



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**PRODUCTIVIDAD DE COLECTAS DE MAÍZ
PALOMERO TOLUQUEÑO (*Zea mays everta*) EN
VALLES ALTOS DE MÉXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

P R E S E N T A:

KAREN ELIZABETH AGUILAR VELÁZQUEZ

**ASESORA:
Dra. MARGARITA TADEO ROBLEDO**

**COASESOR:
Dr. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN**

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2021



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 TITULACIÓN

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, autoriza a la alumna:
Karen Elizabeth Aguilar Velázquez
Con número de cuenta: 313126660 a presentar el trabajo de: **Tesis**

Productividad de colectas de maíz palomero toluqueño (*Zea mays everta*) en Valles Altos de México.

Bajo la asesoría de: **Dra. Margarita Tadeo Robledo**
Para obtener el título de: **Ingeniera Agrícola**

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
PRESIDENTE	<u>M. en C. Vicente Silva Carrillo</u>		<u>06/04/2021</u>
VOCAL	<u>Dra. Margarita Tadeo Robledo</u>		<u>4/03/2021</u>
SECRETARIO	<u>Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza</u>		<u>17/03/2021</u>
1er. SUPLENTE	<u>M. en M. Josefina Moreno Lara</u>		<u>17/03/2021</u>
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Karina Yasmine Mora Garcia</u>		<u>6/03/2021</u>

Atentamente notificamos su participación en la revisión y evaluación del trabajo para que en un plazo no mayor a 15 días hábiles emita su VOTO APROBATORIO. Si existieran correcciones u observaciones en el trabajo, contaría con 15 días hábiles más a partir del momento en que el pasante entrega el trabajo corregido, para emitir su VOTO APROBATORIO o RECHAZO, todo esto de acuerdo con el Reglamento para Titulación de la FES Cuautitlán.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Febrero de 2021.

I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
JEFA DEL DEPARTAMENTO

DEPARTAMENTO DE
NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/javg

Dedicatoria

A mis padres, Yolanda y Efren por apoyarme en mis estudios de licenciatura a pesar de todas las adversidades a lo largo de mi vida universitaria.

A mi hermano Manuel por ser una fuente de inspiración para mí, por siempre darme el mejor ejemplo.

A mis hermanos, Angel y Estefania que siempre escuchaban mis anécdotas vividas durante mi paso por Ingeniería Agrícola.

A mi mejor amiga Bárbara la cual ha estado en mis alegrías y tristezas dándome su apoyo incondicional a pesar de la distancia.

A mi amiga Jazmín que me acompañó durante mis estudios universitarios aconsejándome sabiamente y brindándome una amistad sincera llena de nuevas experiencias que siempre recordaré.

Al Ing. Edgar Ornelas por brindarme su amistad y orientarme profesionalmente con sus consejos llenos de experiencias que me sirvieron como motivación para seguir cumpliendo mis sueños.

*De niña pensé que ser científica era un sueño inalcanzable,
ahora no me imagino no siendo una mujer de ciencia.*

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme una educación profesional que comenzó desde el Colegio de Ciencias y Humanidades, integrándome a una comunidad estudiantil que me ha permitido crecer como ser humano. Además de darme las bases para comenzar una nueva etapa en mi vida como Ingeniera Agrícola.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por el apoyo brindado en mi paso por la vida universitaria dándome la oportunidad de estudiar idiomas y ser parte de un taller cultural que ayudo en mi formación profesional.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): IT 201618 por los recursos económicos otorgados para el desarrollo de investigación.

A la Dra. Margarita Tadeo Robledo por ser mi guía en mi sueño de convertirme en una científica orientándome en mis inquietudes durante diversas investigaciones. Además, por permitirme ser parte de un grupo multidisciplinario en el sector agrícola en el cual se me brindó la oportunidad de conocer a científicos reconocidos por sus aportaciones en la agricultura en México.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por todo su conocimiento en técnicas de mejoramiento genético que sentaron el interés en mi por ser parte de su equipo de trabajo. Así mismo, por la oportunidad de ser ayudante de Investigador Nacional Nivel III por el Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Al equipo de trabajo del laboratorio de semillas, Dr. Enrique Inocencio Canales Islas, Dra. Consuelo López López, Ing. Israel Arteaga Escamilla e Ing. Julio César García Espinosa por ayudarme en la toma de datos de mi investigación durante los dos años.

Al Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra por brindarme los datos de la estación climática automatizada de El Huerto en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán para el análisis de mi trabajo de investigación.

A la M. Alma Lili Cárdenas Marcelo y la Fundación Tortilla de Maíz Mexicana por brindarnos los genotipos de esta investigación.

A los miembros del jurado: M. en C. Vicente Silva Carrillo, Dra. Margarita Tadeo Robledo, Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza, M. en M. Josefina Moreno Lara e Ing. Karina Yazmine Mora García.

A los profesores que siempre me brindaron su apoyo durante mis estudios en Ingeniería Agrícola: Ing. Monserrat Tapia Hernández, Ing. Saúl Alejandro Diez de Sollano Hernández, Ing. Minerva Edith Téllez Ordaz, M. en C. Laura Virginia Núñez Balderas, Ing. Javier Carrillo Salazar, M. en C. Juan Roberto Guerrero Agama y Biol. Marcos Espadas Reséndiz.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen.....	4
2.2. Clasificación	5
2.2.1. Palomero de Chihuahua.....	5
2.2.2. Palomero de Jalisco	6
2.2.3. Palomero Poblano.....	6
2.3. Diversificación	7
2.4. Importancia económica y producción.....	8
2.4.1. Importación	16
2.5. Características.....	17
2.6. Reventado del grano	18
2.6.1. Reventado del grano en comunidades mazahuas.....	20
2.7. Calidad	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Origen de los materiales	21
3.2. Descripción de la zona de estudio	21
3.3. Material genético	24
3.4. Diseño experimental	24
3.5. Establecimiento del experimento	25
3.6. Variables evaluadas	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
4.1. Análisis de varianza	29

4.2. Comparación de medias de los ambientes evaluados.....	31
4.3. Comparación de medias de los genotipos evaluados.....	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. LITERATURA CONSULTADA	39
ANEXO	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maíz Palomero Toluqueño.	4
Figura 2. Clasificación de las razas de maíz y origen del maíz Palomero Toluqueño.	6
Figura 3. Razas de maíz de América.	7
Figura 4. Distribución geográfica de maíces palomeros en México. Elaboración propia.	9
Figura 5. Áreas de distribución y potencial de la raza Palomero Toluqueño.	10
Figura 6. Superficie sembrada de 1980 a 2019 de maíz palomero en México.	11
Figura 7. Superficie sembrada de temporal y riego de 1980 a 2019 de maíz palomero en México.	12
Figura 8. Productividad de 1980 a 2019 de maíz palomero en México.	13
Figura 9. Productividad de 1980 a 2019 de maíz palomero de temporal y riego en México.	14
Figura 10. Rendimiento de 1980 a 2019 de maíz palomero en México.	15
Figura 11. Rendimiento de temporal y riego de 1980 a 2019 de maíz palomero en México.	16
Figura 12. Importaciones de maíz palomero del año 2003 al 2019.	17

Figura 13. Condiciones climáticas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM durante el ciclo del cultivo 2018.	22
Figura 14. Condiciones climáticas del año 2019 del ciclo del cultivo de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.	22
Figura 15. Temperaturas promedio y precipitación de la estación climática Chapingo de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) para el ciclo del cultivo en el 2018. Elaboración propia.	23
Figura 16. Temperaturas y precipitación de la estación climática Chapingo de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) del ciclo del cultivo 2019.	24

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Maíces palomeros evaluados en 2019 y 2020 en dos localidades de Valles Altos.....	25
Cuadro 2. Fechas de siembra y cosecha de los experimentos.....	26
Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de la evaluación de 22 variedades nativas de maíces palomeros evaluados en cuatro ambientes de Valles Altos.....	31
Cuadro 4. Comparación de medias para producción de grano de maíz palomero de 22 genotipos en cuatro ambientes..	33
Cuadro 5. Comparación de medias de 22 variedades nativas y testigos de maíces palomeros para rendimiento de grano y otras variedades considerando la media de cuatro ambientes de evaluación.....	35

RESUMEN

Con el fin de rescatar la raza de maíz Palomero Toluqueño, la Fundación de Tortilla de Maíz Mexicana realizó una colecta de diversos genotipos en las comunidades mazahuas y otomíes del Estado de México en el año 2017. Para realizar la investigación de productividad de los maíces Palomeros Toluqueños colectados, se sembraron en el año 2018 y 2019 en la Parcela 7 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC – UNAM), en Huexotla y CEVAMEX - INIFAP estas últimas dos en Texcoco, Estado de México teniendo 4 ambientes. Se sembraron 20 variedades nativas colectadas y 2 genotipos más como testigos en el experimento durante el ciclo Primavera – Verano. Se evaluaron 17 variables durante el crecimiento del cultivo y hasta después de la cosecha. Las parcelas útiles fueron surcos de 5 metros de largo por 0.8 metros de ancho con una densidad de 70000 plantas ha⁻¹. Se realizó un análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba Tukey con una significancia del 0.05 en cada variable evaluada.

Los resultados del análisis estadístico mostraron que el rendimiento promedio de los genotipos en los cuatro ambientes de evaluación fue de 2537.1 kg ha⁻¹. El ambiente con mayor rendimiento fue Huexotla 2018 con 3134 kg ha⁻¹ al presentar mazorcas más grandes y mayor cantidad de granos y el de menor fue CEVAMEX – INIFAP 2019 con 1133 kg ha⁻¹. El genotipo con mayor rendimiento fue SFF FMH 1 con 3759 kg ha⁻¹. Los rendimientos más bajos con menos de 1800 kg ha⁻¹ fueron JF FMH 1, JF FMH 2 y ARR FMH 2.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz palomero (*Zea mays everta*) es uno de los granos más importantes para ser consumido en forma de palomita. Su centro de origen se localiza en Mesoamérica. La domesticación de esta planta sucedió hace 8000 años a partir del teocintle (Mera y Caballero, 2010) y su evolución es resultado de la interacción de procesos biológicos y factores ecológicos con la dinámica cultural y los intereses del hombre (Bedoya *et al.*, 2010). Esto ha contribuido en la formación de razas con características propias (Ortega *et al.*, 2013). México cuenta con 59 razas, siendo el país con mayor diversidad en el mundo con el 21% de las razas totales registradas en América (SNICS, 2016). Los maíces mexicanos tienen un papel importante en el desarrollo de las variedades modernas (Wellhausen *et al.*, 1951). Sin embargo, los fitomejoradores han encontrado dificultades para el desarrollo de variedades de maíz palomero con alto rendimiento en grano y mayor expansión de la roseta.

El mejoramiento genético y desarrollo de nuevos genotipos de maíz palomero es muy importante, más aún es utilizar la diversidad genética de las variedades nativas de maíces palomeros, que representa una oportunidad de aprovechar su adaptación y tolerancia a enfermedades, para elevar la producción de este cultivo. El uso del maíz palomero se restringe específicamente a la producción de palomitas, pero su participación en la producción nacional es limitada. En términos agrícolas es utilizado también en la resiembra, cuando se ha perdido la semilla de otras variedades plantadas por causas ambientales o plagas, lo mismo que para cubrir los espacios donde por alguna razón las plantas de la siembra original no germinaron. Este tipo de maíz es reconocido por sus características de resistencia a los rigurosos fríos, sequías y plagas lo cual lo hace un candidato natural para la resiembra (Romero *et al.*, 2006).

Su producción se ve afectada por factores como falta de conocimiento del tipo de maíz sembrado, pocas variedades desarrolladas para las regiones con potencial productivo, desinterés de las nuevas generaciones, falta de paquetes

tecnológicos y mal manejo postcosecha. En el país se cuenta con una variedad desarrollada V460P para el estado de Tamaulipas (Valadez *et al.*, 2014), principal productor de maíz palomero con 222.6 hectáreas y un rendimiento de 2680 kg ha⁻¹ (SIAP, 2019). No obstante, el maíz palomero tiene gran potencial en sus estados de origen como lo son: maíz Palomero Toluqueño (Estado de México), maíz Palomero de Jalisco y maíz Palomero de Chihuahua. Para su producción es importante definir las ventajas de las variedades nativas para el desarrollo de variedades con la capacidad de adaptación al ambiente. Es importante considerar el volumen y calidad de la roseta en la expansión y humedad del grano, forma de la roseta, persistencia, dureza y grosor del pericarpio, granos sin reventar y contenido de amilosa y amilopectina para obtener materiales con características de calidad de palomitas idóneos para su consumo.

El uso de maíz Palomero Toluqueño en comunidades mazahuas es para la elaboración de adornos de festividades religiosas desde hace más de 30 años. Las variedades comerciales han desplazado la siembra de la raza antigua al tener rendimientos bajos e incrementarse su demanda (Bellon *et al.*, 2009 citado por Bautista *et al.*, 2018). Además, estudios realizados por Santacruz en 2001 citado por Bautista *et al.*, 2019, menciona que los maíces comerciales estadounidenses tienen una mayor expansión que los maíces Palomeros Toluqueños. Por estas razones y otras como la precocidad y la tendencia al acame, el maíz palomero se encuentra en el abandono de los productores. En los últimos años, la importación de este grano es del 97% del consumo total de la población mexicana proveniente principalmente de los países de Estados Unidos y eventualmente de Argentina (Rojas, 2016).

1.1. Objetivos

- Definir las características agronómicas y rendimiento de 20 colectas de la raza maíz Palomero Toluqueño en dos localidades de los Valles Altos de México con cuatro ambientes.
- Determinar la adaptación con base al rendimiento de 20 colectas de maíz Palomero Toluqueño en dos localidades de los Valles Altos de México.

1.2. Hipótesis

Existen diferencias de rendimiento en grano de los 20 genotipos colectados en los cuatro ambientes evaluados en las dos localidades por condiciones climáticas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz ha sido clasificado botánicamente dentro del género *Zea*, en la familia *Poaceae*, tribu *Andropogonae*, subtribu *Tripsacinae*. El maíz palomero (*Zea mays everta*) es un tipo de maíz cultivado en México en diversas regiones con la característica de un pericarpio duro y un endospermo capaz de formar la denominada palomita al someterse a altas temperaturas. En la época precolombina, este tipo de maíz era parte de la alimentación de los pobladores (Mera y Caballero, 2010).

En México, se tiene identificado el maíz Palomero Toluqueño con una distribución geográfica en el Valle de Toluca a 2600 msnm (Figura 1) (CONABIO, 2020). Sin embargo, tiene dos derivaciones importantes el Palomero de Jalisco y el Palomero de Chihuahua. Estas razas están consideradas dentro del grupo Cónico por la forma de su mazorca junto con las razas Arrocillo, Cacahuacintle, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero Toluqueño y Uruapeño (Sánchez *et al.*, 2000).



Figura 1. Maíz Palomero Toluqueño. Mazorca de la izquierda de 15 cm y de la derecha de 12 cm. Datos registrados en la Bitácora de Campo.

2.1. Origen

La teoría más aceptada del origen maíz es el teocintle anual mexicano (*Zea mays ssp. mexicana*) como ancestro (Kato *et al.*, 2009). Sin embargo, una hipótesis acerca del origen de la raza Palomero Toluqueño señala al teocintle (*Zea mays*

parviglumis) como su ancestro al tener características en común como el poder reventar para formar la palomita (Romero *et al.*, 2006).

Gámez y colaboradores (2014) señalaron que el maíz palomero es originario de la Cuenca Alta del río Lerma al considerarse como el lugar con mayor antigüedad donde fueron encontrados restos. Esta raza de maíz se diversificó en altitudes elevadas de la Mesa Central, Sierra Madre Occidental y Oriental llegando a desarrollar subrazas del Palomero Toluqueño como posible producto del aislamiento geográfico (Romero *et al.*, 2006).

2.2. Clasificación

La Fundación Rockefeller en el año 1943 llevó a cabo el Programa Agrícola, representado por la Oficina de Estudios Especiales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería para realizar colectas de maíces nativos por toda la República Mexicana. En 1951, Wellhausen publicó una clasificación de las razas de maíces mexicanos según las características morfológicas de la planta y mazorcas, se dividen en cinco grandes grupos (Figura 2). El maíz Palomero Toluqueño fue clasificado en la categoría Indígenas Antiguas junto a las subrazas Palomero de Chihuahua y Palomero de Jalisco. Se reconocen otras razas en esta agrupación: Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nal-Tel (Wellhausen, 1951).

2.2.1. Palomero de Chihuahua

Su origen se encuentra en la Sierra de Chihuahua y fue cultivada por la región tarahumara. Es una subraza muy estudiada por los estadounidenses por su riqueza genética (Romero *et al.*, 2006).

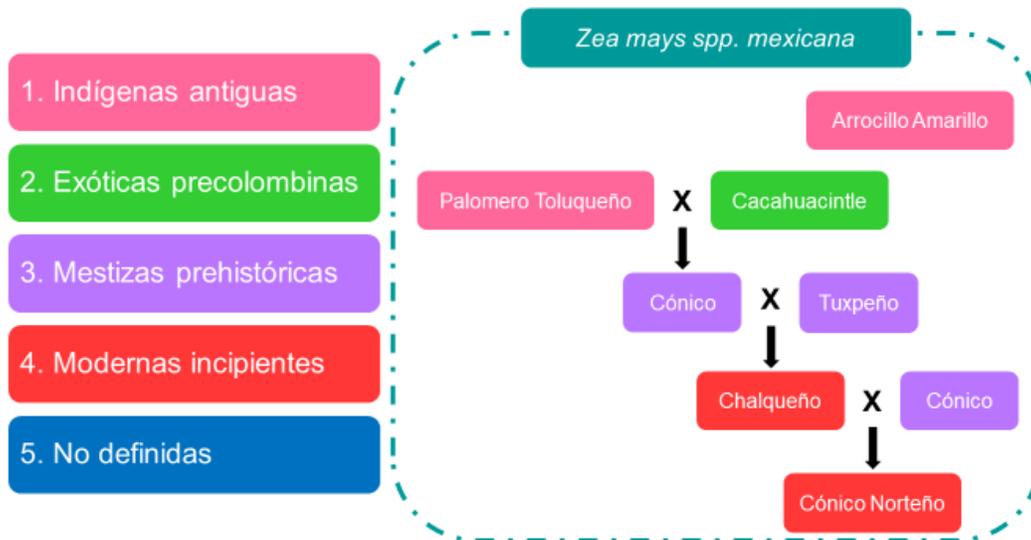


Figura 2. Clasificación de las razas de maíz y origen del maíz Palomero Toluqueño. De lado izquierdo clasificación de las razas (Wellhausen *et al.*, 1951). De lado derecho probable relación del Maíz Palomero Toluqueño entre razas de Valles Altos. Elaboración propia con datos de Ortega *et al.* (2013).

2.2.2. Palomero de Jalisco

Esta subraza es encontrada en las estribaciones del volcán de Colima y la Sierra Madre Occidental. Dentro de sus características más resaltantes encontramos plantas más vigorosas al tener raíces más fuertes poco propensas al acame, resistentes a heladas y mazorcas menos cónicas en comparación con el maíz Palomero Toluqueño (Romero *et al.*, 2006).

2.2.3. Palomero Poblano

Es encontrado en la región Nudo Central Transvolcánico (Puebla, Veracruz y Oaxaca). En Puebla se ha encontrado en altitudes entre 2200 a 2400 msnm. Sus granos son más suaves y puntiagudos (Romero *et al.*, 2006).

2.3. Diversificación

El origen de la variabilidad del maíz en Latinoamérica es por el alto número de mutaciones y la presión de selección natural por la intervención del hombre (Wellhausen *et al.*, 1951 citado por Bedoya *et al.*, 2010). La gran diversidad de maíces existentes en México propone una diseminación de estas semillas entre las antiguas poblaciones mesoaméricas a través de corredores. El primer corredor fue por la Costa de México hasta la Franja Maicera de Estados Unidos. El segundo corredor es el de la Mesa Central y Mesa del Norte que fue hacia Arizona y Nuevo México en conjunto con el Occidente por la Costa del Pacífico Mexicano hacia el oeste de Estados Unidos. Para el Sur de América también hubo corredores hacia el Caribe pasando por América Central (Ortega *et al.*, 2013).

En 1977, Goodman y Bird realizaron una colecta para conocer las relaciones raciales entre razas de maíz del Centro y Sur de América aplicando métodos taxonómicos en los que resaltan características de mazorca, altitud, latitud y longitud, eligiendo aquellas donde el ambiente no ha influido tanto (Figura 3).



Figura 3. Razas de maíz de América. Elaboración propia con datos de Ortega *et al.* (2013).

El Grupo III: Reventadores del Sur está conformado por las razas Avati Pichinga, Polulo, Pororo y Pisinkalla los cuales pueden ser derivados de la raza

Palomero Toluqueño. El Grupo IV: Reventadores del Norte de Sudamérica está dividido en tres subgrupos (Ortega *et al.*, 2013):

- A. Reventador de grano redondo y amarillo: Confite Morocho, Nal-Tel-Tusilla, Reventador Amarillo y Enano.
- B. Reventador blanco: Pira, Clavo, Chirimito, Araguito, Canilla y Guarivero.
- C. Reventadores puntiagudos: Imbricado, Canguil y Confite Puntiagudo.

2.4. Importancia económica y producción

Las palomitas de maíz tienen altas cantidades de fibras, vitaminas, minerales, proteínas y antioxidantes. Sin embargo, este tipo de maíz se encuentra en peligro de extinción actualmente (De la O *et al.*, 2018). El uso del maíz palomero se centra en el reventado de los granos, pinole y tortillas en algunas comunidades del centro del país. La producción de maíz palomero es una fuente de ingresos ventajosa al valor agregado que adquiere al ser reventado (Da Silva, 2018) o al obtener ganancias 1.3 veces mayores del valor en grano que el maíz amarillo (Valadez *et al.*, 2014). En el año 2010, el consumo en México fue de alrededor de 65 mil toneladas, equivalente a 2795 millones de bolsas con palomitas de maíz con un litro de capacidad (Rojas, 2016).

En México, el maíz Palomero Toluqueño es una fuente de germoplasma para realizar mejoramiento genético (Hallauer y Miranda, 1988). Los fitomejoradores han buscado en la raza Palomero Toluqueño y sus subrazas (Palomero de Chihuahua, Palomero de Jalisco y Palomero Poblano) el desarrollo de nuevas variedades con rendimientos en grano mayores con una capacidad de expansión alta (30 veces mayor). Estudios realizados por investigadores han llegado a la conclusión que el desarrollo de variedades con estas características es complicado al haber una correlación negativa entre rendimiento, capacidad de expansión y calidad (Vieira *et al.*, 2009).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 2008 llevó a cabo un proyecto en Tamaulipas del cual se generó la variedad mejorada de polinización libre V460P (Valadez *et al.*, 2014) (Figura 4). El mismo autor reporta algunas características relevantes de esta variedad como: baja susceptibilidad al acame y un rendimiento potencial en condiciones de riego para la región de Las Huastecas (sur de Tamaulipas, norte de Veracruz y oriente de San Luis Potosí) de 3884 kg ha⁻¹.

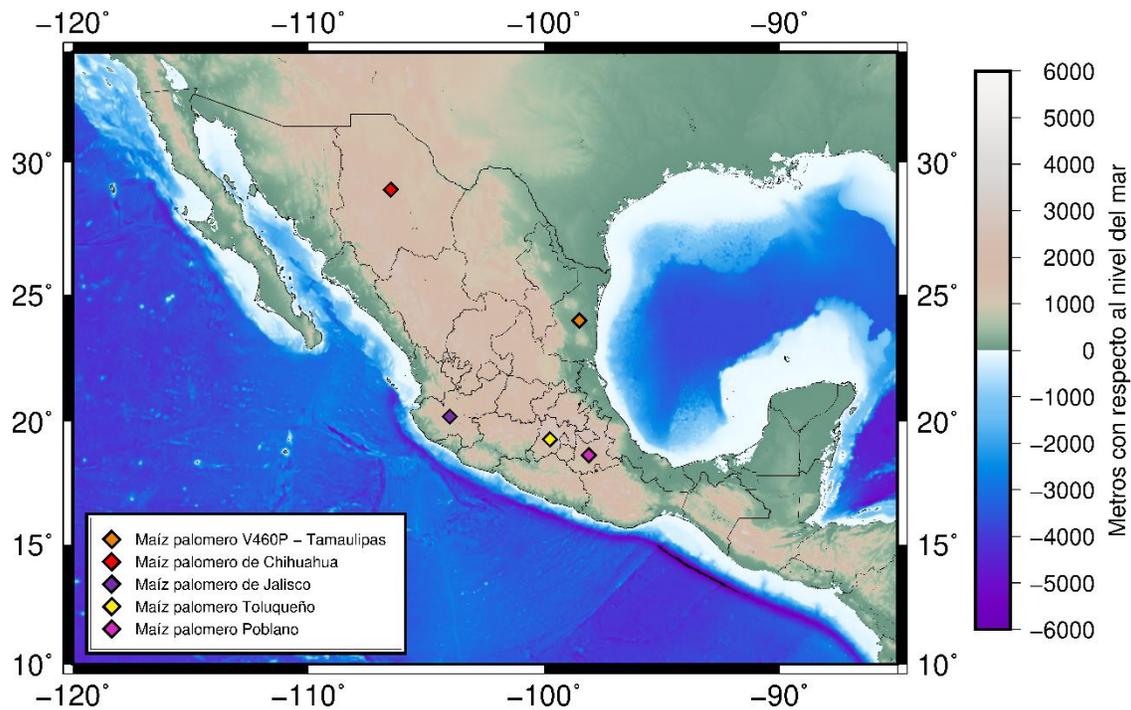


Figura 4. Distribución geográfica de maíces palomeros en México. Elaboración propia con *Generic Mapping Tools* (GMT) Wessel *et al.* (2013) con datos de Romero *et al.* (2006) y Valadez *et al.* (2014).

El maíz Palomero Toluqueño tiene un potencial en diversos estados de México: Chihuahua, Durango, Nayarit, Zacatecas, Jalisco, Nuevo León, Tamaulipas, Aguascalientes, Guanajuato, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos, Ciudad de México, Hidalgo, Querétaro y Tlaxcala. Durante estudios y colectas se han encontrado ejemplares en Estado de México, Puebla y Veracruz (Figura 5) (Ortega *et al.*, 2013).

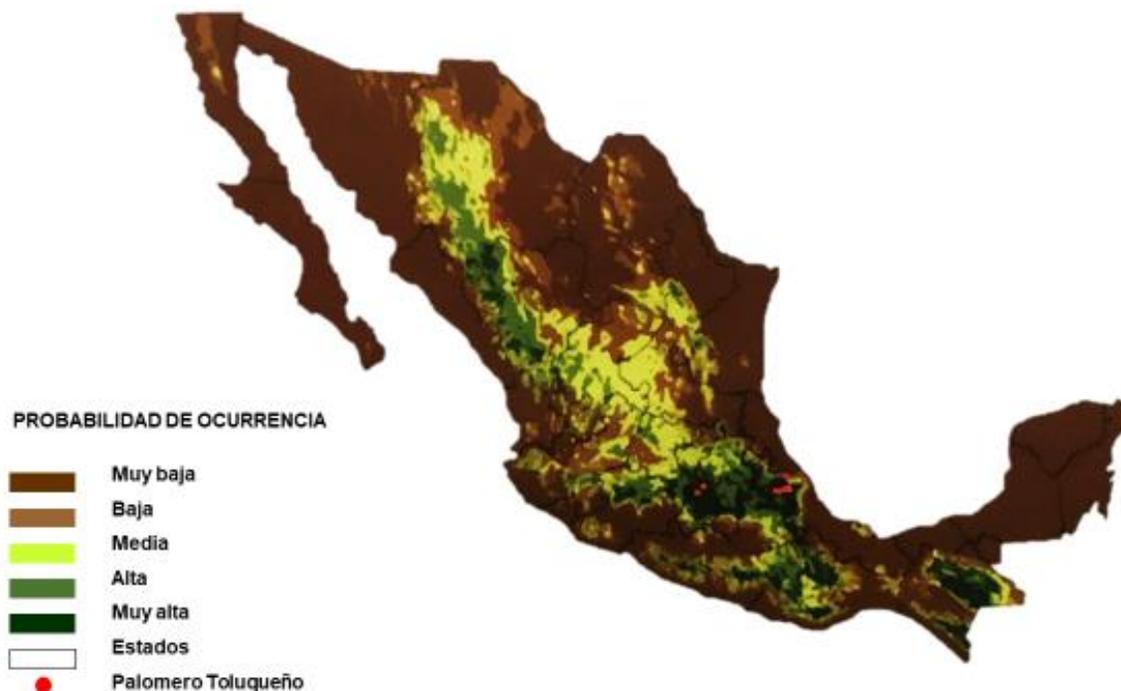


Figura 5. Áreas de distribución y potencial de la raza Palomero Toluqueño. **Fuente:** Ortega *et al.* (2013).

La superficie sembrada de maíz palomero según las estadísticas del año 1980 al 2019 del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) ha tenido una disminución considerable. En el año 1980, se sembraron 22544 hectáreas en contraste en el año 2019 solo se sembraron 222.6 hectáreas (Figura 6). A partir del año 1983 comenzó el descenso de la superficie sembrada hasta 1987, los siguientes dos años tuvieron un ligero aumento que descendió dos años más tarde, de nuevo tuvo una recuperación en 1992 que duró solo dos años más. Para el año 1994, la superficie sembrada pasó a 20 hectáreas de 1234 registradas en 1993. Sin embargo, el peor año vendría en 1996 cuando solo se sembraron 10 hectáreas en todo el país. A finales de los años 90's el maíz palomero se recuperó con 1051 hectáreas en el año 2000. Los años 2001 y 2009 no tienen datos registrados en el SIAP.

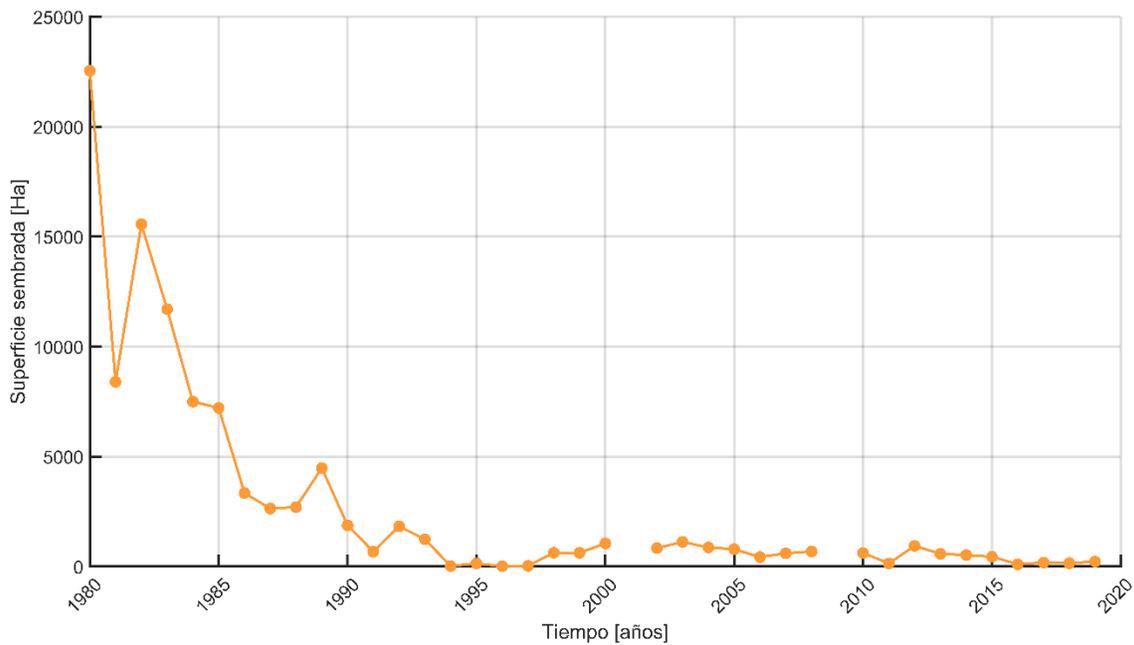


Figura 6. Superficie sembrada de 1980 a 2019 de maíz palomero en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

Durante el periodo de tiempo de 1980 a 2019, solo se tienen datos de siembra de temporal de 15 años de maíz palomero. La mayor producción es en tierras donde se tiene riego en el sistema del cultivo. En los últimos 6 años el municipio de Reynosa en Tamaulipas es el principal productor de maíz palomero. Otros municipios que fueron productores en el mismo estado eran Gustavo Díaz Ordaz y Camargo (SIAP, 2019). El año 2010 fue el de mayor superficie sembrada de temporal con 614 hectáreas. La superficie sembrada de riego también ha disminuido con el paso de los años. En los últimos 10 años, no se han sembrado más de 900 hectáreas de maíz palomero (Figura 7). El sistema de producción de maíz palomero de temporal queda prácticamente abandonado en los últimos 7 años (SIAP, 2019).

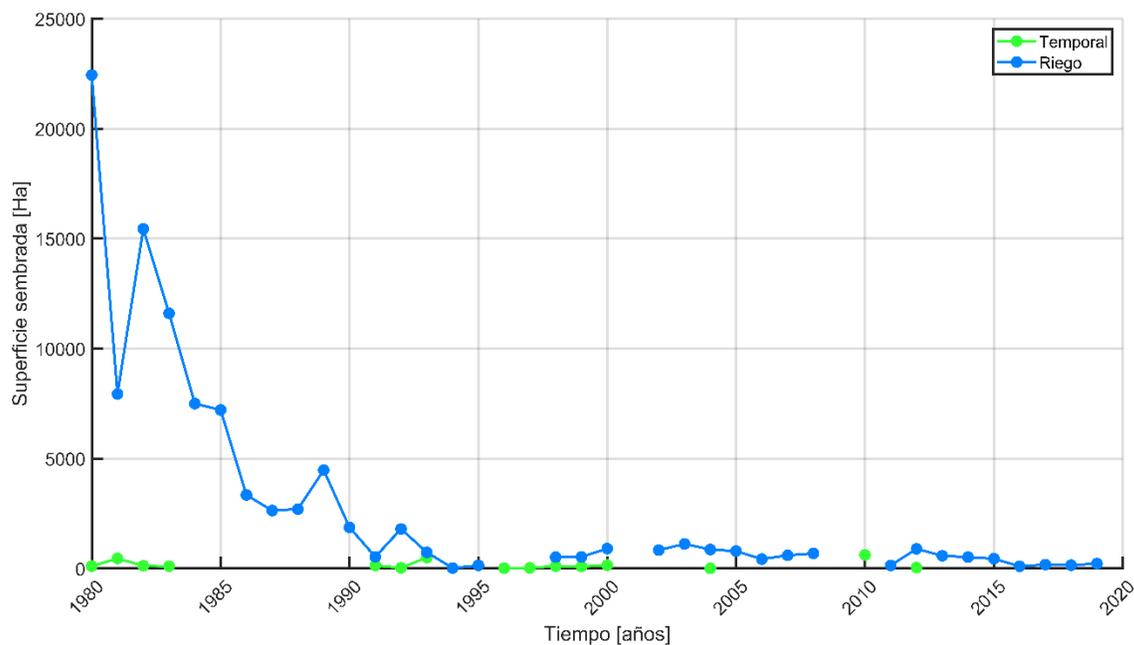


Figura 7. Superficie sembrada de temporal y riego de 1980 a 2019 de maíz palomero en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

La producción de maíz palomero ha disminuido conforme pasan los años. En 1980 se tiene registro de 42178 toneladas siendo la mayor productividad según los datos registrados. Este grano tuvo una caída en 1982 de la cual su recuperación no se logró como a inicios de la década. A partir de 1994, la producción fue aumentando y disminuyendo. El año 1996 resalta al ser el de menor producción con solo 15 toneladas. A partir de 1998, aumentó por encima de las 1000 toneladas hasta el año 2005 donde hubo una caída de 637.5 toneladas y 2011 con 472.6 toneladas. Actualmente, la producción de maíz palomero se encuentra constante en los últimos 4 años. Sin embargo, la producción no ha superado las 800 toneladas desde el año 2015. En el 2019, se obtuvieron 596 toneladas provenientes de Tamaulipas, único estado productor (Figura 8) (SIAP, 2019).

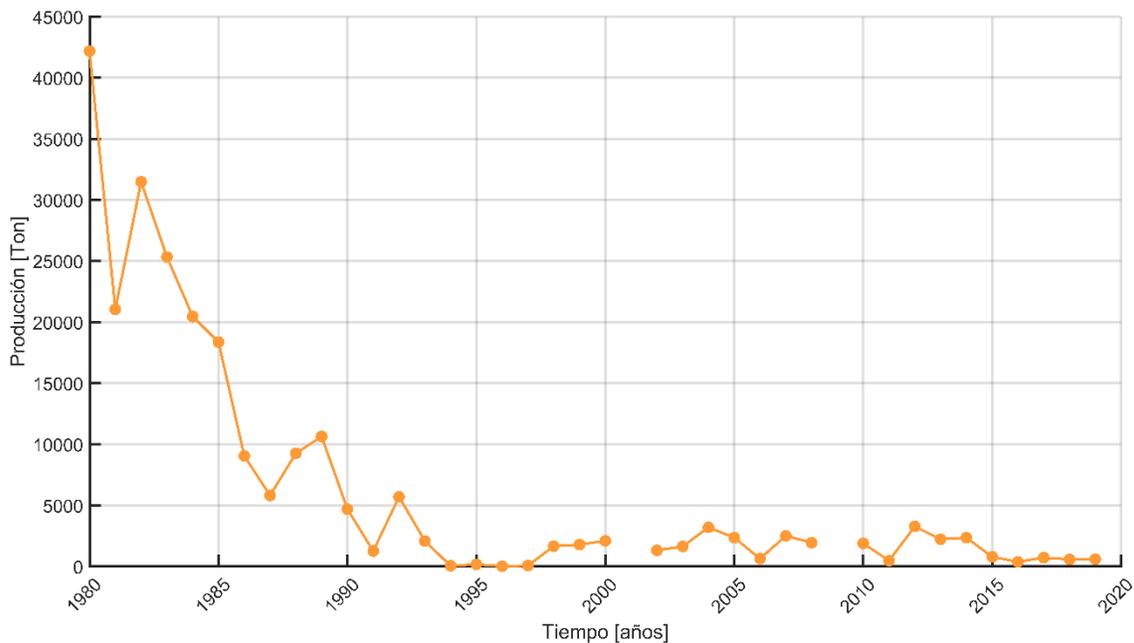


Figura 8. Productividad de 1980 a 2019 de maíz palomero en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

La productividad del maíz palomero ha sido bajo sistema de riego en el país, solo un bajo porcentaje fue de temporal. Según datos del SIAP, los mejores años para la siembra de temporal ha sido en 1981 con 458 hectáreas y 2010 con 614 hectáreas. Durante el periodo de tiempo de 1980 a 2019 solo se tienen registros de 15 años donde un porcentaje muy bajo perteneció a ciclos de cultivo de temporal. En general, la superficie sembrada no superó las 150 hectáreas (SIAP, 2019).

La siembra con sistemas de riego ha sido superior a las de temporal. En 1980, se sembraron 22439 hectáreas de riego de maíz palomero, fue el año con mayor superficie sembrada según los datos registrados. Durante 10 años el maíz palomero tuvo más de 1800 hectáreas sembradas en el país. A partir de 1991, la siembra de maíz palomero disminuyó. En el año 2013, este cultivo tuvo una caída de la cual no ha podido recuperarse, a pesar de que no ha sido la peor que ha sufrido. Del 2018 al 2019 hubo un aumento de 18.81 toneladas para la producción de maíz palomero (Figura 9) (SIAP, 2019).

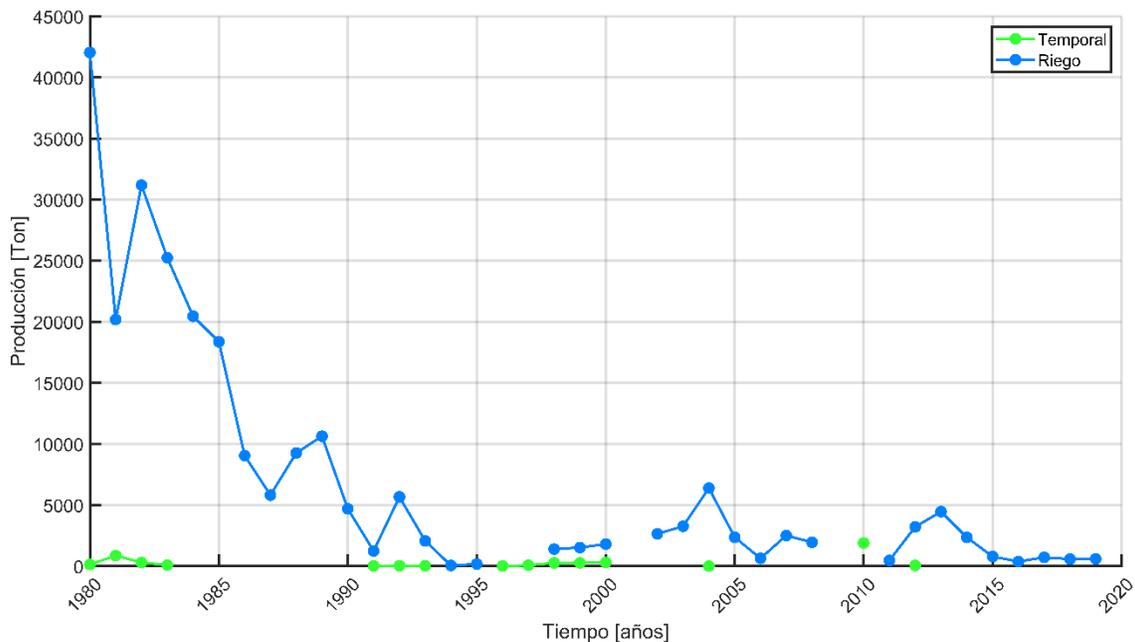


Figura 9. Productividad de 1980 a 2019 de maíz palomero de temporal y riego en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

Actualmente, el maíz Palomero Toluqueño es cultivado en las regiones mazahuas y otomíes en el Estado de México. Son considerados como maíces criollos de baja productividad y características agronómicas indeseables. Por este motivo no aparece en las Estadísticas Agropecuarias del SIAP. Sin embargo, la siembra y conservación de estos genotipos se sigue realizando por sus características de adaptación climática (Esteva, 2003).

El rendimiento de maíz palomero es de 2.8 toneladas ha^{-1} durante el periodo de 1980 a 2019. En 1995, el rendimiento fue de 1.34 $ton\ ha^{-1}$, el menor en todo el periodo de tiempo de los registros del maíz palomero. El mayor rendimiento se obtuvo en el año 2014 con 4.58 $ton\ ha^{-1}$. Durante los años 2010 a 2018 los rendimientos fueron superiores al promedio del lapso de tiempo de las estadísticas exceptuando el año 2015 con 1.78 $ton\ ha^{-1}$. En el año 2019, el rendimiento tuvo un descenso hasta 2.68 $ton\ ha^{-1}$ (Figura 10) (SIAP, 2019).

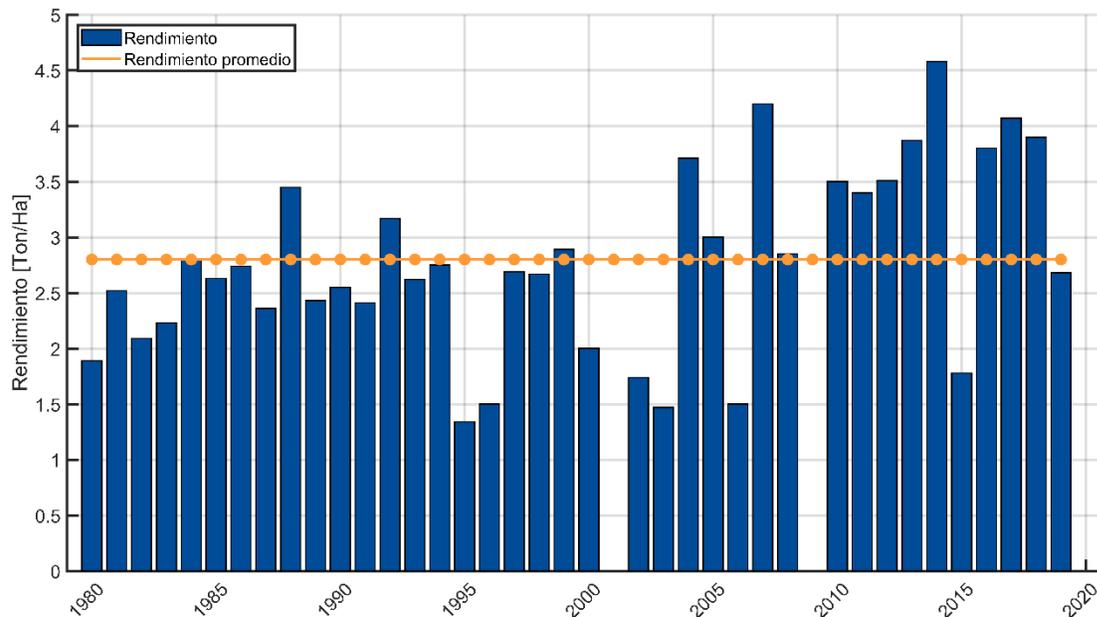


Figura 10. Rendimiento de 1980 a 2019 de maíz palomero en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

El rendimiento con sistema de producción de riego fue mayor superando el promedio de los años 1980 a 2019. En los últimos 9 años, el rendimiento ha aumentado considerablemente en comparación a las toneladas ha^{-1} obtenidas en la década de los 80's en la modalidad de riego. En el ciclo de temporal los datos son muy pocos debido a que este sistema pudo ser influenciado por factores ambientales en los que años como 1980, 1983, 1991, 1992 1993, 1996 y 2012 sus rendimientos fueron inferiores al promedio del periodo de tiempo 1980-2019 (Figura 11). Resalta el año 1993 con un rendimiento de temporal de $300\text{ kg } ha^{-1}$, dejando ver la poca rentabilidad del cultivo bajo estas condiciones para los agricultores. Por esta razón año tras año han abandonado o cambiado el cultivo de maíz palomero por otros más rentables.

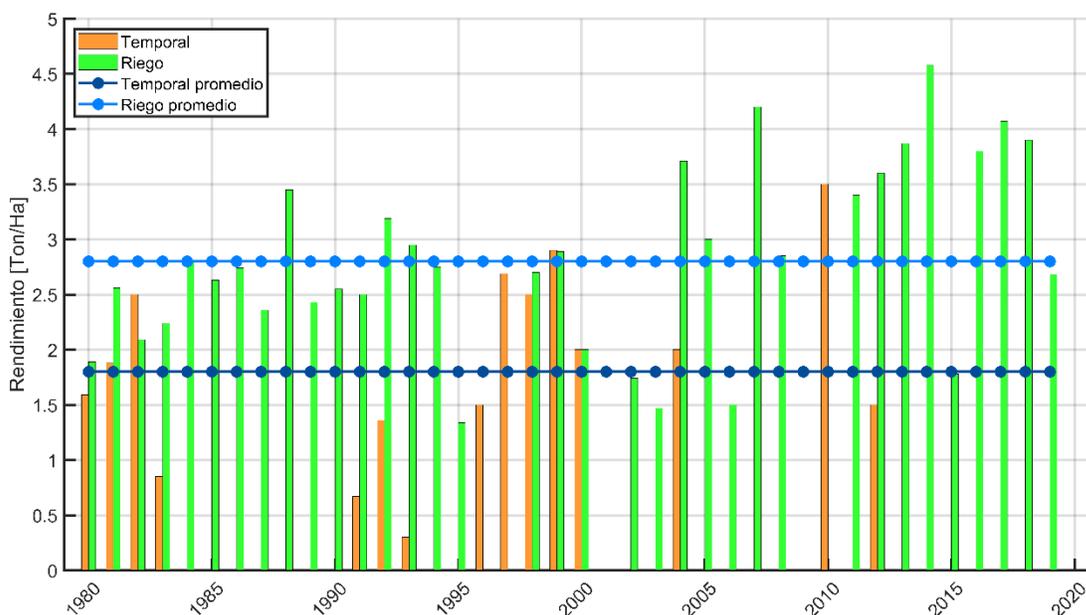


Figura 11. Rendimiento de temporal y riego de 1980 a 2019 de maíz palomero en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2019).

2.4.1. Importación

Las importaciones de maíz palomero según el Sistema de Información Comercial Vía Internet (SIAVI) registra datos de Estados Unidos desde el 2003 y Argentina desde 2008. En el año 2019, las importaciones fueron de 77 486 toneladas del primero de estos, 130 veces mayor que lo producido en el país y de 2 848.5 toneladas del segundo, 5 veces mayor a la producción mexicana (Figura 12). Las importaciones en este tipo de maíz son de suma relevancia al abastecer el mercado de palomitas en México. Sin embargo, Estados Unidos se ha caracterizado por ser uno de los países con mayor producción de maíz por sus altos rendimientos de la Franja Maicera a partir de híbridos creados con el mejoramiento genético.

En el caso del país de Norteamérica, la demanda de maíz para México ha crecido considerablemente conforme disminuye la superficie y productividad en el territorio mexicano. Estados Unidos se caracteriza por tener una buena

productividad de maíces gracias a sus condiciones climáticas en la Franja Maicera. Además, el denominado popcorn tiene una popularidad alta entre las familias estadounidenses por el consumo en sus cines y las desarrolladas palomitas de microondas que se pueden elaborar fácilmente desde casa (The Popcorn Board, 2020). En el país del sur de América, el denominado maíz pisingallo ha aumentado sus exportaciones a otros países en los que resalta México. Argentina es el principal exportador de maíz palomero y el segundo productor mundial después de Estados Unidos, el cual duplica su producción (Andreoli S. A., s. f.).

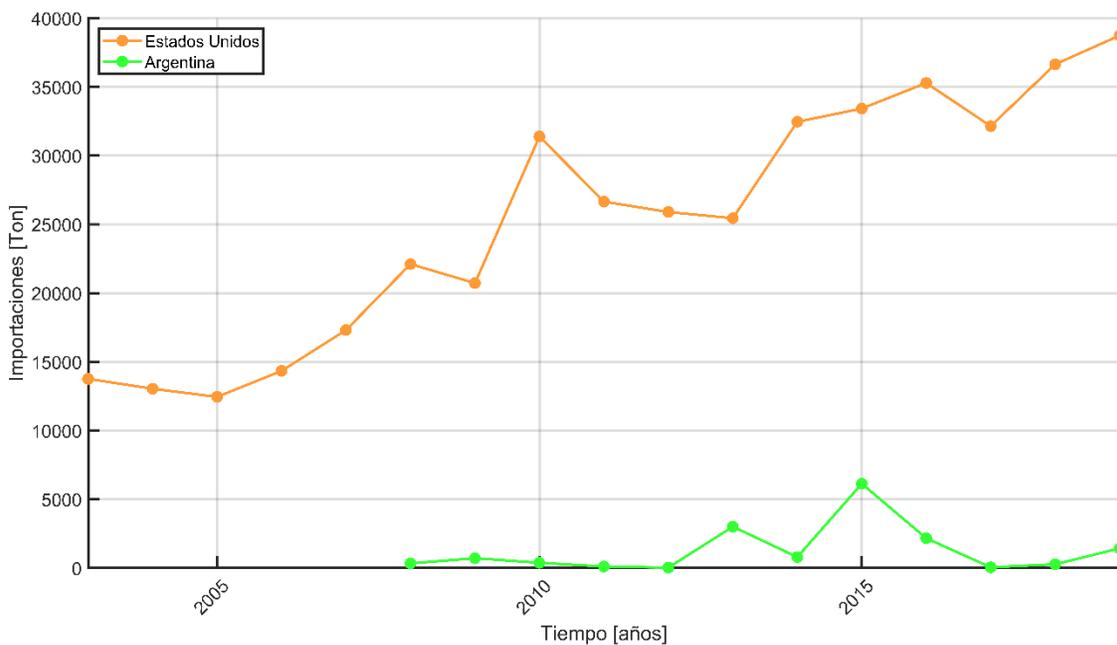


Figura 12. Importaciones de maíz palomero del año 2003 al 2019. Elaboración propia con datos de SIAVI (2019).

2.5. Características

Wellhausen *et al.*, en 1951 describieron a los maíces Palomeros Toluqueños como precoces y denominados como reventadores debido a las características de su endospermo. Se adapta a lugares muy altos superiores a los 2000 msnm. Las plantas son de aproximadamente 1.7 m de altura, con hijos de casi la misma altura que el tallo principal y aproximadamente 12 hojas las cuales se caracterizan por ser

caídas, largas y pubescentes. Tienen tendencia al acame debido al poco desarrollo radicular. Las mazorcas son pequeñas de forma cónica con gran número de hileras (aproximadamente 20 o más). Sus granos son pequeños y con prolongación en forma de pico en la terminación de este.

El grano de maíz es una cariósida que se caracteriza por tener un endospermo duro y con una pequeña cantidad de almidón. El endospermo es la reserva energética del grano, ocupa el 80% de su peso total. El 90% es almidón, 9% proteínas y el resto pequeñas cantidades de aceites y minerales. El endospermo se clasifica en dos: translúcido y opaco. El primero de estos se encuentra compactado sin espacios aéreos, el almidón que lo conforma es poliédrico el cual ayuda a la unión del almidón. El opaco tiene un almidón esférico el cual le confiere gran cantidad de espacios aéreos. El embrión ocupa entre un 10 a 14% del peso del grano (Villanueva, 2008).

El maíz se puede clasificar de acuerdo a la composición química del endospermo y las características físicas: reventador, duro, blando o harinoso, dentado y dulce. El maíz reventador se caracteriza por tener granos con un endospermo córneo muy duro con pequeñas cantidades de almidón envuelto en un pericarpio denso y resistente (Salazar y Godínez, 2010).

2.6. Reventado del grano

Según Brenes (2007) citado por De la O *et al.*, en 2018, la humedad en la semilla y la calidad fisiológica de la misma está influenciada por el ambiente del almacén. Si el ambiente de almacenamiento es cálido y húmedo, la semilla aumentará su humedad. El grano de maíz revienta por la humedad dentro de él, este se vaporiza a someterse a altas temperaturas logrando su expansión (Villanueva, 2008). Para lograr este reventado de grano el maíz se expone a temperaturas alrededor de 175 a 185°C (Díaz *et al.*, 2015). En estudios realizados por Viroty y Ponomarenko en 2015 dicen que cuando la temperatura es de 170° C solo estallan el 34% de los granos

de maíz, mientras que cuando llega a los 180° C el porcentaje aumenta hasta el 96% sugiriendo esta temperatura como la crítica para el estallado del grano del maíz palomero. En esta temperatura la humedad del endospermo pasa a vapor de agua, al no haber daños en este, la presión provoca el reventado del grano (Paliwal *et al.*, 2001). La presión puede llegar hasta 9 atmosferas (atm) cuando estalla el pericarpio (Popcorn USA citado por Díaz *et al.*, 2015). La composición del pericarpio (hemicelulosa, celulosa y lignina) impide la salida de humedad del grano, aumentando la presión para que se permita el reventado de la roseta siendo un factor importante en conjunto con el tiempo de reventado (De la O *et al.*, 2018).

Un factor relevante es la cantidad de endospermo translúcido en relación con la expansión de la roseta. Esto se debe a que no posee espacios aéreos como se mencionó con anterioridad. En el endospermo translúcido, el almidón se expande tras la vaporización de la humedad (Villanueva, 2008). La humedad ideal para el reventado del grano de maíz es del 14% (De la O *et al.*, 2018; Díaz *et al.*, 2015; Villanueva, 2008). No obstante, el contenido óptimo dependerá de la variedad, el método utilizado para el reventado y el tamaño del grano (Vázquez *et al.*, 2011 citado por De la O *et al.*, 2018). Otros factores que pueden influir en la explosión de la palomita es el tamaño y contenido de humedad del grano, genotipos, procedimiento de secado y daños en el pericarpio y endospermo. El número de granos a reventar también es un factor que interviene. Al tener mayor cantidad de granos a explotar, el porcentaje de granos no reventados se incrementa (De la O *et al.*, 2018). Para explicar el reventado del grano se tiene la siguiente fórmula usada por Villanueva, 2008:

$$P = Pp + Pa$$

Presión crítica (P): Presión mínima para reventado del grano.

Presión de explosión (Pp): Presión necesaria para romper el pericarpio.

Presión atmosférica (Pa).

Si se identifica un grano con presión P_p a una presión atmosférica P_a explotará cuando la temperatura a la cual la presión del vapor de agua sea igual a $P_p + P_a$. A una temperatura dada, no todos los granos reventarán, aunque tengan la misma presión interna debido a que tienen diferentes presiones críticas (Villanueva, 2008).

2.6.1. Reventado del grano en comunidades mazahuas

Para el reventado del maíz palomero, se coloca en una olla de barro puesta a calentar previamente con arena blanca colectada con 15 días de anticipación para ponerla a secar al sol y evitar una humedad en la cocción del grano, así como también conservar las altas temperaturas para un reventado uniforme de la roseta. Después de la explosión de la palomita, se seleccionan estas de entre la arena para ser consumidas o darles un uso ornamental (collares de palomitas de maíz para fiestas religiosas) (Granados, 2019).

2.7. Calidad

La calidad de los maíces palomeros comerciales depende del volumen expandido, la forma del grano reventado, número de granos sin reventar, suavidad del endospermo reventado y sabor de la palomita. Una correlación positiva es la existente entre la suavidad y el volumen expandido. El grano reventado puede aumentar su tamaño hasta 30 veces (Villanueva, 2008). Las palomitas de maíz pueden clasificarse en tipo mariposa u hongo. Las primeras de estas se caracterizan por ser una palomita grande y alargada por eso el nombre de mariposa al disimular alas. El tipo hongo son palomitas compactadas de forma redonda. Para el consumo, el pericarpio es considerado un factor de calidad entre los consumidores. En el reventado del grano este es proyectado libre o parcialmente libre del endospermo (Villanueva, 2008). Por lo tanto, aquellas palomitas de maíz en las que se desprenda totalmente el pericarpio son consideradas de mayor calidad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Origen de los materiales

Los materiales fueron colectados en el Estado de México durante los meses de diciembre de 2017 y enero de 2018 por la M. en C. Alma Lili Cárdenas Marcelo, en colaboración con Fundación Tortilla de Maíz Mexicana. La técnica de muestreo empleada fue el modelo no probabilístico bola de nieve a través de informantes claves: delegados y comisariados ejidales. Los maíces amarillos mazahuas se colectaron en la localidad de Choteje, San Felipe del Progreso a 2680 msnm. Los maíces blancos otomíes fueron de la localidad San Marcos Tlazalpan municipio de Morelos a una altitud de 2700 msnm. Todos los materiales colectados fueron variedades del agricultor y el nombre asignado corresponde a las iniciales de cada uno de los agricultores. En total veinte genotipos nativos fueron donados al Programa de Mejoramiento Genético de Maíz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la UNAM (FESC - UNAM), los cuales se ubicaron en el Laboratorio de Producción y Tecnología de Granos y Semillas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, para su investigación en campo y laboratorio.

3.2. Descripción de la zona de estudio

Los experimentos fueron sembrados en los Valles Altos de México en el ciclo Primavera – Verano en los años 2018 y 2019 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC - UNAM) ubicada en Cuautitlán Izcalli, Estado de México con coordenadas 19°31'35" Latitud Norte y 99°11'42" Longitud Oeste a una altitud de 2256 msnm. El suelo es denominado Vertisol, al endurecerse en la estación seca se generan grietas, mientras que en la estación húmeda se vuelve muy plástico. Son suelos difíciles de laborar por considerarse pesados y con un drenaje deficiente. El clima es C(w0)(w)b(i)g que corresponde a templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos con poca oscilación de temperatura siendo el mes más caliente en verano (Gobierno del Estado de México, 2015). El régimen de lluvias y las temperaturas promedio durante los años 2018 (Figura 13) y 2019

(Figura 14) fueron los siguientes durante el mes de junio a diciembre (ciclo del cultivo):

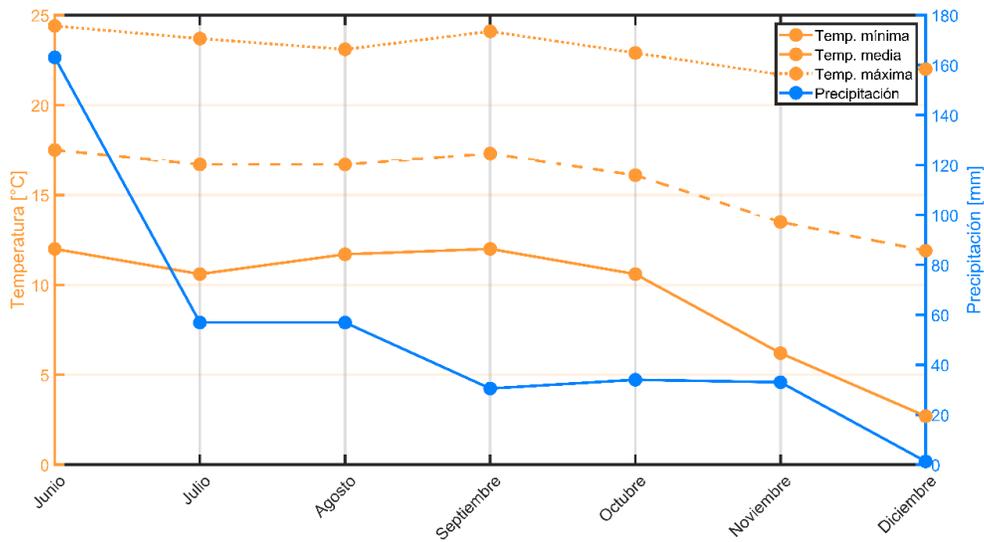


Figura 13. Condiciones climáticas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM durante el ciclo del cultivo 2018. Elaboración propia con datos de la Estación Meteorológica Automatizada ubicada en El Huerto de la FESC – UNAM.

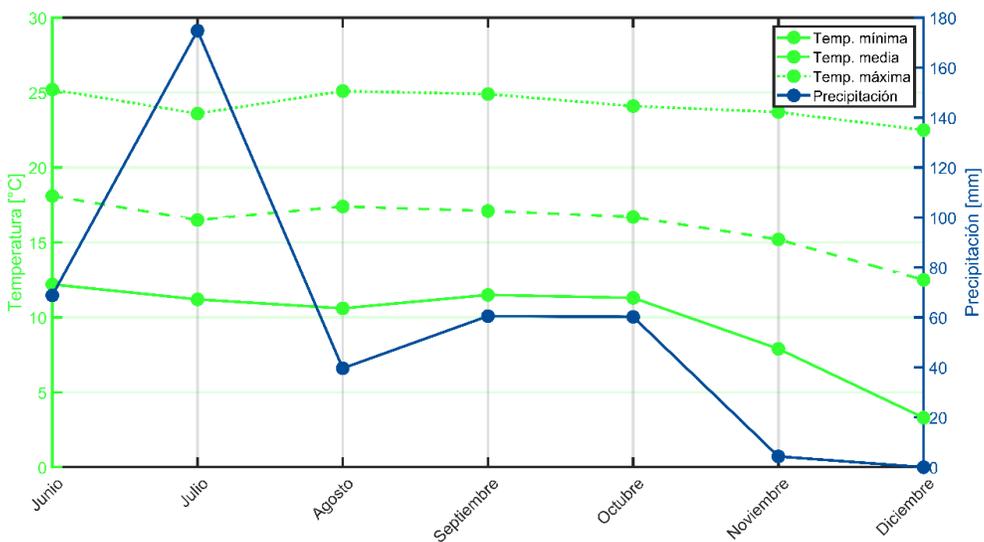


Figura 14. Condiciones climáticas del año 2019 del ciclo del cultivo de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM. Elaboración propia con datos de la Estación Meteorológica Automatizada ubicada en El Huerto de la FESC – UNAM.

En el año 2018 se estableció un ensayo en Huexotla, Texcoco, Estado de México con coordenadas 19°29'43" Latitud Norte y 98°52'58" Longitud Oeste y a una altitud de 2300 msnm. El suelo predominante es el Feozem utilizado para agricultura de temporal por limitaciones como la erosión. El clima es C(w2)(w)b(i)g templado con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, isotermal siendo el mes más caliente en verano (Gobierno del Estado de México, 2015). Las temperaturas promedio y la precipitación del ciclo del cultivo en 2018 fueron las siguientes (Figura 15):

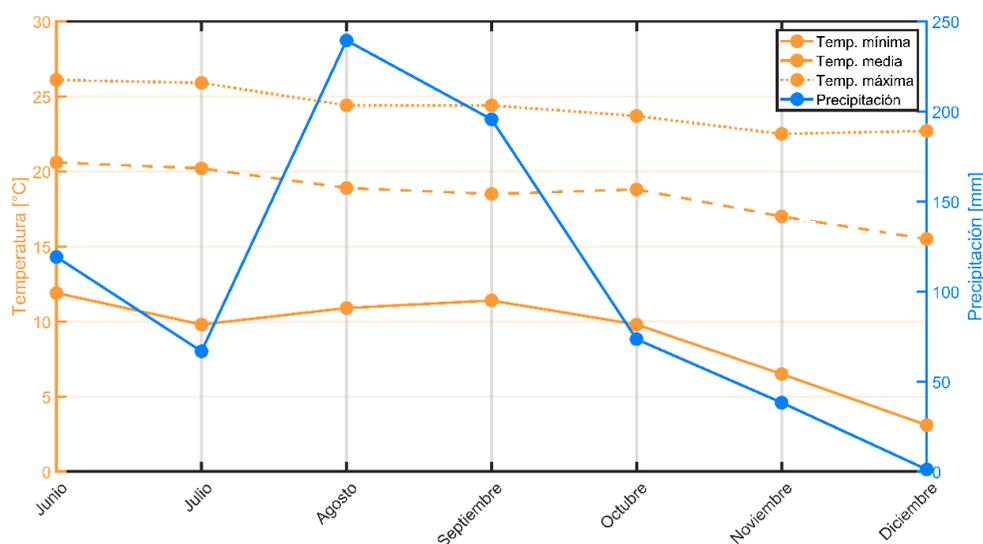


Figura 15. Temperaturas promedio y precipitación de la estación climática Chapingo de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) para el ciclo del cultivo en el 2018. Elaboración propia.

Para el año 2019 se realizó en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) 19°27' Latitud Norte y 98°51' Longitud Oeste con una altitud de 2240 msnm. El suelo es Cambisol con bajo contenido de humedad. El clima C(w1)(w)b(i)g templado con lluvias en verano, el intermedio en grados de humedad, isotermal siendo el mes más caliente en verano (Gobierno del Estado de México, 2015). En el 2019, se registraron las siguientes temperaturas promedio y precipitación (Figura 16).

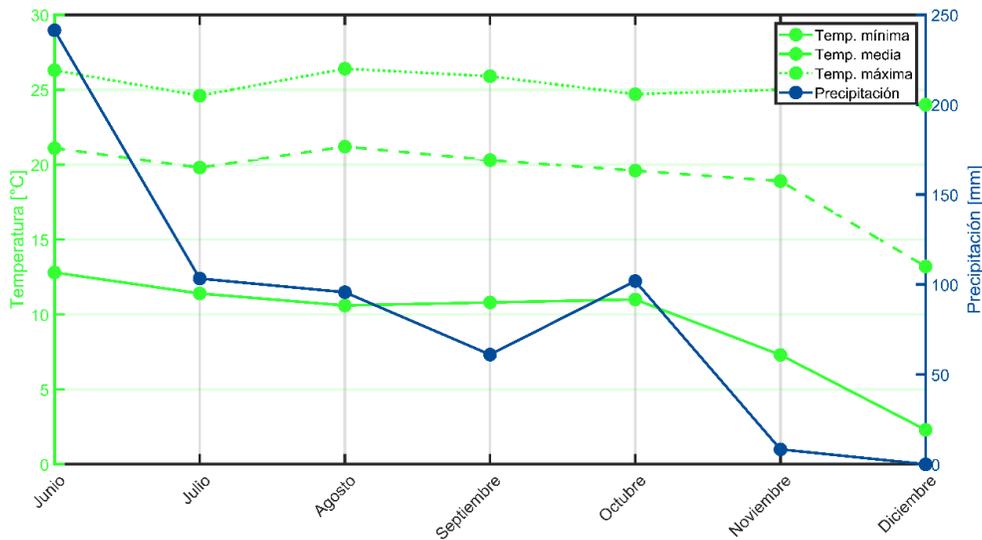


Figura 16. Temperaturas y precipitación de la estación climática Chapingo de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) del ciclo del cultivo 2019. Elaboración propia.

3.3. Material genético

Se evaluaron 20 genotipos de maíz Palomero Toluqueño nativos colectados en el Estado de México en el año 2017 y 2018 con dos testigos (Palomero Noel Gómez y Palomero 55#) (Cuadro 1).

3.4. Diseño experimental

Para los dos años de evaluación se estableció un experimento constituido por 22 genotipos (20 colectados y 2 testigos) con tres repeticiones cada uno en dos localidades: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC – UNAM), Huexotla y CEVAMEX-INIFAP, Texcoco generando cuatro ambientes distintos. Se utilizó un diseño en bloques al azar con un arreglo factorial correspondiente a genotipos y ambientes. La parcela experimental estuvo constituida por un surco de 5 m de longitud y una separación de 0.8 m entre ellos. Los datos se analizaron con el programa SAS a través de un análisis de varianza y comparación de medias por

medio de la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 0.5 para las variables evaluadas.

Cuadro 1. Maíces palomeros evaluados en 2019 y 2020 en dos localidades de Valles Altos.

No.	Año 2018	Año 2019
1	PGR (palomero) FMH 1	PGR (palomero) FMH 1
2	ARR (palomero) FMH 1	ARR (palomero) FMH 1
3	AFR (cónico segregante) FMH 1	AFR (cónico segregante) FMH 1
4	JF (cónico palomero) FMH 1	JF (cónico palomero) FMH 1
5	AG (palomero) FMH 1	AG (palomero) FMH 1
6	LFE (cónico palomero) FMH 1	LFE (cónico palomero) FMH 1
7	ANT (palomero arrocillo) FMH 1	ANT (palomero arrocillo) FMH 1
8	JMP (palomero) FMH 1	JMP (palomero) FMH 1
9	SFF (palomero arrocillo) FMH 1	SFF (palomero arrocillo) FMH 1
10	PM (cónico) FMH 1	PM (cónico) FMH 1
11	Palomero Noel Gómez	Palomero Noel Gómez
12	Palomero 55#	Palomero 55#
13	PGR (palomero) FMH 2	PGR (palomero) FMH 1
14	ARR (palomero) FMH 2	ARR (palomero) FMH 1
15	AFR (cónico segregante) FMH 2	AFR (cónico segregante) FMH 1
16	JF (cónico palomero) FMH 2	JF (cónico palomero) FMH 1
17	AG (palomero) FMH 2	AG (palomero) FMH 1
18	LFE (cónico palomero) FMH 2	LFE (cónico palomero) FMH 1
19	ANT (palomero arrocillo) FMH 2	ANT (palomero arrocillo) FMH 1
20	JMP (palomero) FMH 2	JMP (palomero) FMH 1
21	SFF (palomero arrocillo) FMH 2	SFF (palomero arrocillo) FMH 1
22	PM (cónico) FMH 2	PM (cónico) FMH 1

Elaboración propia, 2020.

3.5. Establecimiento del experimento

La preparación del terreno constó de un paso de arado, dos de rastra y surcado. En esta última labor, se fertilizó con la dosis 80-40-00 con urea y fosfato de amonio en la localidad FESC – UNAM y con una dosis de 80-40-30 de urea, superfosfato y cloruro de potasio en los ambientes Huexotla y CEVAMEX - INIFAP. La siembra de los genotipos fue realizada a “tapa pie” depositando 2 semillas cada

25 cm. Se realizaron dos riegos de auxilio, uno al día siguiente de la siembra y otro a la semana siguiente para asegurar humedad en el suelo y tener alto porcentaje de germinación de la semilla. Para control de malezas se aplicó Gesaprim 3 kg ha⁻¹, Hierbamina 1 L ha⁻¹ y Sansón 4 SC 1 L ha⁻¹. Se realizó un aclareo de 28 plantas por surco a los 30 días después de la siembra para tener una densidad de población de 70 000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 2. Fechas de siembra y cosecha de los experimentos.

	2018		2019	
	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha
FESC - UNAM	7 de junio	5 de diciembre	17 de junio	5 de diciembre
TEXCOCO	13 de junio	14 de diciembre	25 de junio	13 de diciembre
	Huexotla		CEVAMEX - INIFAP	

Elaboración propia, 2020.

3.6. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en cada uno de los ensayos en las cuatro localidades fueron las descritas a continuación:

3.6.1. Plantas establecidas. Es el número de plantas por surco después del aclareo. La densidad de siembra para el experimento fue de 70000 plantas ha⁻¹.

3.6.2. Floración masculina. Días transcurridos desde la siembra hasta la aparición del 50% de las espigas por surco.

3.6.3. Floración femenina. Días transcurridos desde la siembra hasta la aparición del 50% de los estigmas (de 2 a 3 cm de longitud).

3.6.4. Altura de planta. Medición en centímetros de cinco plantas seleccionadas al azar de la distancia de la base de la planta hasta el comienzo de división de la espiga.

3.6.5. Altura de mazorca. Medición en centímetros de las mismas cinco plantas seleccionadas al azar de la distancia de la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca más alta.

3.6.6. Peso en campo. Peso en kilogramos de todas las mazorcas cosechadas por surco.

3.6.7. Longitud de mazorcas. Medición en centímetros de cinco mazorcas de cada surco de la base hasta la punta.

3.6.8. Diámetro de mazorcas. Medición en centímetros de la parte media de las cinco mazorcas seleccionadas.

3.6.9. Hileras por mazorca. De la muestra de cinco mazorcas se contó el número de hileras de cada una.

3.6.10. Granos por hilera. De las cinco mazorcas seleccionadas se contó el número de granos de cada hilera por cada mazorca.

3.6.11. Granos por mazorca. Se obtiene a partir de:

$$\text{Granos x Mazorca} = \frac{\text{Promedio de hileras por mazorca}}{\text{Promedio de granos por hilera}}$$

3.6.12. Diámetro de olote. Medición en centímetros de la parte media del olote de las cinco mazorcas seleccionadas.

3.6.13. Peso de 200 granos. Se desgranaron las cinco mazorcas muestra y se contaron doscientos granos los cuales fueron pesados.

3.6.14. Peso volumétrico. De la muestra de cinco mazorcas desgranadas se pesó el grano en una balanza volumétrica eléctrica tipo DICKEY-Jhon modelo GAC 2100. Las unidades de medición fueron kg hL⁻¹.

3.6.15. Porcentaje de materia seca. De la muestra de cinco mazorcas desgranadas se obtuvo el porcentaje de materia seca del grano en el determinador de humedad eléctrico tipo DICKEY-Jhon modelo GAC 2100.

3.6.16. Porcentaje de grano. Se obtuvo con los siguientes datos:

$$\% \text{ de grano} = \frac{\text{Peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote}}{\text{Peso de la muestra de cinco mazorcas}} \times 100$$

3.6.17. Rendimiento de grano. Se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{PC})(\% \text{ MS})(\% \text{ Grano})(\text{FC})}{8\ 600}$$

Dónde:

- **PC:** Peso de campo (Kg).
- **% MS:** Porcentaje de materia seca.
- **% G:** Porcentaje de grano.
- **FC:** Factor de conversión para la obtención de rendimiento por hectárea. Se obtiene a partir de dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m².
- **8600:** Constante para estimar el rendimiento con 14% de humedad (Kg Ha⁻¹).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 3, se presentan los resultados del análisis de varianza de la producción de grano de maíz palomero con los factores de variación ambiente (Am), genotipo (Gen) y la interacción entre estos dos (Am*Gen). En el factor de variación ambiente y genotipo, las variables evaluadas (rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos y granos por mazorca) presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) debido a la influencia de los factores climáticos de cada localidad y a su composición genética. En la interacción ambiente por genotipo (Am*Gen), la variable granos por mazorca no presentó diferencias significativas. En cambio, las otras 8 variables evaluadas si presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.05$).

El rendimiento promedio de acuerdo con el análisis estadístico fue de 2537.1 kg ha⁻¹ (Cuadro 3), ligeramente inferior al rendimiento reportado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2019 de 2680 kg ha⁻¹. La variedad V460P sembrada en la región de Las Huastecas tiene un potencial de temporal de 2300 kg ha⁻¹ y de riego de 5000 kg ha⁻¹ (Valadez *et al.*, 2014), siendo 380 kilogramos por debajo del promedio en condiciones de temporal de los genotipos evaluados en este trabajo. En estudios realizados por Bautista y colaboradores en 2020, se obtuvo un rendimiento promedio de 3380 kg ha⁻¹ en grano de maíces Palomeros Toluqueños establecidos en Texcoco, Estado de México y Juan C. Bonilla, Puebla. La diferencia entre ambas investigaciones es 842.9 kg ha⁻¹ inferior con esta investigación, aproximadamente un 25%.

Las floraciones masculinas y femeninas se presentaron en promedio a los 76 y 79.5 días respectivamente, diferencia de 3 días y medio. En comparación con datos de Rocandio y colaboradores en 2014, la floración femenina se presentó

después en un periodo de tiempo de 83.4 a 93.5 días. Los mismos autores mencionaron datos en el peso de 100 granos de maíz palomero un rango de 16 a 20 gramos. En contraste, se produjeron en esta investigación granos de mayor tamaño con un promedio de 44 gramos por cada 200 granos. La altura de planta indica que se trataron de maíces de 223.7 cm en promedio y una altura de mazorca de 126.6 cm (Cuadro 3). Los datos reportados para la variedad V460P fueron de 199 a 220 cm desde el suelo hasta la punta de la espiga y de 81 a 100 cm desde el suelo hasta la mazorca (Valadez *et al.*, 2014).

El peso volumétrico en promedio de los maíces palomeros evaluados fue de 73.7 kg hL⁻¹ (Cuadro 3). En estudios realizados por Bautista *et al.* (2019) en maíces Palomeros Toluqueños obtuvieron como promedio 77.13 kg hL⁻¹, cifra menor al testigo comercial de la misma investigación (Verde Valle) con 84.83 kg hL⁻¹. En concreto estos granos de maíz palomero tienen mayor densidad que los otros mencionados. Esta variable es de suma importancia, al incrementar el peso hectolítrico y el grosor del pericarpio, el volumen de expansión de la palomita es mayor como menciona el autor de la investigación.

Las mazorcas tuvieron como promedio 418.8 granos y una longitud de 12.3 cm (Cuadro 3). Figueroa *et al.* (2013), reportaron una longitud promedio de 11 cm en maíces palomeros, mientras que Rocandio *et al.* (2014) obtuvieron resultados de 10.6 a 14.2 cm (12.4 cm en promedio). En comparación, las mazorcas de la variedad V460P tuvieron una mayor longitud con un rango de 15 a 20 cm consideradas de tamaño intermedio según describen Valadez *et al.* (2014). Los coeficientes de variación más bajos fueron en las floraciones masculinas y femeninas con el 2.5 y 3.2%, respectivamente. Los más altos se registraron en el peso de 200 granos y en la variable granos por mazorca con 19.8% cada uno.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de la evaluación de 22 variedades nativas de maíces palomeros evaluados en cuatro ambientes de Valles Altos. Ciclo Primavera - Verano 2018 y 2019 en dos localidades.

Factor de variación	Rend (kg ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
Ambiente (Am)	58426903.9**	519.0**	767.0**	58390.7**	5071.1**
Genotipo (Gen)	4954710.6**	17.5**	24.5**	2055.7**	2184.3**
Am*Gen	3138425.0**	10.3**	17.2**	739.0**	455.7**
Media	2537.1	76.0	79.5	223.7	126.6
CV (%)	19.0	2.5	3.2	5.9	8.0

Cuadro 3. *Continuación.*

Factor de variación	LM (cm)	PV (kg hL⁻¹)	P200 (g)	GM
Ambiente (Am)	39.6**	704.0**	3769.2**	47617.4**
Genotipo (Gen)	10.3**	108.3**	929.5**	25761.9**
Am*Gen	3.9**	101.9**	305.9**	9039.99 NS
Media	12.3	73.7	44.0	418.8
CV (%)	12.1	7.9	19.8	19.8

*, ** significancia estadística al 0.05 de probabilidad; CV= Coeficiente de variación; Rend = Rendimiento; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; LM = Longitud de mazorca; PV = Peso volumétrico; P200 = Peso de 200 granos; GM = Granos por mazorca.

4.2. Comparación de medias de los ambientes evaluados

En el Cuadro 4, se presenta la comparación de medias entre los cuatro ambientes evaluados. En la localidad FESC – UNAM el rendimiento en 2018 fue de 2966 kg ha⁻¹ y en 2019 de 2916 kg ha⁻¹ datos muy cercanos entre ellos. El mayor rendimiento se obtuvo en la localidad Huexotla 2018 con 3134 kg ha⁻¹ siendo superior (P < 0.05) con respecto a FESC – UNAM 2018 con 2966 kg ha⁻¹, FESC – UNAM 2019 con 2916 kg ha⁻¹ y CEVAMEX – INIFAP 2019 con 1133 kg ha⁻¹. Esto es atribuible a las diferencias en las condiciones climáticas en los ambientes evaluados y la

adaptabilidad de los genotipos. Según datos de Bautista *et al.* (2020), durante la siembra de 2014 en Montecillos se tuvieron rendimientos de 3250 kg ha⁻¹, resultados similares a los obtenidos en Huexotla, ambas localidades en Texcoco. CEVAMEX - INIFAP tuvo bajos rendimientos en grano lo cual pudo ser debido a la falta de agua en los meses de agosto y septiembre durante la transición entre las últimas etapas vegetativas y la etapa reproductiva de la planta. El estrés hídrico en estas etapas es crucial para el rendimiento de los granos (DuPont Pioneer, 2015).

La floración masculina se presentó primero en los ambientes de FESC - UNAM a los 74 días y en CEVAMEX - INIFAP a los 73 ambos en el año 2019, mientras que en Huexotla fue la más tardía a los 80 días. La floración femenina se presentó primero en el ambiente CEVAMEX – INIFAP a los 75 días en contraste con la FESC - UNAM 2018 que se presentó a los 83 días, diferencia de 8 días entre ambos ambientes. En Huexotla la altura de planta fue mayor ($P < 0.05$) con respecto a FESC – UNAM 2018 y 2019 y CEVAMEX – INIFAP. Los ambientes FESC - UNAM 2018 y CEVAMEX - INIFAP tuvieron una altura de planta promedio de 225 y 228 centímetros, respectivamente. En contraste, FESC - UNAM 2019 tuvo las plantas con menor altura de aproximadamente 184 cm. Las mazorcas más altas se presentaron en Huexotla 2018 a los 136 cm y las de menor altura estuvieron en CEVAMEX - INIFAP 2019 a los 120 cm y FESC – UNAM 2019 a los 118 cm (Cuadro 4).

El mayor peso volumétrico se encontró en FESC 2018 con 77.2 kg hL⁻¹ en contraste con FESC – UNAM 2019 con 74.5 kg hL⁻¹, Huexotla con 74.0 kg hL⁻¹ y CEVAMEX - INIFAP con 69.3 kg hL⁻¹ (Cuadro 4). Bautista *et al.* (2019) reportaron en Texcoco, Estado de México un peso volumétrico de 78.89 kg hL⁻¹ en maíces Palomeros Toluqueños, dato muy cercano al reportado en esta investigación en la localidad FESC - UNAM 2018. Los granos de mayor tamaño fueron los del ambiente FESC - UNAM 2019 según la variable del peso de 200 granos con 54.3 gramos con respecto a los otros tres ambientes de la investigación. Los granos más pequeños

se encontraron en CEVAMEX - INIFAP 2019 con 36.2 gramos de la misma variable evaluada (Cuadro 4).

En Huexotla se obtuvieron las mazorcas más largas con 13.2 centímetros en y 450 granos en promedio. En contraste, las mazorcas de 11.5 centímetros de CEVAMEX - INIFAP tuvieron 386 granos. Los ambientes de la FESC - UNAM 2018 y 2019 se encontraron en medio de los establecidos en Texcoco con mazorcas de 11.9 y 12.6 centímetros respectivamente. Los granos por mazorca de FESC - UNAM 2018 fueron de 428 y 411 en FESC - UNAM 2019 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias para producción de grano de maíz palomero de 22 genotipos en cuatro ambientes. Ciclo Primavera - Verano 2018 y 2019 en dos localidades.

Ambiente	Rend (kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
Huexotla 2018	3134 a	80 a	82 b	257 a	136 a
FESC – UNAM 2018	2966 ab	77 b	83 a	225 b	132 b
FESC - UNAM 2019	2916 b	74 c	78 c	184 c	118 c
CEVAMEX – INIFAP 2019	1133 c	73 c	75 d	228 b	120 c
D.S.H. (0.05)	218	0.8	1	6	5

Cuadro 4. *Continuación.*

Ambiente	LM (cm)	PV (kg hL ⁻¹)	P200 (g)	GM
Huexotla 2018	13.2 a	74.0 b	41.9 b	450 a
FESC – UNAM 2018	11.9 b	77.2 a	43.5 b	428 ab
FESC – UNAM 2019	12.6 b	74.5 b	54.3 a	411 bc
CEVAMEX - INIFAP 2019	11.5 c	69.3 c	36.2 c	386 c
D.S.H. (0.05)	0.7	2.6	3.9	37

Tukey, 0.05; Rend = Rendimiento; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; LM = Longitud de mazorca; PV = Peso volumétrico; P200 = Peso de 200 granos; GM = Granos por mazorca.

4.3. Comparación de medias de los genotipos evaluados

En el Cuadro 5, se presentan la comparación de medias entre los 20 materiales nativos y los 2 testigos evaluados. El genotipo con mayor rendimiento fue SFF FMH 1 con 3759 kg ha⁻¹. El maíz palomero comercial V460P tuvo rendimientos de temporal de 2300 kg ha⁻¹ (Valadez *et al.*, 2014), 1459 kg menor por hectárea de productividad con el genotipo SFF FMH 1. Los rendimientos más bajos con menos de 1800 kg ha⁻¹ fueron JF FMH 1, JF FMH 2 y ARR FMH 2 (Anexo). La floración masculina más temprana se presentó en el genotipo JF FMH 2 a los 74 días y la más tardía fue a los 79 días del ARR FMH 2. El genotipo JF FMH 2 fue el que presentó primero la floración femenina a los 77 días. En contraste, ARR FMH 1 fue el último a los 82 días.

El genotipo AFR FMH 1 tuvo como media 238 cm de altura de planta y 135 cm en altura de mazorcas, siendo las más altas de las parcelas experimentales. El Palomero Noel Gómez y Palomero 55# tuvieron las plantas más bajas con 190 y 188 centímetros respectivamente. La altura de la mazorca de estos genotipos fue en promedio de 90 cm en ambos casos. El mayor peso volumétrico se registró en el genotipo Palomero 55# con 80.5 kg hL⁻¹ y el de menor fue PM FMH 1 con 67.7 kg hL⁻¹. La variable peso de 200 granos de maíz palomero con mayor peso fue con 58.2 gramos del genotipo AFR FMH 2 y el de menor Palomero 55# con 24.1 gramos (Cuadro 5).

En longitud de mazorca sobresalió el genotipo Palomero Noel Gómez con 14.3 centímetros de longitud. En cambio, JMP FMH 1 y JF FMH 1 fueron los de menor tamaño con 11.2 centímetros ambos y JF FMH 2 con 10.7 centímetros. AG FMH 2 fue el genotipo con mayor número de granos en la mazorca con 531 y el de menor con 345 granos de LFE FMH 1 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias de 22 variedades nativas y testigos de maíces palomeros para rendimiento de grano y otras variedades considerando la media de cuatro ambientes de evaluación. Ciclo Primavera – Verano 2018 y 2019 en dos localidades.

Gen	Rend (kg ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
SFF FMH 1	3759 a	75 cd	78 cd	225 ab	124 cde
PGR FMH 2	3630 ab	77 abcd	81 abc	222 ab	140 ab
ARR FMH 1	3276 abc	78 ab	82 a	233 a	142 a
ANT FMH 2	3229 abcd	75 cd	78 cd	234 a	131 abcd
ANT FMH 1	3138 abcde	77 abcd	80 abcd	231 ab	129 abcd
LFE FMH 2	3045 abcdef	75 cd	78 cd	224 ab	129 abcd
SFF FMH 2	2918 bcdefg	75 cd	78 bcd	236 a	134 abcd
AG FMH 1	2642 cdefgh	75 cd	79 abcd	219 ab	114 e
LFE FMH 1	2637 cdefgh	75 cd	79 bcd	232 ab	126 bcde
AG FMH 2	2528 defgh	75 d	79 abcd	229 ab	135 abc
Palomero 55#	2462 efghi	77 abcd	80 abcd	188 c	90 f
JMP FMH 2	2424 efghi	76 bcd	79 abcd	226 ab	129 abcd
AFR FMH 2	2387 fghi	76 abcd	80 abcd	238 a	135 abc
Palomero Noel Gómez	2374 fghi	77 abc	80 abcd	190 c	90 f
PM FMH 1	2301 ghij	75 cd	78 bdc	213 b	119 de
JMP FMH 1	2180 hij	75 cd	78 cd	221 ab	129 abcd
AFR FMH 1	2175 hij	76 bcd	80 abcd	235 a	137 abc
PGR FMH 1	2129 hij	77 abcd	81 abc	227 ab	127 bcde
PM FMH 2	2056 hij	76 abcd	80 abcd	234 a	137 abc
JF FMH 1	1779 ijk	76 bcd	78 cd	214 b	125 bcde
JF FMH 2	1614 jk	74 d	77 d	222 ab	128 abcde
ARR FMH 2	1135 k	79 a	82 ab	226 ab	133 abcd

Cuadro 5. Continuación.

Gen	LM (cm)	PV (kg hL⁻¹)	P200 (g)	GM
SFF FMH 1	11.7 bcde	73.1 abcd	37.5 defg	487 ab
PGR FMH 2	12.4 abcde	69.2 cd	42.2 cdef	423 abc
ARR FMH 1	12.8 abcde	74.0 abcd	42.2 cdef	438 abc
ANT FMH 2	12.6 abcde	73.5 abcd	41.2 cdefg	445 abc
ANT FMH 1	12.2 abcde	70.3 bcd	44.8 bcdef	438 abc
LFE FMH 2	11.4 cde	74.4 abcd	43.1 bcdfe	374 bc
SFF FMH 2	11.7 bcde	72.3 abcd	35.4 efgh	443 abc
AG FMH 1	11.9 bcde	73.5 abcd	32.9 fgh	484 ab
LFE FMH 1	12.4 abcde	75.5 abcd	50.0 ab	345 c
AG FMH 2	11.3 de	72.5 abcd	28.8 gh	531 a
Palomero 55#	13.6 abc	80.5 a	42.1 cdef	400 bc
JMP FMH 2	12.0 bcde	70.3 bcd	37.7 defg	423 abc
AFR FMH 2	13.7 ab	77.9 ab	58.2 a	372 bc
Palomero Noel Gómez	14.3 a	73.4 abcd	24.1 h	466 abc
PM FMH 1	12.8 abcde	67.7 d	49.0 abcd	392 bc
JMP FMH 1	11.2 e	76.7 abc	49.8 abcd	377 bc
AFR FMH 1	12.6 abcde	73.7 abcd	51.8 abc	373 bc
PGR FMH 1	12.7 abcde	71.1 bcd	47.5 abcde	407 bc
PM FMH 2	13.4 abcd	76.0 abcd	55.5 ab	424 abc
JF FMH 1	11.2 e	75.9 abcd	47.1 abcde	387 bc
JF FMH 2	10.7 e	76.9 abc	48.1 abcde	425 abc
ARR FMH 2	11.7 bcde	74.1 abcd	52.0 abc	359 c

Gen = Genotipo; Rend = Rendimiento; FM = Floración masculina; FF = Floración femenina; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; LM = Longitud de mazorca; PV = Peso volumétrico; P200 = Peso de 200 granos; GM = Granos por mazorca.

V. CONCLUSIONES

Los maíces palomero sembrados en los cuatro ambientes de Valles Altos tuvieron un rendimiento promedio de 2537.1 kg ha⁻¹. El mejor ambiente fue Huexotla con 3134 kg ha⁻¹ donde se obtuvieron las mazorcas de mayor tamaño y mayor cantidad de granos en cada una.

Los testigos utilizados tuvieron rendimientos de 2462 kg ha⁻¹, para Palomero 55# y 2374 kg ha⁻¹, en el caso de Palomero Noel Gómez. El mejor testigo fue superado por diez materiales nativos, entre ellos se pueden mencionar que fueron superiores en 52.6% SFF FMH 1 (3759 kg ha⁻¹), en 47.4% PGR FMH 2 (3630 kg ha⁻¹), en 33.0% ARR FMH 1 (3276 kg ha⁻¹), en 31.1% ANT FMH 2 (3229 kg ha⁻¹), en 27.4% ANT FMH 1 (3138 kg ha⁻¹), en 23.7% LFE FMH 2 (3045 kg ha⁻¹), en 18.5% SFF FMH 2 (2918 kg ha⁻¹), todos respecto a Palomero 55# (2462 kg ha⁻¹). Las floraciones masculinas y femeninas se presentaron en promedio a los 76 y 79 días, respectivamente, ubicadas como precoces a intermedias.

Los genotipos evaluados en esta investigación se caracterizaron por ser altos. El testigo Palomero 55# fue el de menor altura de planta con 188 cm y de mazorca a los 90 cm. En contraste el AFR FMH 2 fue el que tuvo mayor altura de planta con 238 cm y en altura de mazorca ARR FMH 1 tuvo el mayor valor con 142 cm. Las mazorcas más grandes estuvieron en Huexotla con 13.2 cm y 450 granos. El palomero Noel Gómez tuvo mazorcas de 13.6 cm y 466 granos, siendo las de mayor tamaño, pero los granos fueron los más pequeños de todos los genotipos al tener un peso de 200 granos de 24.1 gramos. Los granos más densos fueron los de Palomero 55# con 80.5 kg hL⁻¹.

La adaptación de las colectas de maíz Palomero Toluqueño tuvo dificultades debido a que no se presentaron precipitaciones en las etapas de desarrollo en los tres ambientes. El ambiente Huexotla fue el que tuvo lluvias constantes cuando los maíces lo requerían, esto ayudó a la adaptación de los materiales colectados al

tener rendimientos superiores. En contraste, CEVAMEX – INIFAP tuvo dificultades debido al mal temporal. A pesar de que estos dos ambientes se encuentran en el mismo municipio, las condiciones meteorológicas en 2018 y 2019 marcaron una diferencia importante en el desarrollo del cultivo.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Andreoli S. A. (s. f.) Maíz pisingallo. Andreoli S. A. Buenos Aires, Argentina. <http://www.andreolisa.com.ar/maiz.html> (Mayo 2020).
- Bautista, E., J. A. Cuevas, A. Santacruz, E. Hernández, C. A. Hernández, A. Hernández y R. Gómez (2018) Factores condicionantes en la distribución de maíz palomero toluqueño y alternativas para su conservación. *Revista BioCiencias* 5:e476 1-13, <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e476>
- Bautista, E., Y. Salinas, A. Santacruz, L. Córdova y H. López (2019) Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero Toluqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:441-446.
- Bautista, E., A. Santacruz, L. Córdova, A. Muñoz, H. López y G. Esquivel (2020) Rendimiento y capacidad de expansión del grano de maíz en la raza Palomero Toluqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1607-1618.
- Bedoya, C., M. Warburton, C. Mir y A. Charcosset (2010) Migración del maíz a partir de su centro de origen, evidencias históricas, genéticas y paleobotánicas. In: El cultivo del maíz. Temas selectos II. C. de León & R. Rodríguez (Eds.). Mundi Prensa. México. pp. 15-18.
- Bellon, M. R., P. A. F. Barrientos, G. M. P. Colunga, H. Perales, A. J. A. Reyes, S. R. Rosales y V. D. Zizumbo (2009) Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. In: Capital natural de México Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. J. Sarukhán (Coord). CONABIO. México. pp: 355-382.

Brenes, A. E. (2007) Decremento de la calidad fisiológica durante el almacenamiento en semillas de maíz, frijol y canola. Tesis de Maestría. Montecillos, Estado de México, México. 72 p.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2020) Grupo cónico o razas de las partes altas del centro de México. Gobierno de México. Ciudad de México. <https://biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/palomeroT> (Abril 2020).

Da Silva, C., H. C. Rodrigues, F. Caixeta, H. K. Kavan, T. Melo y D. Goncalves (2018) Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. *Journal of Seed Science*. 40: 428-434, <http://doi.org/10.1590/2317-1545v40n4191101>

De la O, M., A. Santacruz, D. M. Sangerman, J. L. Arellano, M. G. Valadez, y Avila, M. A. (2018) Estandarización del método de reventado para la evaluación experimental del maíz palomero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1471-1483.

Díaz, A., Y. Montilla y J. González (2015) Determinación de la función de distribución asociada a los picos sonoros ocasionados por el estallido de las popcorn. *Latin-American Journal of Physics Education* 9:1507-1-1507-9.

DuPont Pioneer (2015) Maíz, crecimiento y desarrollo. Du Pont Pioneer. https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf (Diciembre 2020).

- Esteva, G. (2003) Los árboles de las culturas mexicanas. In: Sin maíz no hay país. G. Esteva y C. Marielle (Eds.). CONACULTA. Museo Nacional de las Culturas Populares. México. pp:17-28.
- Figuroa, J. de D., D. E. Narváez, A. Mauricio, S. Taba, M. Gaytán, J. J. Véles, F. Rincón y F. Aragón (2013) Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36 3-A: 305-314.
- Gámez, A. J, M. de la O, A. Santacruz y H. López (2014) Conservación in situ, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1519-1930.
- Gobierno del Estado de México (2015) Atlas de riesgos del Estado de México. Dirección General de Protección Civil del Estado de México. Estado de México. <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/feb/Atlas-20150224.pdf> (Octubre 2020).
- Goodman, M. M. y R. McK. Bird (1977) The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221.
- Granados, A. (2019) Valorización de productos con identidad local: el maíz palomero toluqueño (*Zea mays everta*) de Chotejé, San Felipe del Progreso. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. México. pp 43-44.
- Hallauer, A. R. y F. D. Miranda (1988) Quantitative genetics in maize breeding. Segunda Edición. Iowa State Univ. Ames. Iowa, USA. 468 p.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye (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. 50 p.

Mera, L. M. y J. Caballero (2010). Importancia del maíz en Mesoamérica a partir de las representaciones prehispánicas. In: El cultivo del maíz. Temas selectos II. C. de León & R. Rodríguez (Eds.). Mundi Prensa. México. pp: 1-15.

Ortega, A., M. de J. Guerrero y R. E. Preciado (2013) Diversidad y distribución de maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Primera Edición. BBA. México. 3-43 p.

Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO: Producción y protección vegetal. Roma, Italia. 376 p.

Popcorn USA (2020) Palomitas de maíz. The Popcorn Board. Estados Unidos de América. <http://palomitasdemaiz.org/quelashacereventar.html> (Marzo 2020).

Rocandio, M., A. Santacruz, L. Córdova, H. López, F. Castillo, R. Lobato, J. J. Zavala y R. Ortega (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 37 4:351-361.

Rojas, 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. México. 74 p.

Romero, T., L. González y G. Reyes (2006) Geografía e historia del maíz palomero toluqueño (*Zea mays everta*). *Ciencia Ergo Sum* 13:47-56.

- Salazar, H. C. y M. M. Godínez (2010) El maíz y sus usos estratégicos. In: El cultivo del maíz. Temas selectos II. C. de León y R. Rodríguez (Eds.). Mundi Prensa. México. pp: 35-38.
- Sánchez J, J., M. M. Goodman y C. W. Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany* 54: 43–59.
- Santacruz, V. A. (2001) Genetic diversity of North American popcorn and its relationship with Mexican and South American popcorns. PhD Dissertation. Iowa State University. Iowa, USA. 324 p.
- SAS Institute (2002) SAS software release 9.0. SAS Institute Inc. North Carolina, USA.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019) Datos agrícolas. Gobierno de México. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Marzo 2020).
- SIAMI, Sistema de Información Comercial Vía Internet (2019) Estadísticas arancelarias. Secretaría de Economía. Ciudad de México. <http://www.economia-snci.gob.mx/> (Mayo 2020).
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2016) Razas nativas de maíz en México. Gobierno de México. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/snics/articulos/razas-nativas-de-maiz-en-mexico?idiom=es> (Mayo 2020).
- The Popcorn Board (2020) Datos de la industria. Popcorn! USA. México. <http://palomitasdemaiz.org/industriaconica.html> (Septiembre 2020).

- Valadez, J., N. O. Gómez, R. O. Preciado, C. A. Reyes y A. Peña (2014) V460P, variedad de maíz palomero para la región de Las Huastecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:1303-1308, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i7.1112>
- Vázquez, C. M. G., C. A. Ortega, H. M. J. Guerrero y E. B. Coutiño (2011) Evaluación bioquímica e industrial de razas nativas de maíz en la región serrana de Sonora. In: Amplitud, mejoramiento, usos y riesgos de la diversidad genética de maíz en México. O. R. Preciado y H. S. Montes (Eds.). Sociedad Mexicana de Fitomejoramiento AC. México. pp: 97-142.
- Vieira, R. A., I. L. Souza, L. Bignotto, C. D. Cruz, A. T. Amaral y C. A. Scapim (2009) Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31: 411-419.
- Villanueva, R. (2008) El maíz reventador como alternativa industrial. *Ingeniería Industrial* 26:113-124.
- Virost, E. y A. Ponomarenko (2015) Popcorn: critical temperature, jump and sound. *The Royal Society Interface* 12: 1-6, <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2014.1247>
- Wellhausen, E. J., L. M., Roberts y E. Hernández (1951) Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería de México y Fundación Rockefeller. México. 47-53 p.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis y F. Wobbe (2013) Generic Mapping Tools: Improved version released, *EOS Trans. AGU* 94: 409-410.

ANEXO



Figura A1. Genotipo de mayor rendimiento (SFF FMH 1) con 3759 kg ha⁻¹.



Figura A2. Genotipo con 3630 kg ha⁻¹ de rendimiento (PGR FMH 2).



Figura A3. Genotipo con 3276 kg ha⁻¹ de rendimiento (ARR FMH 1).



Figura A4. Genotipo con 1779 kg ha⁻¹ de rendimiento (JF FMH 1).



Figura A5. Genotipo con 1614 kg ha⁻¹ de rendimiento (JF FMH 2).



Figura A6. Genotipo de menor rendimiento (ARR FMH 2) con 1135 kg ha⁻¹.