *et al.* (2011) la floración también es afectada por altas temperaturas, las cuales pueden desincronizar la floración femenina y la antesis (Cicchino *et al.*, 2010).

### 4.3 Comparación de medias para genotipos

En la comparación de medias para genotipos (Cuadro 6), en la variable de rendimiento se presentaron nueve grupos de significancia, en el grupo de mayor rendimiento se ubicó el material IAMRO 5; con un rendimiento promedio de 9,831 kg ha<sup>-1</sup>; y en el segundo lugar y mismo primer grupo de significancia se ubicó la variedad IAMRO 2 con 9,278 kg ha<sup>-1</sup>; los rendimientos de ambos genotipos son competitivos respecto a la variedad V 460P, que tiene un potencial para rendimiento de grano de 5 t ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego y 2.3 t ha<sup>-1</sup> para temporal, de acuerdo con Valadez *et al.*, 2014; las variedades IAMRO 5 y IAMRO 2 también superan el rendimiento de 7.0 a 7.5 t ha<sup>-1</sup>, del híbrido H 367 P (Miranda, 1977). Otras dos variedades (IAMRO 4 y 7), exhibieron rendimientos competitivos de 8,378 y 7,890 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El menor rendimiento lo presentó el material IAMRO 14 con 3,247 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 6. Comparación de medias entre 16 genotipos de maíz rojo para diversas variables evaluadas tomando en cuenta la media de dos ambientes de Valles Altos. Ciclo P-V 2018.**

Genotipos	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Peso volumétrico (kg hL <sup>-1</sup> )	Peso de 200 granos (g)
IAMRO 5	9831 a	77 bc	79 cde	246 ab	127 ab	80 abc	52 a
IAMRO 2	9278 ab	78 bc	79 de	238 abcd	120 abc	78 bc	48 ab
IAMRO 4	8348 bc	77 bc	79 de	240 abc	122 abc	78 bc	35 abcd
IAMRO 7	7890 c	78 bc	77 e	250 a	137 a	78 bc	41 abcd
IAMRO 1	6632 d	77 bc	78 e	246 ab	124 abc	77 c	38 abcd
IAMRO 9	6039 de	77bc	78 de	244 ab	126 ab	77 bc	37 abcd
IAMRO 10	5938 de	79 cb	81 bcd	237 abcd	122 abc	83 a	39 abcd
IAMRO 8	5865 def	77 bc	78 de	237 abcd	116 bc	80 abc	38 abcd
IAMRO 13	5155 efg	77 bc	79 cde	227 bcde	116 bc	78 bc	32 bcd
IAMRO 15	4760 fgh	80 b	83 b	218 cde	123 abc	77 c	40 abcd
IAMRO 11	4747 fgh	78 bc	80 bcde	239 abc	120 abc	81 ab	31 cd
IAMRO 6	4542 gh	76 c	78 de	235 abcd	126 ab	79 abc	42 abc
IAMRO 16	4452 gh	83 a	86 a	233 abcd	119 abc	79 abc	29 cd
IAMRO 17	4452 def	79 bc	82 b	233 abcd	125 ab	77 bc	33 bcd
IAMRO 3	3927 hi	77 bc	80 bcde	216 de	119 abc	77 bc	38 abcd
IAMRO 14	3247 i	79 bc	82 bc	208 e	104 c	79 abc	25 d
D.H.S ( <i>p</i> ≤0.05)	1149	3	3	22	20	4	17

D.H.S: Diferencia honesta significativa (*p*≤0.05).

El peso volumétrico está relacionado en forma directa con la dureza del grano (De la O *et al.*, 2018) y este podría tener relación con el reventado, el grano de mayor dureza corresponde al genotipo IAMRO10, con un valor de 83 kg hL<sup>-1</sup>, lo que haría de este material una buena opción para comenzar el mejoramiento para maíz palomero, además de tener un rendimiento de 5,938 kg ha<sup>-1</sup>. El genotipo de mayor rendimiento, es decir el IAMRO 5, presentó 80 kg hL<sup>-1</sup> de peso volumétrico, ubicándose en el primer grupo de significancia, además de expresar el rendimiento de grano más alto, por lo que sería importante calificar la calidad preliminar en el reventado, es decir la calidad en volumen de expansión.

Por su parte las variables días a floración masculina y femenina, son muy importantes, ya que tienen estrecha relación con el ciclo vegetativo y con los días a la madurez fisiológica (CONACYT, 2010). Para la floración masculina, las primeras ocho variedades llegaron a esta etapa fenológica entre 77 y 79 días y para la floración femenina entre 79 y 81 días, lo que indica que son variedades intermedias a precoces (Amado, 2017) para los Valles Altos, lo que representa ventaja para prosperar en condiciones de punta de riego y temporal (Cuadro 6).

En otras variables como altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico y peso de 200 granos, se presentaron diferencias entre las variedades, debido a sus diferencias en la composición genética, y a la interacción de los genotipos con las diferentes condiciones agroclimáticas presentes en los ambientes (Cuadro 6). Lo anterior es relevante, ya que las diferencias indican que la aplicación de mejoramiento genético, iniciando con algún esquema de selección, podría basarse en que hay disponibilidad de variabilidad genética, factor importante para el éxito del mejoramiento genético.

#### **4.4 Análisis de varianza para las variables de volumen y tiempo de reventado**

Para las pruebas de reventado se utilizaron sólo los materiales cosechados en el ambiente FES Cuautitlán, UNAM y como se observa en el Cuadro 7, en el factor de variación genotipo, en las variables evaluadas se detectaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), con una media para el volumen de reventado de 532 cm<sup>3</sup> y un coeficiente de variación de 20%,

mientras que para el tiempo de reventado se obtuvo una media de 76 segundos y un coeficiente de variación de 8%.

**CUADRO 7. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de volumen y tiempo de reventado en variedades de maíz rojo con potencial palomero para Valles Altos de México. Ciclo P-V 2018, FES Cuautitlán, UNAM.**

Variable	CUADRADOS MEDIOS			CV (%)
	Bloque	Genotipo	Bloque	
Volumen de reventado	2480	223036**	532	20
Tiempo de reventado	30	134**	76	8

Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*), al 0.05 de probabilidad (\*); CV: Coeficiente de variación (%).

#### 4.5 Comparación de medias para volumen y tiempo de reventado

En la comparación de medias para volumen y tiempo de reventado (Cuadro 8) se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los materiales evaluados, en el cual se definieron siete grupos de significancia para la variable de volumen de expansión; de las 16 variedades evaluadas, dos (IAMRO 6 y IAMRO 16) se ubicaron en el primer grupo, sobresaliendo del resto con un volumen de 1050 cm<sup>3</sup>, cada una, con un tiempo de reventado de 79 y 72 segundos, respectivamente. Lo que permitiría aplicar selección entre estos materiales y avanzar en estas características. Con estos resultados se muestra que las variedades analizadas tienen capacidad para continuar dentro del programa de mejoramiento de maíz palomero y generar nuevas variedades.

**CUADRO 8. Comparación de medias para el volumen y tiempo de reventado de 16 variedades de maíz rojo con potencial palomero, Ciclo P-V 2018, FES Cuautitlán, UNAM.**

<b>Genotipo</b>	<b>Volumen de reventado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de reventado (seg)</b>
IAMRO 6	1050 a	79 ab
IAMRO 16	1050 a	72 b
IAMRO 4	850 ab	73 b
IAMRO 10	820 ab	77 b
IAMRO 1	650 bc	70 b
IAMRO 3	593 bcd	68 b
IAMRO 8	460 cde	82 ab
IAMRO 11	440 cde	81 ab
IAMRO 2	400 cde	78 ab
IAMRO 13	380 cde	71 b
IAMRO 15	370 cde	81 ab
IAMRO 9	370 cde	73 b
IAMRO 14	370 cde	72 b
IAMRO 5	280 de	73 b
IAMRO 7	267 e	76 b
IAMRO 12	200 e	96 a
<b>D.H.S (0.05)</b>	<b>323</b>	<b>18</b>

D.H.S: Diferencia honesta significativa ( $p \leq 0.05$ ).

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El mejor ambiente para la variable de capacidad productiva, definida por rendimiento fue FES Cuautitlán, UNAM, obteniéndose un rendimiento promedio de  $6,874 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo que es competitivo respecto a los rendimientos promedios para investigaciones con maíz palomero.
2. El mejor rendimiento lo obtuvo la variedad IAMRO 5, que rindió  $9831 \text{ kg ha}^{-1}$ , además exhibió un peso volumétrico aceptable ( $80 \text{ kg hL}^{-1}$ ), ubicándose en el primer grupo de significancia, pero no así en el volumen de reventado ya que se encontró en el penúltimo grupo de significancia con  $280 \text{ cm}^3$ .
3. Los mejores genotipos en cuanto a volumen de reventado fueron IAMRO 6 y IAMRO 16 con un volumen de expansión de  $1050 \text{ cm}^3$  cada una, lo que las ubica en el primer grupo de significancia, también ambas variedades tuvieron un rendimiento de  $4,542 \text{ t ha}^{-1}$  y un peso volumétrico de  $79 \text{ kg hL}^{-1}$  por lo que podrían ser variedades para continuar con el proceso de mejoramiento genético en la obtención de genotipos reventadores en los Valles Altos de México.
4. El genotipo IAMRO 10, por sus características de rendimiento ( $5938 \text{ kg ha}^{-1}$ ), peso volumétrico ( $83 \text{ kg hL}^{-1}$ ) y volumen de expansión ( $820 \text{ cm}^3$ ) se consideró como la variedad sobresaliente ya que sus valores en cada variable cumplen con los criterios de selección en el mejoramiento de los maíces palomeros de México. Por lo cual podría ser utilizada para continuar con el mejoramiento genético a partir de este material.
5. Es necesario continuar evaluando estos materiales en comparación con testigos de variedades de maíz palomeras disponibles en el propio programa, así como iniciar un programa de recombinación y selección dentro de cada variedad de los mejores

materiales, así como revisar la posibilidad de combinar las mejores variedades con los genotipos elites del programa de mejoramiento en maíces palomeros de la FESC UNAM.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

Arendt, E. y Zannini, E. 2013. Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. WP. E.U.A.

Amado, P. 2017. Recomendaciones técnicas para elegir el ciclo y la variedad de maíz más adecuada. Disponible en: <https://www.campogalego.com/es/recomendaciones-tecnicas-para-elegir-el-ciclo-y-la-variedad-de-maiz-mas-adeuada/>. Fecha de consulta: 02 de septiembre de 2019.

Bautista, R.E., Salinas, M.Y., Santacruz, V.A, Córdova, T.L. y López, S.H., 2019. Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero Toluqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10 (2): 1441-1446 p.

Bedoya, C. y Chávez, V.H., 2010. Teocintle: El ancestro del maíz, *Claridades agropecuarias*, 35(201): 32-42 p.

Cicchino, M., Edreira, J.I. y Otegui, M E. 2010. Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature. *Crop Sci*. 50(4):1431-1437 p.

CONABIO. 2011. Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>. Fecha de consulta: 08 de octubre de 2010.

CONABIO. 2012. Razas de maíz de México. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html>. Fecha de consulta: 15 junio de 2019.

CONACYT, 2010, *Maíz*. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>. Fecha de consulta: 15 de junio 2019.

De la O, O.M., Santacruz, V.A., Sangerman, J.D., Gámez, V.A., 2018. Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7): 1471-1483 p.

De la Teja, O. 1982. Estudio de las Características Edáficas de los Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Agrícolas. UNAM. México. 15 p.

Deras, H., 2017. El cultivo del maíz. Editorial IICA. Salvador. 58 p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2003. Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas. *SEGOB*. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=695888&fecha=22/05/2003](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=695888&fecha=22/05/2003). Fecha de consulta: 10 de junio de 2018.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). Ley Federal para el Fomento y Protección del Maíz Nativo. 13 de abril de 2020.

Effa E.B., 2012. Yield Performance of Popcorn (*Zea mays* L. *evarta*) under Lime and Nitrogen Fertilization on an Acid Soil. *Journal of Agricultural Scienc.* 4(5): 12-19 p.

Espinosa, C.A., Sierra, M.M., Palafox, C.A., Rodríguez M.F. y Andrés M.P. 2013. Líneas de maíz convertidas al carácter de alta calidad de proteína. *Universidad y ciencia*, 29(3), 317-323 p.

Espinosa, C.A., Tadeo, R. M., Cárdenas, M.A., López, L.C., Canales, I.I., Sierra, M.M., Gómez, M.N. 2018. Rendimiento y perspectivas de uso comercial de variedades de maíz palomero en Valles Altos de México. *Acta Fitogenética*. 5(1): 84-94 p.

Fassio, A. Crriquiry, A.I., Tojo, C., Romero, R. 1998. Maíz: Aspectos sobre fenología. INIA. Uruguay. 1-15 p.

Gámez, V.A., De la O, O.M., Santacruz, V.A., López, S.H. 2014. Conservación *in situ*, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(8): 1519-1530 p.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 16ª Edición. UNAM. México. 246 p.

García, T.A. 2015. UV-C en el control de aflatoxinas en granos de maíz palomero (*Zea mays evarta*) bajo un enfoque sistémico. Tesis de licenciatura Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. 78 p.

Gómez, J. y Esquivel, M., 2012, Agroclimatología del maíz de México. *Revista Geográfica*. 32(6). 123-140 p.

González, G.S. 2018. Incrementan importaciones de maíz en México. *La Jornada*, 24-25 p.

INIFAP, 2018, Ficha técnica del maíz. Disponible en: <http://siafemor.inifap.gob.mx/anec/ficha-tecnica-maiz.php>. Fecha de consulta: 18 de septiembre 2019.

Kato, T.A., Mapes, L.M., Mera, J.A. Serratos, R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. J. Sánchez G., E. Buckler, and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99 (6): 6080-6084 p.

Miranda J., O. 1977. H 367 P híbrido de maíz palomero de riego para el Bajío. Desplegable numero 68, CIAB, INIA, SARH, Campo Experimental Bajío.

Noriega, L.A., Preciado, R.E., Andrio, E., Terrón A.D. y Covarrubias, P.J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2(4): 489-500 p.

Paraginski, R.T., Vanier, N.L., Moomand, K., Oliveira, M., Zavareze, E.R., Silva, R.M., Ferreira, C.D. y Elias, M.C. 2014 Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. Carbohydrate Polymers, 102: 88-94 p.

Ramírez, C.M. 2006. Caracterización y almacenamiento de grano de elotes criollos de la región Otomí-Tepohua del estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura UAEH. Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

Rojas, G.S. 2016. Estudio de la producción de maíz palomero en México y su oportunidad de negocio en el mercado nacional. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.

Rodríguez, M. 2014. Normal climática de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México (1987-2013). Tesis de licenciatura UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Romero, C.T., González, D.L. y Reyes, R.G. 2005. Geografía e historia cultural del maíz palomero toluqueño (*Zea mays everta*). Ciencia Ergo Sum. 13(1): 47-56 p.

Ruiz, M.Á. 2018. Daños al cultivo de maíz por exceso o falta de agua. Disponible en: [https://semillastodoterreno.com/2018/08/danos-al-cultivo-de-maiz-por-exceso-o-falta-de-agua#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20requiere%20aproximadamente%20de,m%C3%A1s%20alta%20de%20su%20ciclo.&text=Las%20hojas%20de%20la%20planta, reducir%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20agua](https://semillastodoterreno.com/2018/08/danos-al-cultivo-de-maiz-por-exceso-o-falta-de-agua#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20requiere%20aproximadamente%20de,m%C3%A1s%20alta%20de%20su%20ciclo.&text=Las%20hojas%20de%20la%20planta, reducir%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20agua.). Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018.

Sanz, J. 2013. El negocio del maíz pop corn. Revista Apertura. Sección de negocios, Argentina. Disponible en: <http://www.apertura.com/negocios/El-negocio-del-maiz-pop-corn-20130521-0005.html>. Fecha de consulta: 13 de abril de 2019.

Secretaría de Economía. 2018. Comercio anual. Sistema de Información Arancelaria. Disponible en: <http://www.economia-snci.gob.mx/>. Fecha de consulta: 19 de febrero de 2019.

SEP. 1982. 30 monografías populares sobre el maíz. Secretaría de educación Pública, México.

SIAP. 2018. Resumen nacional por cultivo, SADER. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do). Fecha de consulta: 22 de abril de 2019.

Sweley, J.; Rosse, D. y Jackson, D. 2013. Quality traits and popping performance considerations for popcorn (*Zea mays* Everta). Food Reviews International. 2(29): 157-177 p.

Toledo, B.R. 2015. "San Luis Huexotla, municipio de Texcoco, Estado de México." Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2(3): 461-466 p.

Valadez, G.J., Gómez, M.N., Preciado O.R., Reyes, M.C. y Peña, R.A. 2014. V460P, variedad de maíz palomero para la región de Las Huastecas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(5): 1303-1308 p.

Villanueva, R., 2008, El maíz reventador como alternativa industrial., Ingeniería Industrial. 8(26): 113-124 p.

Wellhausen, E. J., Roberts L.M., E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf, 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 55. México D. F.

# **ANEXOS**



Anexo 1. Más de 50 % de plantas en etapa reproductiva, donde se comienza a determinar los días a floración.



Anexo 2. Comparación de tamaño de mazorcas en pie de planta.



Anexo 3. Mazorcas cosechadas después de obtener el peso de campo.



Anexo 4. Muestra de cinco mazorcas para la determinación de datos en laboratorio.



Anexo 5. Prueba de reventado para la determinación de calidad de palomitas.