



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN.**

**RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE GRANO
BLANCO PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO
LIBERADOS RECIENTEMENTE POR UNAM E
INIFAP**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERIA AGRÍCOLA

P R E S E N T A :

Amelia San Juan Azuara

ASESORA :

Dra. Margarita Tadeo Robledo

COASESOR :

Dr. Enrique Inoscencio Canales Islas

Cuautitlán Izcalli, Edo. De Méx., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS.

Dedico principalmente este trabajo de tesis a mis padres.

Mami, la vida nunca me alcanzara para agradecerte todo lo que haces día con día por mis hermanos y por mí, eres mi ejemplo a seguir, mi fortaleza. Gracias por todos tus consejos, tú apoyo incondicional y tu amor.

Papá, gracias por enseñarme que rendirme no era una opción, porque en cada noche que tenía que desvelarme haciendo trabajos y proyectos estuviste ahí conmigo, por ser estricto, pero a la vez comprensivo.

Gracias Mamá y Papá por siempre estar presentes en cada momento de mi vida, por ser mi soporte y alentarme a seguir avanzado y culminar mis estudios, porque sé que este también es su sueño, verme titulada.

A mis hermanos, Alondra y Evaristo. Yo sé que siempre estarán ahí apoyándome en cada decisión que tome, gracias por apoyarme en lo emocional, moral y económico. LOS AMO.

A mis amigas, Ilse Valeria, Vanessa Dessiré y Maricarmen Ortiz. Si hay algo que me enorgullece de nuestra amistad es que ha sobrevivido a infinidad de momentos, unos muy hermosos y otros no tanto. Sin duda alguna, no hubiese podido sobrevivir a mi loca experiencia universitaria sin ustedes. Gracias por hacer de esta etapa, la más bonita.

A Leo Solano, al igual que mis amigas hiciste de mi etapa universitaria la más bonita, en especial los últimos dos años de universidad. Gracias por apoyarme en cada locura y ocurrencia, por alentarme a seguir avanzado y nunca dudar de mis capacidades, por no dejar que me rindiera en mis momentos de crisis y ayudarme a trazar mi camino. Agradezco infinitamente que me hayas enseñado que la vida es simple y sin tantas complicaciones y a no tomarme las cosas a pecho. Le doy gracias a la vida el haberme encontrado contigo en este sendero.

A la señora Emma Suarez y al señor Rodolfo Solano, sin su apoyo yo no hubiera podido concluir este trabajo de tesis. Gracias por permitirme ser parte de su familia por al menos un año, por quererme como a una hija, brindarme su confianza y abrirme las puertas de su casa. Agradezco infinitamente el que me hayan regalado mi Laptop para terminar de escribir mi trabajo de tesis. Siempre van a tener un lugar en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi máxima casa de estudios, por permitirme ser parte de la mejor universidad del país.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por abrirme sus puertas y otorgarme la oportunidad de pertenecer a la mejor carrera. Gracias por brindarme las herramientas para perseguir mis sueños.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), por el financiamiento que permite el mejoramiento genético de maíz, línea de investigación en el que se inserta la presente tesis. Proyecto PAPIIT vigente, Clave: IT200122.

A la Dra. Margarita Tadeo, por su dirección en el trabajo de tesis y al Dr. Alejandro Espinosa, quienes me abrieron las puertas para pertenecer a su gran equipo de trabajo. Agradezco sus consejos y enseñanzas, por ayudarme a ser más disciplinada, organizada y ordenada. Sin ustedes este trabajo no hubiera podido realizarse.

Al Dr. Enrique Inoscencio Canales, le agradezco especialmente su paciencia, humildad y tiempo dedicado a la coasesoría de la tesis, lo que permitió que yo pudiera concluir este trabajo. Por brindarme consejos y apoyo incondicional para seguir adelante, indudablemente me han servido en mi preparación no solo de estudiante sino a nivel persona. Sin duda alguna es un gran ejemplo a seguir.

Agradezco a todo el equipo de semillas que como una manada están apoyándose los unos a los otros. Gracias a este maravilloso equipo he aprendido lo que es pertenecer a un equipo de trabajo, en el cual he aprendido la importancia del maíz en la vida de los mexicanos. Gracias por la colaboración en el desarrollo de este trabajo de tesis, sin la ayuda de todo el equipo no lo hubiera logrado.

A mis sinodales por su valiosa aportación y sugerencias para el enriquecimiento de este trabajo.

A los profesores de la hermosa carrera de Ingeniería Agrícola que con sus conocimientos y consejos me han ayudado a formarme como una buena profesionista y miembro valioso de esta sociedad.

Por último, quiero agradecer a mis compañeros de generación por cada aporte que hicieron en mi vida, bueno y malo.

CONTENIDO GENERAL

INDICE DE CUADROS.	III
INDICE DE FIGURAS.	IV
RESUMEN	V
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 Objetivos generales.	4
1.1.2 Objetivo Particular	4
1.2. HIPÓTESIS	4
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
2.1 El Maíz.....	5
2.1.1 Origen	5
2.2 Botánica del maíz.....	6
2.2.1. Tallo	6
2.2.2. Inflorescencia	6
2.2.3 Hojas.....	6
2.2.4 Raíz	6
2.3 Germinación y emergencia.....	7
2.4 Valles Altos de México	8
2.4.1 El maíz en los Valles Altos de México	9
2.5 Mejoramiento genético del maíz.....	13
2.5.1 Genética del maíz	13
2.5.2 Rendimiento	13
2.5.3 Maíz híbrido.....	14
2.5.4 Tipos de híbridos de maíz	15
2.5.5 Heterosis.....	16
2.5.6 Androesterilidad en maíz.....	16
2.5.7 Híbrido H-50	17
2.5.8 Híbrido ATZIRI PUMA.....	18
2.5.9. Híbrido TSÍRI PUMA	19
2.5.9 Híbrido TLAOLI PUMA.....	20

3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Ubicación	22
3.2 Material genético	22
3.3 Análisis estadístico.....	23
3.3 Establecimiento del experimento y manejo agronómico	23
3.4 Variables evaluadas	23
3.4. 1 Rendimiento	23
3.4.2 Floración masculina:.....	24
3.4.3 Floración femenina	24
3.4.4 Altura de planta	24
3.4.5 Altura de la mazorca:.....	24
3.4.6 Mazorcas buenas.....	24
3.4.7 Mazorcas malas	24
3.4.8 Peso volumétrico	25
3.4.9 Sanidad de mazorca.....	25
3.4.11 Longitud de mazorca	25
3.4.12 Hileras por mazorca	25
3.4.13 Granos por hilera.	25
3.4.14 Diámetro de mazorca	25
3.4.15 Diámetro de olote.....	25
3.4.16 Granos por mazorca.....	25
3.4.17 % M.S	26
3.4.18 % de Grano.	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5. CONCLUSIONES	41
6. LITERATURA CITADA	42

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1 . Etapas del desarrollo del maíz (CIMMYT, 2014).....	8
Cuadro 2 . Producción de maíz en el Estado de México, representante mayoritario de los Valles Altos de México. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.....	9
Cuadro 3 . Producción de maíz en el Estado de Puebla en los Valles Altos. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.	10
Cuadro 4. Producción de maíz en el Estado de Tlaxcala en Valles Altos. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.	11
Cuadro 5. Producción de maíz en el Estado de Hidalgo en Valles Altos. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.	11
Cuadro 6. Tipos de híbridos de maíz	15
Cuadro 7. Híbridos de Maíz de grano blanco generados en el INIFAP y la UNAM recientemente liberados e inscritos en CNVV, híbridos o en fase experimental y testigos comerciales, para los Valles Altos de México. Primavera-Verano 2017. FESC-UNAM.....	22
Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco INIFAP Y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.....	28
Cuadro 9. Comparación de medias entre ambientes para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco de INIFAP y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.....	31
Cuadro 10. Comparación de medias entre genotipos para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco de INIFAP Y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.	34

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Producción del maíz en los Valles Altos de México, con base en la superficie de siembra.	12
Figura 2. Obtención de semilla híbrida de maíz (CIMMYT, 2015).	15
Figura 3. Híbrido de maíz ATZIRI PUMA para Valles Altos de México.	18
Figura 4. Planta (a), Elote (b), Mazorca y grano (c), del híbrido de maíz TSÍRI PUMA.	20
Figura 5. Planta, y Mazorca del híbrido de maíz TLAOLI PUMA.	21

RESUMEN

México produjo 24 millones de toneladas de maíz, pero importó 16 a 18 millones de maíz amarillo en el año 2019 para cubrir las necesidades totales (SIAP, 2019), por lo que es urgente incrementar la producción, para lograr la suficiencia y soberanía alimentaria. Las variedades mejoradas representan una opción para elevar la productividad y limitar las importaciones.

El objetivo de este trabajo fue determinar el rendimiento de grano de 12 híbridos de maíz de color blanco recientemente liberados e inscritos en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) generados en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en comparación con el testigo comercial H 50 de INIFAP, haciendo un total de 13 tratamientos experimentales.

El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FES Cuautitlán) y en el campo Experimental del Valle de México, INIFAP CEVAMEX. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Se hizo un análisis de varianza seguido de la comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$).

Se evaluaron los cuadrados medios y significancia estadística para las variables. Para la variable de rendimiento, el coeficiente de variación fue de 11.1 % y la media general de 6417 kg ha⁻¹. El rendimiento más elevado (8995 kg ha⁻¹), se presentó en la localidad FESC, que fue estadísticamente diferente en comparación con el ambiente 2 (INIFAP CEVAMEX) que tuvo un rendimiento de 3839 kg ha⁻¹, teniendo una diferencia de 5157 kg ha⁻¹ en relación con FESC-UNAM.

En la comparación de medias, la prueba de Tukey ($p < 0.05$) definió varios grupos de significancia entre los genotipos, el híbrido más sobresaliente fue el genotipo ATZIRI PUMA, recientemente liberado, con un rendimiento promedio de 7488 kg ha⁻¹. En segundo lugar, se ubicó el híbrido experimental (MEPU 2017-1) con un rendimiento promedio de 7416 kg ha⁻¹. En tercer lugar, se ubica el híbrido TSÍRI PUMA, liberado hace cinco años, con un rendimiento promedio de 7104 kg ha⁻¹. Los tres híbridos mencionados anteriormente expresaron buen rendimiento lo que señala su alto potencial competitivo en el mercado mexicano, superando al testigo H-50 que obtuvo un rendimiento de 6438 kg ha⁻¹.

1. INTRODUCCIÓN.

El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. La producción de maíz se divide en blanco y amarillo. El maíz blanco representa el 86.94% de la producción y se destina principalmente al consumo humano. (Perea, 2021). Se producen 24 millones de toneladas y se importan de 16 a 18 millones de toneladas de maíz amarillo.

El Estado de México es el tercer estado productor de maíz a nivel nacional. En 2019 se destinaron a este rubro 708,707 ha de las 3,618,196 ha dedicadas al sector agrícola (SIAP, 2021; Espinosa *et al.*, 2018). Para el mismo año, la producción de maíz ascendió a 1,139,786.18 ton, 79% en condiciones de temporal y 11% de riego (SIAP, 2019).

En la región de los Valles Altos de México (> 2 200 msnm), se siembran bajo condiciones de punta de riego y; humedad residual o temporal, más de dos millones de hectáreas de maíz, las cuales representan cerca de 25% de la superficie nacional (SIAP, 2018). Los maíces sembrados corresponden principalmente a maíces nativos (80%) con rendimiento promedio bajo ($< 3.14 \text{ t ha}^{-1}$) y variedades mejoradas cuyos granos no cumplen con los requisitos mínimos para su uso en la industria de la masa y la tortilla (Vázquez *et al.*, 2016), ya que, al procesarse, la masa y la tortilla cambian a colores grises, lo que limita la aceptación del producto final por el consumidor (Salinas *et al.*, 2012).

En una evaluación realizada a diferentes híbridos con la finalidad de conocer su adaptabilidad y estabilidad en el rendimiento, las características fisicoquímicas del grano y la calidad de la tortilla en condiciones ambientales contrastantes, se identificó que el rendimiento y las propiedades físicas y químicas del grano de maíz son influenciados por diversos factores, entre los que destacan el material genético, es decir el híbrido (G), el ambiente (A), así como su interacción G×A (Vázquez *et al.*, 2016);(Lozano *et al.*, 2015). Según Vázquez *et al.* (2016) para los industriales de la masa y la tortilla es importante que los híbridos mantengan su estabilidad en el rendimiento y calidad del grano en los diferentes ambientes de producción evitando ajustes en el procesamiento.

Con el crecimiento acelerado de la población tanto a nivel nacional como internacional, la demanda de los alimentos se ha incrementado, por lo que, en México, desde hace varios años no se satisface la demanda interna, por lo que es necesario importar maíz (Espinosa *et al.*, 2008).

Es importante mencionar que, en el país, el proceso del cultivo y producción de maíz está en riesgo debido a la gran variedad de amenazas relacionadas como el cambio climático, y especies genéticamente modificadas que reemplazan a las nativas. (Vázquez, 2019)

De aquí la importancia que tiene el mejoramiento genético en el cultivo de maíz debido a su aporte en la generación de nuevos materiales que aporten al productor seguir produciendo, obteniendo o manteniendo su rendimiento, permitan reducir los costos de producción y se adapten mejor al medio ambiente.

Para los Valles Altos, la investigación en semillas y mejoramiento genético de maíz que se realiza el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), ha continuado en respuesta a la problemática actual que representa la producción de maíz, porque desafortunadamente el abastecimiento se limitó a los productores ante el cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), lo que dificultó el aprovechamiento, incremento y distribución de la semilla de las variedades mejoradas disponibles (Espinosa *et al.*, 2014; Espinosa *et al.*, 2018), además de la controversia sobre la introducción de transgénicos de esta especie y la posible contaminación de cultivos de maíz nativo o de poblaciones silvestres.

Por lo tanto, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP) y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) se continúan ofreciendo variedades mejoradas, producto de los programas de mejoramiento genético de ambas instituciones. Para los Valles Altos de México se tienen registradas un total de 27 variedades o híbridos de maíz, para el estado de México, Ciudad de México (CDMX), así como los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (SNICS – SAGARPA, 2018), lo que se podría considerar una cantidad insuficiente de variedades mejoradas por las instituciones públicas para la región, considerando los estados que comprende y la superficie de maíz que se cultiva (Canales, 2018; Espinosa *et al.*, 2018).

Es por eso que en este trabajo se pretende ofrecer a los productores de los Valles Altos algunas alternativas para elegir la variedad de maíz con mejores características, para elevar sus rendimientos.

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 Objetivos generales.

- Determinar el rendimiento de grano de 12 híbridos de maíz de color blanco recientemente liberados e inscritos en el CNVV, o bien experimentales generadas en la UNAM e INIFAP, en comparación con el testigo comercial H 50 de INIFAP.

1.1.2 Objetivo Particular

- Determinar las ventajas y características agronómicas en cuanto a rendimiento de los 13 nuevos híbridos de maíz.

1.2. HIPÓTESIS

Entre los híbridos de maíz liberados recientemente por UNAM e INIFAP o bien experimentales, existe alguno que supera al testigo comercial (H-50) en rendimiento y en características agronómicas favorables para los agricultores de los Valles Altos de México.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 El Maíz

El nombre científico del maíz es *Zea mays*. En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Hernández 1971, Polanco y Flores 2008, SIAP 2008).

2.1.1 Origen

Este cultivo se originó mediante el proceso de domesticación que llevaron a cabo los antiguos habitantes de Mesoamérica, a partir del “teocintle”, gramíneas muy similares al maíz, que crecen de manera natural principalmente en México y en parte de Centroamérica. Se considera que las poblaciones de teocintle del centro del México (Kato, 1984), pudieron ser los ancestros de los cuales se domesticó el maíz como planta cultivada.

El proceso de domesticación del maíz inició hace aproximadamente 10,000 años, muy asociada a la invención y desarrollo independiente de la agricultura en Mesoamérica, y continua en el presente con el manejo, cultivo y selección que hacen año con año los agricultores y sus familias de sus variantes de maíces nativos (o criollos), asimismo con la interacción de este cultivo con sus parientes silvestres, los teocintles, en las regiones donde coinciden de manera natural. México es el centro de origen del maíz. Aquí se concentra, muy probablemente, la mayor diversidad de maíz del mundo y aquí han evolucionado y viven sus parientes silvestres, los teocintles, y otro conjunto de gramíneas relacionadas, especies del género *Tripsacum* (maicillos) (Biodiversidad Mexicana, 2020).

La gran diversidad del maíz en México se debe a la gran diversidad geográfica y cultural del país. (CIMMyT, 2016). Los agricultores desde tiempos pasados se han encargado de recolectar y guardar las semillas con las mejores características para la siembra de su siguiente ciclo y como resultado de ese proceso se han obtenido distintas variedades de maíz.

Con base en diversos hallazgos, como cerámica y lítica principalmente, así como al estudio de sedimentos y depósitos de restos vegetales en contextos arqueológicos, se cree que el maíz fue domesticado hace aproximadamente 8000 años. Su evolución es producto de la

interacción de los procesos biológicos y factores ecológicos con la dinámica cultural y los intereses del hombre (Benz, 1997).

México se caracteriza por presentar condiciones orográficas muy variadas, cuya interacción con los factores climáticos ha generado una amplia diversidad ambiental y nichos ecológicos. De los cultivos cuyo centro de origen y diversidad es México, el maíz (*Zea mays L.*) es el de mayor importancia a escala nacional y mundial, tanto por la superficie sembrada como por el volumen de producción (FAO, 2009), y su diversidad de usos (CONABIO, 2008).

Dentro de la diversidad de maíz de México, uno de los grupos de mayor interés es el denominado "Tipo de México Central" (Kuleshov, 1981), también conocido como Complejo Piramidal Mexicano. Este grupo incluye a las razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle y Chalqueño, todas ellas cultivadas en los Valles Altos, más la raza Purépecha descrita por Mijangos-Cortés *et al.* (2007).

2.2 Botánica del maíz

2.2.1. Tallo

El tallo es erecto, alcanzando los 4 metros de longitud.

2.2.2. Inflorescencia

El maíz tiene una inflorescencia monoica (Inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta.)

2.2.3 Hojas

Hojas lanceoladas, grandes, alternas, se encuentran abrazadas al tallo, en el haz presentan vellosidades.

2.2.4 Raíz

La raíz es fasciculada. En los únicos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias y adventicias.

2.3 Germinación y emergencia

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

Poco después de que la radícula emerge, de tres a cuatro raíces adicionales emergen de la semilla. Estas raíces y la radícula forman el sistema de raíces seminales que actúa en la absorción de agua y algunos nutrientes para la plántula, la mayoría de los nutrientes para la plántula son previstos por las proteínas y los almidones hidrolizados del endospermo. El desarrollo radicular de coronas se inicia en la etapa VE (Cuadro 1). La planta de maíz muestra emergencia “hipogea”, en la que el cotiledón permanece debajo de la superficie. El mesocótilo o primer nodo interno, se alarga y empuja la punta del coleóptilo hacia la superficie del suelo, cuando el coleóptilo rompe la superficie del suelo se ha producido la emergencia.

Luego de la emergencia del coleóptilo, el crecimiento del sistema de raíces seminales disminuye y luego se detiene aproximadamente en la V3, a medida que el sistema de raíces principales crece, el sistema de raíces seminales permanece activo, pero progresivamente suministra un porcentaje más bajo del total de agua y nutrientes del suelo para el crecimiento de la planta. El coleóptilo emergido, con la plúmula incluida luego se alarga. Según el Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, (CONACYT, 2014), para la normalización de las definiciones, los investigadores de maíz han elaborado una guía para identificar las diferentes etapas de crecimiento de maíz. No todas las plantas en el campo llegan a una etapa en particular al mismo tiempo, por lo tanto, los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa específica cuando al menos el 50% de las plantas presentan las características correspondientes. La normalización de las definiciones permite que los investigadores se refieran a los problemas de las etapas de crecimiento específicas, también pueden comparar la fenología de maíz bajo diferentes condiciones ambientales y de tratamientos experimentales. Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías:

- Vegetativa (V)

- Reproductiva (R).

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

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

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

Cuadro 1 . Etapas del desarrollo del maíz (CIMMYT, 2014).

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

FUENTE: RAMÍREZ 2020.

2.4 Valles Altos de México

La región de los Valles Altos Centrales de México esta geográficamente determinada por aquellas zonas que se encuentran entre los 2200 y 2600 msnm; es la aérea maicera de mayor extensión e importancia, ubicada en los estados de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala; cuentan con una superficie potencial de 3.5 millones de hectáreas. El área de la mesa central de México está caracterizada por presentar una amplia gama de condiciones ambientales, algunas de las cuales son muy favorables. No obstante, el 39% de su superficie corresponde a zonas que se han clasificado como de temporal de bajo rendimiento, por la escasa

frecuencia y mala distribución de las lluvias, en las que se siembran alrededor de 700, 000 ha de maíz con buen potencial de rendimiento (Arias, 2005).

2.4.1 El maíz en los Valles Altos de México

El área dedicada al maíz en los Valles Altos de México cuenta con condiciones de riego, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables (superiores a 650 mm), siendo consideradas provincias agronómicas de “muy buena” y “buena productividad”, en aproximadamente 700 000 hectáreas (Turrent, 1994; Turrent, 2008). De esta superficie, 300 mil ha son factibles de ser sembradas con semilla de híbridos, de alto potencial de rendimiento. En esta zona bajo las condiciones señaladas, el rendimiento promedio actual es de 3.5 t ha⁻¹ de grano de maíz, que se puede elevar por lo menos a 6 t ha⁻¹, si se utilizan semillas mejoradas y la tecnología de producción desarrollada por el INIFAP (Espinosa et al., 2004 a; Espinosa et al., 2004)

Las razas cultivadas en los Valles Altos de México son arrocillo amarillo, cachuacintle, cónico, chalqueño y palomero toluqueño. Estas se siembran en 3.5 millones de hectáreas de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala, y el 95% de esta superficie se siembra con criollos cónico y chalqueño (Espinosa, 1999).

Cuadro 2 . Producción de maíz en el Estado de México, representante mayoritario de los Valles Altos de México. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.

Municipio	Sup. Sembrada (Ha).	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha).	Producción (Ton).	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/UDM.)	Valor de la producción (Miles de pesos)
Atlacomulco	7,520.00	7,520.00	0.00	33,840.00	4.50	3,350.40	113,377.54
Coatepec de harinas	3,544.33	3,544.33	0.00	16,622.91	4.69	3,901.65	64,856.78

Jilotepec	10,507.00	10,307.00	200.00	28,838.25	2.80	3,270.39	94,312.46
Tejupilco	8,834.00	8,834.00	0.00	17,226.30	1.95	4,159.35	71,650.21
Texcoco	1,104.90	394.90	710.00	849.04	2.15	3,332.31	2,829.26
Toluca	11,120.00	11,120.00	0.00	52,753.37	4.74	3,547.50	187,142.58
Valle de Bravo	2,014.00	2,014.00	0.00	7,492.08	3.72	3,871.96	29,009.03
Zumpango	3,695.00	3,695.00	0.00	3,689.12	1.00	3,871.29	14,281.64

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP 2021.

Cuadro 3 . Producción de maíz en el Estado de Puebla en los Valles Altos. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.

Distrito	Sup. Sembrada (Ha).	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha).	Producción (Ton).	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR(\$/UDM)	Valor producción (Miles de pesos)
Acajete.	7,700.00	7,700.00	0.00	20,405.00	2.65	3,869.00	78,946.95
Chignahuapan.	11,316.67	11,316.67	0.00	9,669.50	0.85	3,870.51	37,425.93
Huauchinango	2,090.47	2,090.47	0.00	1,714.19	0.82	4,429.07	7,592.27
Izúcar de Matamoros.	4,640.00	4,640.00	0.00	5,800.00	1.25	3,588.06	20,810.75
Libres.	6,420.00	6,420.00	0.00	17,655.00	2.75	3,939.90	69,558.93
Tecamachalco.	3,386.00	3,106.00	280.00	12,983.08	4.18	4,100.00	53,230.63
Tehuacán.	2,150.00	2,150.00	0.00	1,999.50	0.93	4,284.00	8,565.86
Teziutlán.	770.50	770.50	0.00	1,186.57	1.54	3,998.83	4,744.89
Zacatlán.	10,159.33	8,233.33	1,926.00	6,916.00	0.84	3,860.60	26,699.91

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP 2021.

CUADRO 4. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL ESTADO DE TLAXCALA EN VALLES ALTOS. CICLO PRIMAVERA-VERANO 2019, MODALIDAD TEMPORAL. MAÍZ PARA GRANO.

Distrito	Sup. Sembrada (Ha).	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha).	Producción (Ton).	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/UDM)	Valor producción (Miles de pesos)
Calpulalpan.	1,700	1,700.00	0.00	3,672.00	2.16	3,179.26	11,674.2
Huamantla.	12,500	12,500.00	0.00	32,500.00	2.60	3,211.93	104,387.7
Tlaxcala	571	570.99	0.00	1,678.71	2.94	3,124.91	5,245.8

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP 2021.

Cuadro 5. Producción de maíz en el Estado de Hidalgo en Valles Altos. Ciclo Primavera-Verano 2019, modalidad temporal. Maíz para grano.

Distrito	Sup. Sembrada (Ha).	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha).	Producción (Ton).	Rendimient o (Ton/Ha)	PMR (\$/UDM)	Valor producción (Miles de pesos)
Huichapan.	6,383.00	5,583.00	800.00	5,583.00	1.00	4,100.00	22,890.30
Santiago de Anaya	3,390.00	1,390.00	2,000.00	973.00	0.70	4,056.12	3,946.60
Atotonilco el grande.	4,370.00	1,786.00	2,584.00	1,553.82	0.87	4,100.00	6,370.66
Tulancingo.	3,397.05	3,216.55	180.50	4,125.00	1.28	3,537.88	14,593.76

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP 2021.

El uso de semilla nativa en México es de 75%. El restante 25% procede de semilla de variedades mejoradas. En ese contexto, en Valles Altos de México, sólo se siembra 6% con semilla mejorada (Espinosa et al., 2003 a; Espinosa et al., 2014).

En La figura 1 se observa que el estado de México y Puebla tiene la misma superficie sembrada, sin embargo, la productividad más alta la tiene el estado de México, seguido de Puebla. Esto nos indica que las variedades mejoradas en los Valles Altos de México pueden ayudar a mejorar el rendimiento y la productividad.

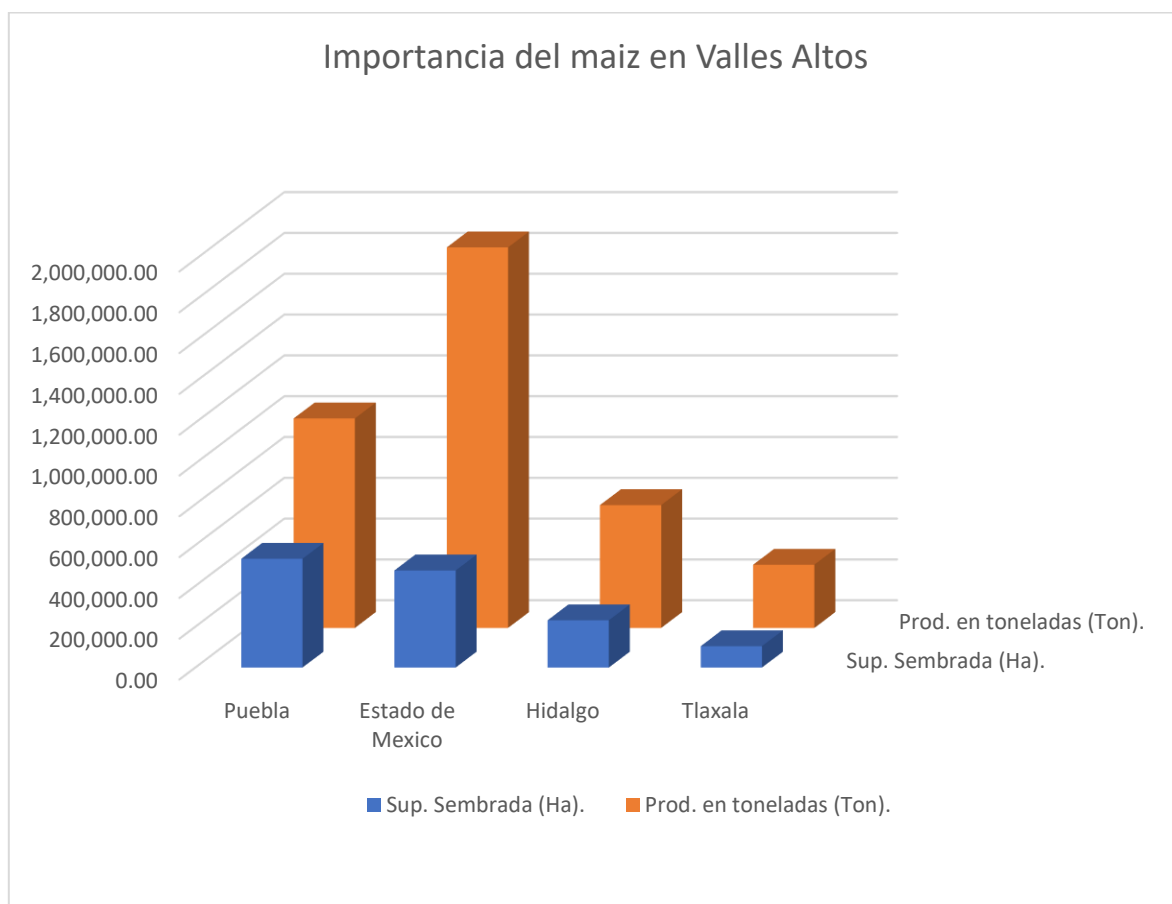


Figura 1. Producción del maíz en los Valles Altos de México, con base en la superficie de siembra. (Elaboración propia con datos del SIAP, 2021).

El uso de germoplasma mejorado de maíz ha aumentado en México, el patrón de adopción ha sido irregular. El uso de dicho germoplasma este concentrado en zonas de producción comercial, mientras que, en las regiones caracterizadas por una agricultura orientada al autoconsumo, la mayoría de los agricultores continúan cultivando sus variedades locales (CIMMyT, 2008).

2.5 Mejoramiento genético del maíz

El mejoramiento genético del maíz se inicia en los pueblos indígenas de México quienes del teocintle comenzaron a seleccionar granos con características favorables, a este tipo de mejoramiento se le conoce como mejoramiento autóctono de maíz (Turrent *et al.*, 2009).

2.5.1 Genética del maíz

El maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en estudios de genética. Continuamente se está evaluando su genotipo y por tratarse de una planta monoica aporta gran información ya que posee una parte materna (femenina) y otra paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias recombinaciones (cruzas) y crear nuevos híbridos para el mercado (Aguirre, 2001). Los objetivos de estos cruzamientos van encaminados a la obtención de altos rendimientos en producción. Por ello, se selecciona en masa aquellas plantas con características favorables, por ejemplo: más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas, y que desarrollen un buen porte para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten características determinadas de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo. También se selecciona según la forma de la mazorca de maíz, aquellas sobre todo que posean un elevado contenido de granos sin deformación (Aguirre, 2021).

2.5.2 Rendimiento

El rendimiento en grano del cultivo de maíz se compone del número de granos producidos y del peso medio de los mismos. Tanto el número como el peso de los granos responden a los cambios que experimentan las condiciones de crecimiento del cultivo en los momentos del ciclo en que cada componente es determinado. De los dos componentes, el número de granos maduros es el que está más estrechamente relacionado con las variaciones en el rendimiento del maíz a campo (Cirilo y Andrade, 1994a; Otegui, 1995). La cantidad de estructuras florales diferenciadas, potencialmente viables para dar granos maduros, no es el principal determinante en maíz del número de granos que alcanza la cosecha sino la supervivencia de esas estructuras fecundadas (Cirilo y Andrade, 1994b; Otegui y Andrade, 2000).

El maíz es una planta C4, y junto con el sorgo, tiene una mayor actividad fotosintética que una planta C3, como el trigo y la soya; el rendimiento también es determinado por genes relacionados con caracteres que contribuyen a mejorar la estabilidad de la producción como la madurez óptima, calidad del tallo, resistencia a situaciones del estrés ambiental, resistencia

a patógenos y plagas El rendimiento se evalúa llevando a cabo ensayos en varias localidades y en varias temporadas a fin de poder medir las interacciones genotipo-ambiente. (Poehlman, 2003).

La interacción de varios componentes fisiológicos, en especial de aquellos que más lo limitan y que hacen variar su expresión entre variedades. El rendimiento final de un cultivo está determinada por componentes de rendimiento iniciales, componentes de rendimiento morfológico, componentes de rendimiento fisiológico y componentes de rendimiento finales. Los componentes de rendimiento están determinados o afectados por factores ambientales, factores genéticos, manejo de cultivos y de la interacción de cada uno de los factores sobre el cultivo a través de sus diferentes etapas fenológicas. (Vázquez, 1998).

2.5.3 Maíz híbrido

En términos sencillos, un híbrido de maíz resulta cuando una planta de maíz fecunda a otra que genéticamente no está emparentada con la primera. La planta que produce la semilla se denomina progenitora hembra o de semilla, en tanto que la planta que proporciona el polen para fecundar a la hembra se denomina progenitor macho o de polen. En otras palabras, una planta hembra es cruzada con una planta macho a fin de producir semilla híbrida. La composición básica de un híbrido de maíz son las líneas endogámicas (CIMMYT, 2015).

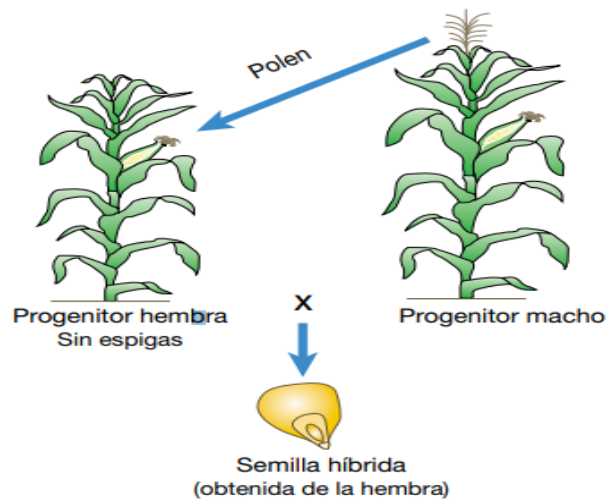


Figura 2. Obtención de semilla híbrida de maíz (CIMMYT, 2015).

2.5.4 Tipos de híbridos de maíz

Cuando hablamos de maíz, existen varios tipos de híbridos, cada uno va a tener una conformación diferente. En el cuadro 6 se pueden apreciar algunas de sus características (CIMMYT, 2015).

CUADRO 6. TIPOS DE HÍBRIDOS DE MAÍZ

Tipo de híbrido	Progenitor hembra	Progenitor macho	Rendimiento de semilla	Precio de semilla	Características de los híbridos	Rendimiento de grano
Simple	Línea endogámica	Línea endogámica	El más bajo	Alto	Uniforme	El más alto
Triple	Híbrido simple	Línea endogámica	Alto	Moderado	Apenas variable.	Alto
Doble	Híbrido simple	Híbrido simple	El más alto	Bajo	Muy variable	De moderado a alto.
Criollo	Variedad de polinización libre	Línea endogámica	Moderado	Bajo	Muy variable	Moderado
Varietal	Variedad de polinización libre	Variedad de polinización libre	De moderado a alto	Bajo	Muy variable	De moderado a bajo.

2.5.5 Heterosis

La heterosis o vigor híbrido, es la base del mejoramiento genético por hibridación. El fenómeno fue observado por primera vez por Darwin en 1871 (Wallace y Brown, 1956). Es el resultado del cruzamiento de progenitores no emparentados que da oportunidad de obtener híbridos superiores a sus progenitores (Moll *et al.*, 1962). Esto nos dice que el híbrido resultante de la heterosis tendrá características favorables como lo son: tamaño, rendimiento o vigor en general.

La heterosis tiene como resultado el estímulo general de la planta híbrida, principalmente de la generación F1 provenientes de la semilla, donde frecuentemente se obtiene un incremento de los rendimientos, madurez precoz, mayor resistencia a plagas y enfermedades, plantas más altas, mayor número y peso de frutos, así como otras partes internas y externas de la planta (Jugenheimer, 1981).

2.5.6 Androesterilidad en maíz

La androesterilidad es la incapacidad que tienen las plantas para producir anteras, polen o granos de polen funcionales; la primera referencia que se tiene es sobre su utilización en la producción de semilla híbrida de cebolla (Jones y Clarke 1943). La cual también se utiliza en la producción de semilla híbrida de maíz (*Zea mays L.*) para incrementar el rendimiento y la calidad genética de la semilla (Martínez *et al.*, 2005), con lo que se evita el desespigamiento manual del progenitor hembra en la formación del híbrido, actividad que requiere de 24 a 50 jornales por hectárea (Poehlman, 2005; Tadeo *et al.*, 2014 a; Tadeo *et al.*, 2014 b).

Para la obtención de líneas androestériles es necesario convertir una línea fértil en estéril mediante un programa de retro cruzamiento el cual fue ideado por el botánico Alemán Joseph Koelreuter en el siglo XVIII (Jugenheimer, 1988).

Para obtener una población con esterilidad causada genéticamente es necesario cruzar las líneas con una fuente de esterilidad, autofecundar la F1, y cosechando siempre plantas estériles, hacer una o dos retrocruzas más hacia las líneas, mezclar retrocruzas y continuar el avance generacional por medio de la cosecha de plantas estériles (Márquez, 1991).

2.5.6.1 Ventajas de la androesterilidad

La incorporación de androesterilidad y definición de materiales restauradores de la fertilidad y esquema completo para producir semilla sin recurrir al desespigamiento en producción de semilla de híbridos del INIFAP, otorgará elementos para apoyar el abasto de semillas certificadas con la calidad genética obtenida por los fitomejoradores. El esquema de androesterilidad evitará que se den de baja lotes de producción de semilla por fallas en el proceso de desespigue, además de apoyar a empresas den baja escala productiva y promover un mejor abasto de semillas (Canales, 2008).

Con la androesterilidad se busca obtener semilla de híbridos con calidad genética adecuada. Con los esquemas de androesterilidad se podrá elevar el uso de semilla de híbridos de maíz, con la seguridad de obtener un insumo de calidad, con menos costos de producción tanto de semilla como de grano, por prescindir del desespigue.

2.5.7 Híbrido H-50

En 1999, el INIFAP, a través del programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas, liberó el híbrido de maíz H-50, el cual se inscribió en el catálogo de variedades factibles de comercialización (CVC) con el número 1129-MAZ-438-280599/C, para ofrecer a los productores de los Valles Altos una alternativa de producción con mayores ventajas agronómicas y económicas (Espinosa y Tadeo, 2002).

Las características agronómicas del H-50 son: maíz híbrido de cruza doble, de ciclo intermedio, con 155 días a la madurez fisiológica, unos días más precoz en ciclo al H-33 (157 días), al H-28 (159 días) y al VS-22(161 días); su altura de planta es de 2.38 m y de mazorca 1.49 m; la floración masculina se presenta a los 83 días, la femenina a los 84 días y la madurez fisiológica a los 155 días, en altitudes de 2240 msnm. La mazorca mide 15.8 cm de largo, tiene 16 hileras, con grano de color blanco, Las características de producción industrial son: 60% de reflectancia, 23D de índice de flotación, 1.78% de pico, 5.3% de pericarpio, 8.3% de germen y peso hectolítrico de 782 kg por hectolitro. Los valores de porcentaje de pico, pericarpio y germen están dentro de los parámetros establecidos por la empresa MASECA. H-50 presenta las siguientes variables de Nixtamalización: 43.0% de humedad de nixtamal,

4.3% de pérdida de sólidos, 1.78 de rendimiento de masa y 1.44 de rendimiento de tortilla, lo que indica que posee características físicas y variables adecuadas para aprovecharse en la industria de la masa y la tortilla.

El H-50 tiene menor incidencia de rayado fino y achaparramiento que el H-33. Su rendimiento comercial promedio de evaluación realizada de 1995 a 1999 fue de 8215 kg ha (Espinosa *et al.*, 1999)., valores superiores en 26.6% al H-33. Este híbrido exhibe un buen rendimiento bajo condiciones de temporal, humedad residual o riego, su adaptación se extiende a los Valles Altos de los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Michoacán y Estado de México.

2.5.8 Híbrido ATZIRI PUMA

Híbrido trilineal de grano blanco semidentado (Figura 3), con adaptación a Valles Altos. Es de ciclo intermedio, su floración masculina aparece a los 86 días y la femenina a los 88 días, en altitudes de 2250 msnm. Llega a madurez fisiológica a los 164-167 días; se puede cortar a los 179 días con cosechadora mecánica. Su rendimiento potencial es de 10.5 ton ha¹ (INIFAP, 2015).



Figura 3. Híbrido de maíz ATZIRI PUMA para Valles Altos de México.

La jornada, 2018

2.5.9. Híbrido TSÍRI PUMA

Tsíri Puma es un híbrido trilineal, de grano blanco y textura semidentado, con adaptación favorable a Valles Altos (de 2200 a 2600 msnm); sin embargo, prospera bien desde 1900 a 2600 msnm. En fechas de siembra del 15 de mayo al 20 de abril, con densidad de población de 65,000 plantas ha⁻¹, es de madurez intermedia ya que su floración masculina ocurre a los 84 d y la femenina a los 86 d. En altitud de 2250 m es ligeramente más tardío que el híbrido comercial H-48. Llega a madurez fisiológica a los 161 días (d), después de lo cual se puede cortar y 'amogotar' (secado en campo), para luego efectuar la pizca manual; de ser el caso, la cosecha mecánica puede efectuarse a los 175 d (Tadeo *et al.*, 2016).

La altura de planta varía de 255 a 270 cm y la de mazorca de 127 a 140 cm; la longitud de mazorca es de 16.5 cm, con 16 hileras y 32 granos por hilera; y su relación grano/mazorca es de 86 %. Es resistente al acame de raíz y tallo, y a las enfermedades fungosas de planta y mazorca causadas por los géneros *Puccinia* y *Ustilago*. Su rendimiento promedio de grano, a través de varios años (2008 a 2012) y localidades en el Estado de México (Cuautitlán, Ixtlahuaca, Texcoco, Temascalcingo, Atlacomulco), varió de 9.5 a 12.5 t ha⁻¹ con un rendimiento medio de 8.5 t ha⁻¹, valor superior en 20 % al H-48.

Tsiri Puma expresa buena productividad en ensilado, ya que su rendimiento de forraje es de 83,369 kg ha⁻¹, con materia seca de 24,623 kg ha⁻¹ y porcentaje de digestibilidad 72.47 %, por lo que se recomienda para doble propósito. El rendimiento de masa es superior a lo requerido por los industriales de la masa-tortilla (2.05 kg de masa / kg de maíz procesado), con peso hectolítrico de 79.4 kg hL⁻¹ e índice de flotación de 16 % (Tadeo *et al.*, 2016).

La producción de semilla debe hacerse bajo riego, en siembras de abril y mayo, con 65,000 plantas ha⁻¹ en el Valle de México, Valle de Toluca, Atlacomulco, Valle de Puebla, San Martín Texmelucan, y en Huamantla y Apizaco en el Estado de Tlaxcala. La semilla registrada se puede adquirir en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) de la UNAM localizada en Cuautitlán Izcalli, para incrementar semilla certificada con la inspección y calificación del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).



Figura 4. Planta (a), Elote (b), Mazorca y grano (c), del híbrido de maíz TSÍRI PUMA.

Tadeo et al., 2016.

2.5.9 Híbrido TLAOLI PUMA

Tlaoli Puma es un híbrido trilineal de grano blanco y textura semidentada, con adaptación a Valles Altos (de 2200 a 2600 msnm). En sus progenitores se incorporó androesterilidad y también un macho restaurador de la fertilidad masculina para facilitar la producción de semillas, mantiene la calidad genética y apoya el abastecimiento de éstas por parte de empresas semilleras y grupos de productores. El híbrido Tlaoli Puma posee madurez intermedia, con floración masculina a los 87 d y femenina a los 89 d. Su rendimiento a través de varios años de evaluación (2008 a 2012) y localidades en el Estado de México (Cuautitlán, Ixtlahuaca, Texcoco, Temascalcingo y Atlacomulco) fue de 11.7 t ha^{-1} , con variación de 8.7 a 13.5 t ha^{-1} ; en promedio, el comportamiento es superior en 26.0 % con respecto al híbrido testigo H-48, en uso comercial extensivo desde 1998. Tlaoli Puma es unos días más tardío que H-48, alcanza madurez fisiológica a los 166 d, y posteriormente es posible cortar, “amogotar” (secado en campo) y efectuar la pizca manual; de ser el caso, la cosecha mecánica puede efectuarse a los 181 d. La altura de la planta varía de 262 a 270 cm y la de mazorca de 127 a 140 cm. La longitud de mazorca es de 18.5 cm, con 16 hileras y 33 granos por hilera (Figura 1); su relación grano/mazorca es de 86 %. Es resistente al acame de raíz y tallo y a las enfermedades de planta y mazorca (*Puccinia* y *Ustilago*). Tlaoli Puma expresa buena productividad en ensilado, ya que su rendimiento de forraje es superior a 85 t ha^{-1} , producción de materia seca de 25 t ha^{-1} y porcentaje de digestibilidad de 67 %, por lo que se recomienda

para doble propósito, grano y forraje. Al evaluar el grano para la elaboración de tortilla, Tlaoli Puma expresó un rendimiento de masa superior a lo requerido por los industriales de la masa y la tortilla (2.0 kg de masa kg^{-1} de maíz procesado), con peso volumétrico de 76 kg hL^{-1} e índice de flotación de 14 % (Tadeo *et al.*, 2021).



Figura 5. Planta, y Mazorca del híbrido de maíz TLAOLI PUMA.

Tadeo et al., 2021.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Cuautitlán, UNAM) y en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México en el ciclo Primavera–Verano de 2017. Se estableció un experimento en cada lugar establecido, teniendo en total dos experimentos en distintas localidades.

3.2 Material genético

El trabajo experimental constó de 13 genotipos de híbridos, solo la variedad mejorada H-50 es un híbrido de cruce doble, el resto son híbridos trilineales (Cuadro 7).

Cuadro 7. Híbridos de Maíz de grano blanco generados en el INIFAP y la UNAM recientemente liberados e inscritos en CNVV, híbridos o en fase experimental y testigos comerciales, para los Valles Altos de México. Primavera-Verano 2017. FESC-UNAM.

Trat.	Genotipo	Tipo de híbrido	Condición de Registro	Institución
1	H-61 EXP	Trilineal	Experimental	INIFAP
2	MEPU 2017-2	Trilineal	Experimental	UNAM
3	MEPU 2017-3	Trilineal	Experimental	UNAM
4	MEPU 2017-1	Trilineal	Liberado	UNAM
5	ATZIRI PUMA	Trilineal	Experimental	UNAM
6	TLAOLI PUMA	Trilineal	Liberado	UNAM
7	CUXI PUMA	Trilineal	Experimental	UNAM
8	IXIM PUMA	Trilineal	Experimental	UNAM
9	H-50	Doble	Liberado	TESTIGO
10	H-51 AE	Trilineal	Liberado	INIFAP
11	H 47AE	Trilineal	Liberado	INIFAP

12	H 49 AE	Trilineal	Liberado	INIFAP
13	H 53 AE	Trilineal	Liberado	INIFAP

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Análisis estadístico

Para las diferentes variables consideradas en este trabajo se realizó un análisis de varianza combinado, las fuentes de variación fueron ambientes, genotipos, bloques, y sus diferentes interacciones; al hacer uso del programa estadístico SAS versión 9.4, y los valores medios de cada variable se compararon al realizar una prueba de Tukey con una probabilidad de error del 0.05.

3.3 Establecimiento del experimento y manejo agronómico

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

La siembra se efectuó a “tapa pie”, depositando dos semillas por mata cada 0.25 m. Después de la emergencia de las plántulas, se aclaró a 28 plantas por surco para tener una densidad de población uniforme de 60,000 plantas ha⁻¹. Esta densidad de población es la recomendada para los Valles Altos del Centro de México, para materiales similares a los que se emplearon en este estudio.

3.4 Variables evaluadas

3.4. 1 Rendimiento

El cual se obtuvo con la siguiente fórmula:

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

Donde:

- P.C.: peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela expresada en kilogramos.

- %M.S.: porcentaje de materia seca de la muestra de grano de 5 mazorcas.
- %G.: porcentaje de grano, se obtuvo del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las 5 mazorcas con olote multiplicado por 100.
- F.C.: factor de conversión para obtener rendimiento por hectárea, que se obtiene al dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m².
- 8600: es una constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial del 14%.
- El resultado obtenido se expresa en kg ha⁻¹.

3.4.2 Floración masculina: se registró el número de días transcurridos, desde la siembra hasta que aparece el 50% de las espigas, para cada uno de los surcos de cada genotipo, tomándose el promedio de ellas como dato final

3.4.3 Floración femenina: Se registró el número de días transcurridos, desde la siembra hasta la aparición del 50% de los estigmas, para cada uno de los surcos de cada genotipo, tomándose el promedio de ellas como dato final.

3.4.4 Altura de planta: se tomaron al azar cinco plantas, las cuales se midieron desde la base de la planta o punto de inserción de las raíces, hasta el inicio de la panoja o donde la espiga comienza a dividirse, en la que se promediaron los datos entre ellas como dato final.

3.4.5 Altura de la mazorca: Se tomaron al azar cinco plantas, en las cuales se midió la longitud desde la base de la planta hasta el nudo donde se inserta la mazorca más alta, tomándose el promedio de ellas como dato final.

3.4.6 Mazorcas buenas: después de pesar las mazorcas, se separaron las mazorcas con menos del 50% de daño en la estructura o sin daño alguno, y se cuantificó el número de mazorcas

3.4.7 Mazorcas malas: después de pesar las mazorcas, se extendieron y se cuantificaron las mazorcas que tienen más del 50% de daño en la estructura ya sea por plagas, enfermedades.

3.4.8 Peso volumétrico. Se toma una muestra de cinco mazorcas, se desgranaron, se pesó el grano en una balanza hectolítrica para obtener la relación de la muestra a un litro, se expresó en kg h^{-1} .

3.4.9 Sanidad de mazorca. Después de la cosecha, pero antes de tomar una muestra para determinar la humedad se extendió la pila de mazorcas frente a cada parcela y se calificaron características como daños por enfermedades, insectos, tamaño de la mazorca, llenado de grano y uniformidad de la mazorca.

3.4.10 Peso de 200 granos. Se tomó una muestra de cinco mazorcas de cada parcela, se desgranaron, se contaron 200 granos, se pesaron y se expresó en gramos.

3.4.11 Longitud de mazorca. Se tomaron cinco mazorcas por parcela y se midió desde la base hasta la punta de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final y se expresó en centímetros.

3.4.12 Hileras por mazorca. Se tomó la muestra de cinco mazorcas, se contó el número de hileras de cada mazorca, tomando el promedio de ellas como dato final.

3.4.13 Granos por hilera. En la muestra de cinco mazorcas, se contó el número de granos por hilera de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final.

3.4.14 Diámetro de mazorca. Se midió cada una de las cinco mazorcas de muestra de cada parcela de la parte media con un vernier, en la cual se tomó el promedio de ellas como dato final.

3.4.15 Diámetro de olote. Se midió cada una de las cinco mazorcas de la muestra de cada parcela de la parte media con un vernier, tomándose el promedio de ellas como dato final.

3.4.16 Granos por mazorca. Esta se obtuvo de la multiplicación de los promedios de hileras por mazorca, tomándose el promedio de ellas como dato final.

3.4.17 % M.S. De la mezcla de las cinco mazorcas de la muestra se obtuvo el porcentaje de humedad por medio de un determinador de humedad, este porcentaje se le restó a el 100 % y el valor obtenido se consideró como el resultado de % M. S.

3.4.18 % de Grano. Resulto de la relación entre el peso del grano y el peso total de la muestra que se obtuvo y se multiplicó por 100.

$\% \text{ Grano} = (\text{Peso sin olote} / \text{Peso con Olote}) \times 100.$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 8 se presentan los cuadrados medios obtenidos de los resultados del análisis de varianza, así como la significancia estadística para las variables de rendimiento, peso en campo, floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, mazorcas buenas, mazorcas malas, peso volumétrico, sanidad de planta, sanidad de mazorca, cobertura de mazorca, peso de 200 granos, longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca, diámetro de olote, granos por mazorca, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano, evaluadas en dos localidades para determinar el rendimiento de los diferentes híbridos de maíz blanco para su producción en los Valles Altos de México.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se detectó para el factor de variación ambiente (Amb), diferencias altamente significativas para las variables de rendimiento, peso en campo floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, mazorcas buenas, peso de 200 granos, diámetro de mazorca, granos por mazorca y porcentaje de materia seca. Para la variable de rendimiento el coeficiente de variación fue de 11.1 % y la media general de 6417 kg ha⁻¹ (Cuadro 8). Las variables mencionadas anteriormente con diferencias altamente significativas fueron influenciadas por los efectos del ambiente. Las características del suelo en los dos ambientes de prueba son contrastantes, en el ambiente de la FESC-UNAM los suelos de las parcelas son arcillosos; retienen mejor la humedad y con mayor cantidad de nutrientes; en el caso de Santa Lucía (Texcoco), los suelos son arenosos, sobreexplotados por las actividades agropecuarias, retienen menos la humedad y son suelos pobres en nutrientes.

Para el factor de variación de bloques en cada uno de los ambientes BLO (Amb) no se presentaron diferencias significativas en las variables estudiadas, lo que nos indica que el diseño experimental fue el adecuado en este experimento (Cuadro 8).

En el factor de variación genotipo (Gen) se presentaron diferencias altamente significativas para las variables de rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, mazorcas buenas, y sanidad de mazorca, lo anterior indica que son genéticamente diferentes o contrastantes cada uno de los híbridos evaluados en este experimento (Cuadro 8).

En la interacción (Gen x Amb) se presentaron diferencias altamente significativas en el rendimiento (kg ha^{-1}) de cada material genético evaluado (Cuadro 8). Los resultados demuestran que los híbridos presentaron diferentes respuestas en los entornos evaluados (Canales *et al.*, 2016).

Los coeficientes de variación para las variables evaluadas estuvieron en el orden de 1.2 a 53%.

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco INIFAP Y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.

Variables	Fuentes de Variación					
	Ambientes (Amb)	Bloque A	Genotipo (G)	G x A	C.V.	Media
Grados de Libertad	1	4	12	12	%	Kg ha^{-1}
Rendimiento	518561104**	582671	5685055**	2825564**	11.1	6417
Floración masculina	32	4.4	14.4**	2.4	2.2	78
Floración femenina	120.6**	4.9	15.3**	3.4	2.2	79.1
Altura de planta	8938.1**	802	714.4**	95.1	5.4	217.8
Altura de mazorca	38237.5**	262.4	392**	67.8	7.7	116.8
Mazorcas buenas	1184.8**	6.4	77.7**	14.18	17	22
Mazorcas malas	0.12	13.8	6.5	5.5	52.8	3.8
Peso volumétrico	2.5	37.9	21.7	16.8	5	73.2
Sanidad de mazorca	4.15	1.1	1.2**	0.6	5.5	9
Sanidad de planta	2.8	0.7	0.4	0.3	6.3	9.5

Cobertura de mazorca	0.05	1	1	0.4	5.7	9.1
Peso de 200 granos	8599.5**	62.2	100.6	36.6	9.5	57.9
Longitud de mazorca	4.6	5.5	2.2	3.8	7.5	14.7
Hileras de mazorca	5.6	2.5	2.5	1	6.1	15.3
Grano de hilera	0.4	13.5	8.7	14.6	8	29.3
Diámetro de mazorca	7**	0.04	0.05	0.05	3.7	4.5
Diámetro de olote	0.1	0.08	0.02	0.009	5.1	2.5
Grano de mazorca	450224**	7870	2496.9	14947.8	13.8	533.8
% Materia seca	825.1**	0.3	3.3	0.8	1.2	84.1
% Grano	56.6	3.5	7.6	2.9	2.4	83.5

GxA: Genotipo por ambiente; C. V.: Coeficiente de variación; %: Porcentaje; Kg ha⁻¹;
kilogramos por hectárea; *: significancia estadística (≤ 0.05 de probabilidad); **: alta
significancia estadística (≤ 0.01 de probabilidad).

En la comparación de medias entre los ambientes de prueba, se diferencian dos grupos de significancia que definen la respuesta de los genotipos, el primero en la FESC-UNAM y el segundo en INIFAP CEVAMEX. El comportamiento medio entre los dos ambientes evaluados indica que el rendimiento más elevado (8995.4 kg ha⁻¹), se presentó en la localidad FESC (Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán), el cual fue estadísticamente diferente en comparación con el ambiente de INIFAP CEVAMEX, que tuvo un rendimiento de (3838.6 kg ha⁻¹), habiendo una diferencia de 5156.8 kg ha⁻¹ en relación con la FESC-UNAM (Cuadro 9). Resultados similares se han presentado en otras evaluaciones realizadas por López *et al.* (2017), y Canales *et al.* (2017), donde señalan que los mayores rendimientos de grano de

maíz fueron mayores en el ambiente de la FESC-UNAM, en comparación al ambiente de Santa Lucía (Texcoco) (Cuadro 9).

Durante la cosecha de los híbridos en ambos ambientes se identificó que en el ambiente de INIFAP CEVAMEX hubo una gran cantidad de plantas acamadas, dando lugar a la baja cosecha que se registró en contraste con los híbridos cosechados en el ambiente de la FESC-UNAM en el cual la incidencia de plantas acamadas no fue un problema, esto puede dar lugar al bajo rendimiento en INIFAP CEVAMEX.

En cuanto a la floración masculina, en ambos ambientes no hubo diferencias significativas ya que ambos se encuentran en el mismo grupo de significancia, se pudo identificar claramente a este grupo de híbridos de maíz por su floración que son de ciclo intermedio (Espinosa *et al.*, 2012; Tadeo *et al.*, 2016; Espinosa *et al.*, 2018). La floración masculina fue de los 77 a los 79 días, y la floración femenina fue de los 78 a los 80 días, en promedio respectivamente (Cuadro 9).

El comportamiento medio de las variables fue de la siguiente manera, la altura de planta tuvo una variación de los 207.1 a los 228.5 cm; la altura de mazorca fue de los 94.7 a los 139 cm; el peso de 200 granos osciló entre los 47.4 y 68.4 gramos; la longitud de mazorca fue de los 14.5 a los 15 cm; los granos por mazorca variaron de los 458 a 610; el porcentaje de materia seca tuvo una variación de 80.9 a 87.4 por ciento; el porcentaje de grano tuvo valores desde los 80.4 a los 82.7; y el peso volumétrico que fue desde los 73 a los 73.4 kg ha⁻¹ (Cuadro 9).

CUADRO 9. COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AMBIENTES PARA RENDIMIENTO Y OTRAS VARIABLES DE NUEVOS HÍBRIDOS DE MAÍZ DE GRANO BLANCO DE INIFAP Y UNAM PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO. FESC-UNAM. CICLO PRIMAVERA – VERANO 2017.

Variables	Ambientes		D.M.S (0.05)
	FESC-UNAM	Santa Lucia	
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	8995.4 a	3838.6 b	326.4
Floración masculina	77.4 b	78.7 a	0.8
Floración femenina	77.9 b	80.4 a	0.8
Altura de planta	228.5 a	207.1 b	5.4
Altura de mazorca	139 a	94.7 b	4.1
Mazorcas malas	3.7 a	3.8 a	0.9
Mazorcas buenas	25.8 a	18 b	1.7
Peso volumétrico	73.4 a	73 a	1.6
Sanidad de mazorca	9.2 a	8.8 b	0.2
Sanidad de Planta	9.3 b	9.71 a	0.3
Cobertura de mazorca	9.1 a	9.1 a	0.2
Peso de 200 granos	68.4 a	47.4 b	2.5
Longitud de mazorca	15 a	14.5 b	0.5
Hileras por mazorca	15.6 a	15.1 b	0.4
Granos por hilera	29.3 a	29.4 a	1
Diámetro de mazorca	4.8 a	4.2 b	0.07
Diámetro de olote	2.5 a	2.4 b	0.05
Granos por mazorca	457.9 b	609.8 a	33.6

% Materia Seca	80.9 b	87.4 a	0.5
% Grano	80.4 a	82.7 b	0.9

%; Porcentaje; Kg ha⁻¹: kilogramos por hectárea.

En la comparación de medias, la prueba de Tukey (0.05) definió varios grupos de significancia entre los genotipos, el híbrido con el mayor rendimiento fue el genotipo ATZIRI PUMA, recientemente liberado, con un promedio de 7488 kg ha⁻¹. En segundo lugar, se ubicó el híbrido experimental, MEPU 2017-1 con un rendimiento promedio de 7416 kg ha⁻¹, en tercer lugar, se ubica el híbrido TSIRI PUMA, liberado hace cinco años, con un rendimiento promedio de 7104 kg ha⁻¹, seguido del híbrido experimental, IXIM PUMA con un rendimiento de 7081 kg ha⁻¹; el híbrido experimental CUXI PUMA tuvo un rendimiento medio de 6995 kg ha⁻¹. Los híbridos mencionados anteriormente pertenecen a un mismo grupo de significancia, es decir, el grupo de híbridos que se mencionaron fueron los de mayor potencial productivo, y fueron estadísticamente similares en sus rendimientos. Los resultados obtenidos señalan que los materiales pueden ser buenos competidores en el mercado mexicano, al superar al híbrido testigo H-50 que obtuvo un rendimiento de 6438 kg ha⁻¹ (Cuadro 10). En otras palabras, entre los tres mejores lugares en rendimiento, el primer y tercer híbrido de mayor rendimiento son híbridos recientemente liberados, el segundo es un híbrido experimental.

En otro grupo de significancia se agrupan los híbridos H-49 AE con un rendimiento medio de 6680 kg ha⁻¹; seguido del H-50 con 6438 kg ha⁻¹, posteriormente, el TLAOLI PUMA, tuvo la productividad de 6364 kg ha⁻¹, el híbrido H-51 AE rindió 6237 kg ha⁻¹, con 6193 kg ha⁻¹ el híbrido H-61 experimental, y con 6116 kg ha⁻¹ el híbrido experimental MEPU 2017-2. Cabe mencionar que los híbridos de maíz TLAOLI PUMA y ATZIRI PUMA son híbridos de maíz generados por la UNAM, de reciente liberación comercial y registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2020).

Seguido del grupo de significancia anterior se encuentra el híbrido de maíz H-47 AE, con un rendimiento medio de 5525 kg ha⁻¹, y el híbrido que obtuvo el rendimiento más bajo fue el

H-53 AE del INIFAP con un rendimiento medio de 3783 kg ha⁻¹. Estos últimos dos híbridos de maíz fueron generados por el INIFAP, de reciente liberación comercial y registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2020) (Cuadro 10).

Estas diferencias estadísticas observadas en las características agronómicas se deben a que los híbridos mostraron expresión genética diferente (Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014b).

La altura de las plantas en los híbridos evaluados varió de 196 a 233 cm y la altura de las mazorcas varió de 100 a 131 cm respectivamente; estos valores se encuentran dentro de los reportados Tadeo-Robledo *et al.* (2014, 2015). En cuanto al número de mazorca buenas, que está relacionada con la variable sanidad de la mazorca fue de 14 a 26 mazorcas, y en el caso de las mazorcas malas, los valores variaron de 2 a 5 mazorcas, es decir, hubo baja incidencia de enfermedades en el experimento.

Para el peso volumétrico los valores en los genotipos evaluados fueron estadísticamente similares, y la variación fue de 70 a 77 kg hL⁻¹, la media fue de 73 kg hL⁻¹, el valor se considera adecuado de acuerdo con la norma NMX 034 (2002) para maíces destinados a la nixtamalización, dicha norma indica que el valor mínimo que de tener cada muestra de maíz es de 74 kg hL⁻¹.

Estos resultados superan a los datos reportados por Tadeo *et al.*, (2016) al evaluar el rendimiento de híbridos de maíz de grano blanco en cinco localidades de valles alto de México, observando que el híbrido Atziri Puma que mostro un rendimiento de 12 ton ha⁻¹. (Cuadro 1

Cuadro 10. Comparación de medias entre genotipos para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco de INIFAP Y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.

Genotipo	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Floración masculina (Días)	Floración femenina (Días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Mazorcas Buenas	Mazorcas Malas	Peso Volumétrico (kg he⁻¹)	Sanidad de Mazorca
ATZIRI PUMA	7488 a	77 ab	78 bc	221 ac	120 ac	26 a	3 a	72 a	3.8 a
MEPU 2017-1	7416 a	80 a	81 ab	217 ad	111 bd	25 ab	4 a	73 a	3.7 ab
TSIRI PUMA	7104 a	75 b	76 c	233 a	122 ac	23 ab	2 a	74 a	3.5 ac
IXIM PUMA	7081 a	79 a	80 ab	218 ad	115 ad	25 ab	4 a	77 a	3.5 ac
CUXI PUMA	6995 a	79 a	80 ab	227 ab	119 ac	25 ab	5 a	74 a	3.4 ac
H-49AE	6680 ab	77 ab	79 ac	227 ab	116 ad	21 ab	5 a	76 a	3.2 ad
H-50	6438 ab	77 ab	78 ac	220 ac	131 a	23 ab	3 a	71 a	3.1 ad
MEPU 2017 2017-3	6364 ab	78 ab	80 ab	227 ab	114 ad	22 ab	4 a	72 a	3.1 ad
H-51 AE	6237 ab	79 a	80 ab	224 ac	126 ab	19 ac	5 a	73 a	3 bd
H-61	6193 ab	78 ab	78 ac	205 bd	117 ad	22 ab	5 a	70 a	2.9 cd

MEPU 2017 2017-2	6116 ab	79 a	81 ab	203 cd	105 cd	18 bc	3 a	74 a	3.1 ad
H-47AE	5525 b	77 ab	78 ac	214 ad	121 ac	19 bc	3 a	72 a	2.6 d
H 53 AE	3783 c	80 a	81 a	196 d	100 d	14 c	4 a	74 a	1.8 e
D.M.S.H. (0.05)	1442	3.5	3.5	24	18	7.5	4	7.4	0.7

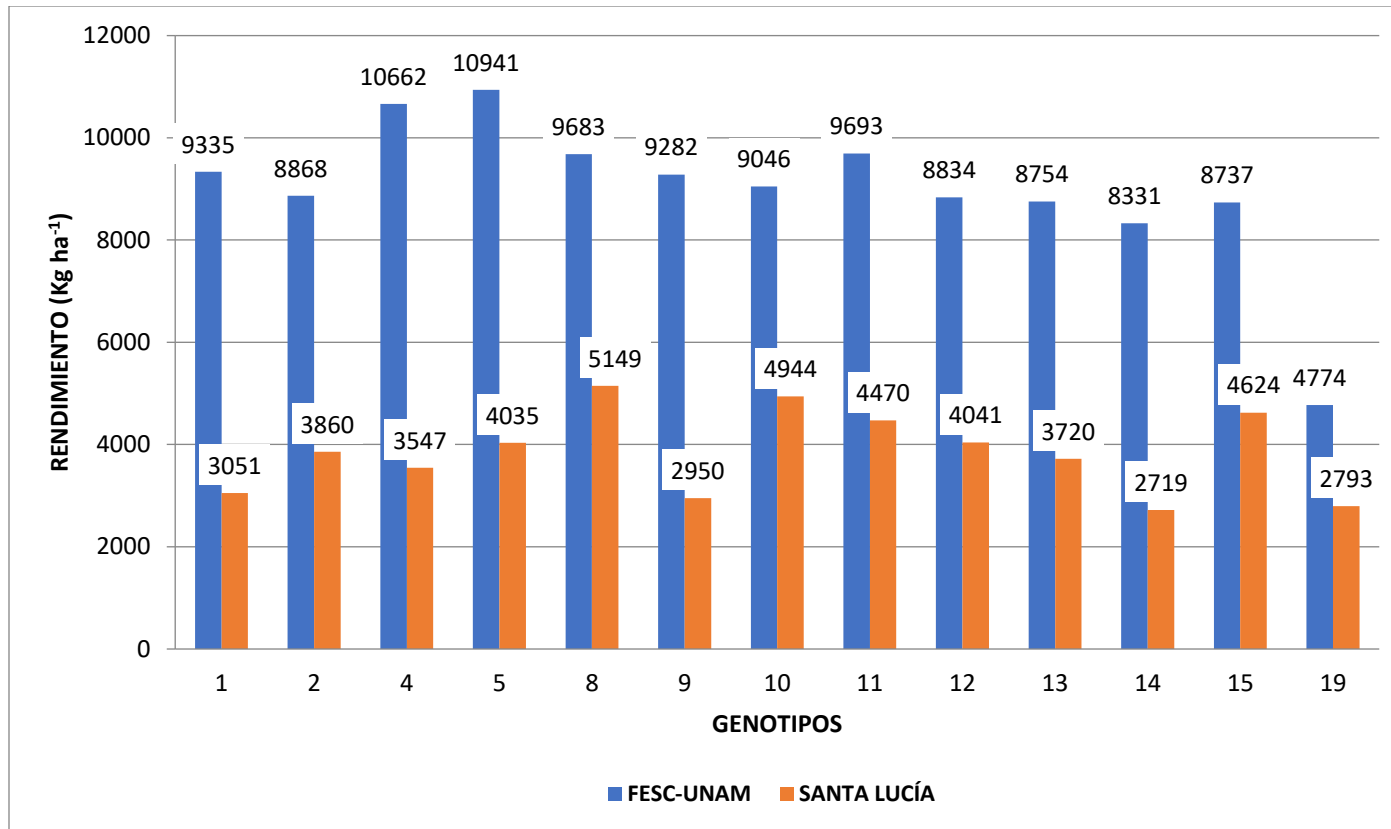
En cuanto a sanidad de la planta las calificaciones fueron de 8 a 10; la cobertura de mazorca tuvo valores de 8 a 10; los valores del peso de 200 granos fueron de 50 a 64 gramos; la longitud de la mazorca osciló de los 14 a los 15.9 cm.; los valores de las hileras por mazorca variaron de 14 a 16; el número granos por hilera fueron de los 26 a los 31; los diámetros de mazorca fueron de los 4.4 a los 4.8 cm; los diámetros de olote fueron de los 2.4 a los 2.7 cm. El valor obtenido del número de hileras por mazorca, y el dato obtenido del número de granos por hilera, multiplicados entre sí, dan como resultado el número de granos por mazorca, el cual, tuvo una variación en el experimento de los 492 a los 570 granos. Para el porcentaje materia seca, este valor osciló del 82.9 al 85.1 por ciento entre los genotipos evaluados; finalmente, los porcentajes de grano entre los genotipos evaluados fueron del 81 al 85.5 por ciento (Cuadro 10, continuación).

Cuadro 10. Continuación. Comparación de medias entre genotipos para rendimiento y otras variables de nuevos híbridos de maíz de grano blanco de INIFAP Y UNAM para valles altos de México. FESC-UNAM. Ciclo Primavera – Verano 2017.

Genotipo	Sanidad de Planta	Cobertura de mazorca	Peso de 200 granos	Longitud de mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Diámetro de Mazorca	Diámetro de olote	Granos por mazorca	Porcentaje de materia Seca	Porcentaje de grano
ATZIRI PUMA	9 ab	10 a	50 c	14.3 ab	14.9 ab	31 a	4.4 a	2.7 a	492 a	83.5 ab	81 b
MEPU 2017-1	10 a	9 ab	60 ac	15.9 a	15.3 ab	30 a	4.7 a	2.7 a	545 a	82.9 b	83.5 ab
TSIRI PUMA	9 bc	9 ab	61 abc	14.7 ab	14.5 b	29 a	4.4 a	2.4 a	515 a	83.8 ab	84 ab
IXIM PUMA	9 ab	10 a	58 ac	15 ab	15.5 ab	30 a	4.5 a	2.6 a	570 a	84.9 ab	82.8 ab
CUXI PUMA	9 ac	9 ab	55 ac	14.7 ab	15.3 ab	28 a	4.4 a	2.5 a	529 a	84.3 ab	83 ab
H-49AE	9 ab	10 a	59 ac	15 ab	15.7 ab	30 a	4.5 a	2.5 a	540 a	84.9 ab	83.1 ab
H-50	9 ab	9 ab	58 ac	13.5 b	16.7 a	27 a	4.8 a	2.5 a	535 a	84.1 ab	84 ab
MEPU 2017 2017-3	9 ab	9 a	62 ab	14.7 ab	14.5 b	30 a	4.7 a	2.5 a	545 a	84.4 ab	83.7 ab
H-51 AE	9 ac	9 ab	61 ac	15.5 ab	15.9 ab	28 a	4.7 a	2.4 a	536 a	84.5 ab	83.9 ab
H-61	8 bc	9 a	51 bc	14.5 ab	16.1 ab	30 a	4.7 a	2.5 a	504 a	85.1 a	84.5 ab
MEPU 2017 2017-2	9 ac	9 ab	56 ac	15.3 ab	15.3 ab	31 a	4.5 a	2.7 a	536 a	82.8 b	82.4 ab

H-47AE	9 ac	9 ab	59 ac	14.9 ab	15.9 ab	30 a	4.5 a	2.5 a	550 a	84.7 ab	84.9 ab
H 53 AE	8 c	8 b	64 a	14 ab	14.7 b	29 a	4.4 a	2.7 a	543 a	84.3 ab	85.5 a
D.M.S.H. (0.05)	1	1	11	2.2	1.9	4.7	0.3	0.2	149	2.1	4.1

Otros resultados importantes en el análisis estadístico fueron la comparación de medias del rendimiento de grano de maíz (kg ha^{-1}), de cada uno de los híbridos evaluados en los dos ambientes de prueba. En el caso del ambiente de la FESC-UNAM, el híbrido que tuvo mayor rendimiento fue el ATZIRI PUMA con $10,941 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido del TSÍRI PUMA con $10,662 \text{ kg ha}^{-1}$, en tercer lugar, por su potencial productivo se ubicó el IXIM PUMA con 9693 kg ha^{-1} . Los rendimientos en este ambiente de prueba de todos los híbridos fueron superiores a la media nacional que es de 3.83 ton/ha (Siap 2020). En el ambiente de INIFAP CEVAMEX los híbridos con los mejores rendimientos de grano de maíz fueron el híbrido experimental MEPU 2017-1 con 5149 kg ha^{-1} , posteriormente el también híbrido experimental CUXI PUMA con 4944 kg ha^{-1} , y el H-49 AE con 4624 kg ha^{-1} . En este mismo ambiente se tuvieron los rendimientos más bajos de todo el experimento, y los híbridos de maíz que tuvieron los rendimientos más bajos fueron el H-47 AE con 2719 kg ha^{-1} , el H-53 AE con 2793 kg ha^{-1} , y el híbrido experimental MEPU 2017-2, con 2950 kg ha^{-1} (Figura 6).



GENOTIPOS: 1. H-61. 2. TLAOLI PUMA 1. 4. TSIRI PUMA. 5. ATZIRI PUMA. 8. MEPU 2017-1. 9. MEPU 2017-2. 10. CUXI PUMA. 11. IXIM PUMA. 12. H-50. 13. H-51 AE. 14. H-47 AE. 15. H-49 AE. 19. H-53 AE.

Figura 6. Rendimiento medio de grano de maíz en kg ha⁻¹ de cada uno de los híbridos evaluados en los ambientes de prueba (FESC-UNAM, y Santa Lucía, Texcoco), en el ciclo Primavera – Verano 2017.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos establecidos y con los resultados obtenidos en el presente trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los híbridos de mayor rendimiento fueron ATZIRI PUMA, recientemente liberado, con 7488 Kg ha⁻¹ y el híbrido experimental, MEPU 2017-1, con 7416 a kg ha⁻¹ seguidos por los híbridos TSIRI PUMA, liberado hace cinco años, IXIM PUMA, y CUXI PUMA, ambos híbridos experimentales, cuyos rendimientos fueron de 7 ha⁻¹. Considerando que el híbrido H-50 es uno de los híbridos de mayor uso comercial en los valles altos, estos cinco híbridos referidos podrían tener perspectivas de uso comercial en los Valles Altos de México.
2. Los híbridos evaluados presentaron rendimientos superiores al testigo comercial H-50 y al promedio de la región, lo cual representan una buena alternativa para las empresas semilleras y también es benéfico para que los agricultores tengan acceso a la semilla mejorada con ventajas agronómicas y económicas en los Valles Altos de México.
3. Los híbridos de maíz ATZIRI PUMA, TSIRI PUMA Y TLAOLI PUMA, son variedades de maíz generados con androesterilidad de reciente registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS, la cual es una tecnología de producción de semillas que solo utiliza la UNAM y el INIFAP entre las instituciones de investigación pública para la generación de variedades de maíz.

6. LITERATURA CITADA

1. Avendaño A. C. H.; Molina G. J. D.; Moreno P. E. C.; Cadena I. J.; Aguirre M. J. F.; Rincón E. G. (2009). Respuestas a la selección para resistencia a sequía en maíz (*Zea mays* L.). *Interciencia*. 34(11): 801-807.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001100010
2. Ávila P. M.; Rodríguez H. S. A.; Vázquez B. M. E.; Borrego E. F.; Lozano Del R. A, J.; López B. A. (2009). Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agricultura Técnica en México*. 35(3): 285-293.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300005
3. Canales I. E. I.; Tadeo R. M.; Mejía C. J. A.; García Z. J. J.; Espinosa C.A.; Castillo G. F.; Sierra M. M.; Gómez M. N. O. (2016). Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales androesteriles de maíz para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 17(8): 1815-1872.
<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/94>
4. Canales, I. E. I.; Tadeo, R. M.; Mejía, C. J. A.; García, Z. J. J. y Espinosa, C. A. (2017). Semilla fértil y androestéril de maíz bajo diferentes densidades de población. *Ecosist. Recur. Agropec.* 12(4):465-473.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282017000300465

5. Del Rosario S. M.; Venegas G. (2016). Producción y comercialización del Maíz en México, Cobertura con riesgos y derivados. 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán. AMECIDER – ITM.
<http://ru.iiec.unam.mx/3444/>
6. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2016). Panorama Agroalimentario. (2019), de FIRA Sitio web:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf.
7. Espinosa Calderón, A; Tadeo Robledo, M; Lothrop, James; Azpíroz Rivero, S.; Tut y Couoh, Casiano; Salinas Moreno, Y. H-50, híbrido de maíz de temporal para los valles altos de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México INIFAP* (29)1 89-92.
<https://www.redalyc.org/pdf/608/60829110.pdf>
8. Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I.; Gómez, M. N. O.; Sierra M. M.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F. A.; Zamudio, G. B.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E.; Martínez, Y. B. y Valdivia, B. R. 2012. H-51 AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos del Centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(4):347-349.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n4/v35n4a11.pdf>
9. Espinosa-Calderón A.; Tadeo-Robledo M.; Zamudio-González B.; Virgen-Vargas J.; Turrent-Fernández A.; Rojas-Martínez I.; Gómez-Montiel N.; Sierra-Macías M., López-López C.; Palafox-Caballero A.; Vázquez-Carrillo G.; Rodríguez-Montalvo F.; Canales-Islas E. I.; Zaragoza-Esparza J. A.; Martínez-Yañez B.; Valdivia-Bernal R.; Cárdenas-Marcelo A. L.; Mora-García K. Y.; Martínez-Nuñez B. (2018). H-47 AE, híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 41 (1): 87-89.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802018000100087#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20H%2D47%20AE,de%20riego%20y%20humedad%20residual.

10. Esquivel Esquivel, G.; Castillo González, F.; Hernández Casillas, J.M.; Santacruz Varela, A.; García de los Santos, G.; Acosta Gallegos, J.A.; Ramírez Hernández, A. (2011). Heterosis en maíz del Altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 331-344. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300003&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300003&lng=es&tlng=es)
11. Expectativas agroalimentarias 2019. 2019, de SADER; SIAP Sitio web: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>.
12. Ernesto Perea. 2021. Importaciones de maíz blanco en México aumentarán 36% Imagen Agropecuaria. <https://imagenagropecuaria.com/2021/importaciones-de-maiz-blanco-de-mexico-aumentaran-36/>
13. Gámez Vázquez, A.J.; Arellano Vázquez, J.L.; Avila Perches, M.A; Virgen Vargas, J. (2009). H-52 Híbrido de maíz para Valles Altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 35(2),237-240 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812688012>
14. Gobierno del Estado de México. (2020). Servicio de información alimentaria y pesquera. 2020, de SIAP Sitio web: <https://www.gob.mx/siap>

15. González-Estrada, A.; Islas-Gutiérrez, J.; Espinosa-Calderón, A.; Vázquez-Carrillo, A.; Wood, S. (2007). Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México. Híbrido H-50. *INIFAP*, No. 24. México. 83 p.
16. John F.; Peter Setimela, G.M.; Mosisa Worku R. (2015). Manual de producción de semilla de maíz híbrido. 2021, de CIMMYT. Sitio web: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/16849/57179.pdf>
17. López, L. C.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J.; Benítez, R. I.; Vázquez, C. M.; Carrillo, S. J. (2017). Productividad de cruza simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(3):559-570.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000300559#:~:text=Las%20cruzas%20simples%20de%20ma%C3%ADz,comerciales%20en%2043%20a%2057%25.
18. Márquez L. R. (2019). Comparación de rendimiento de Híbridos Comerciales y Experimentales de Maíz en la Fes Cuautitlán, UNAM. Tesis para obtener título de Ingeniero Agrícola.
<http://132.248.9.195/ptd2019/enero/0784313/Index.html>
19. Martínez Yáñez B. (2012). Rendimiento de híbridos de maíz; fértiles y androesteriles en temporal retrasado. 2021, de UNAM
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000697417
20. Martínez-Gutiérrez, A.; Zamudio-González, B.; Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Cardoso-Galvão, J.C.; Vázquez-Carrillo, G.; Turrent-Fernández, A.; (2018). Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (9), 7: 1447-1458.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1357>

21. NMX-FF-034/1-SCFI-2002. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano –cereales – Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – Especificaciones y métodos de prueba. Secretaria de Economía. Páginas 22.
http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-034-1-SCFI-2002_MAIZ_blanco.pdf
22. Orlando Ramírez Acuña. (2020). Madurez fisiológica de los híbridos de maíz Tsíri Puma, Atziri Puma y Tlaoli Puma. UNAM. 2021.
<http://132.248.9.195/ptd2020/febrero/0800777/Index.html>
23. Ramírez Jaspeado, R.; García Salazar, J.A.; García Mata, R.; Garza Bueno, L.E.; Escalona-Maurice, M.J.; Portillo Vásquez M. (2020). DETERMINACIÓN DE LAS REGIONES MÁS COMPETITIVAS DE MAÍZ EN EL ESTADO DE MÉXICO EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN POTENCIAL. *Asociación Interciencia*. (45)3.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/339/33962773005/html/index.html>.
24. Rocandio-Rodríguez, M.; Santacruz-Varela, A.; Córdova-Téllez, L.; López-Sánchez, H.; Castillo-González, F.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J.J.; Ortega-Paczka, R.; (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(4), 351-361.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000400008&lng=es&tlng=es.
25. Sangermán-Jarquín, D.M.; De la Gámez-Vázquez, O.M.; Navarro-Bravo A.J.; Ávila-Perches, A.; Schwentesius-Rindermann, R.. (2018). Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays* var. *tunicata* A. St. Hil.). *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4), 451-459
<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.451-459>.

26. SNICS – AGRICULTURA. 2020. <https://www.gob.mx/snics/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea?idiom=es>
27. Tadeo-Robledo M., Espinosa-Calderón A., Canales-Islas E., López-López C., Zamudio-González B., Turrent-Fernández A., Gómez-Montiel N., Sierra-Macías M., Martínez-Gutiérrez A., Valdivia-Bernal R., Andrés-Meza P. 2020. Grain yield and population densities of new corn hybrids released by the INIFAP and UNAM for the High Valleys of Mexico. *TERRA LATINOAMERICANA*, 38, 507-515.
28. Tadeo-Robledo M., Espinosa-Calderón A., García-Zavala J. J., Lobato-Ortiz R., Gómez-Montiel N. O., Sierra-Macías M., Valdivia-Bernal R., Zamudio-González B., Martínez-Yañez B., López-López C., Mora-García K. Y., Canales-Islas E. I., Cárdenas-Marcelo A. L., Zaragoza-Esparza J. y Alcántar- Lugo H. J. (2016). TSIRI PUMA, híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 39 (3): 331-333. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=61046936019>
29. Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Valdivia, B. R. y Virgen, V. J. (2014). Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades de Valles Altos de México. *Revi. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5):883-891. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500013#:~:text=La%20versi%C3%B3n%20androest%C3%A9ril%20C%20considerando%20la,983%20kg%20ha%2D1\).](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500013#:~:text=La%20versi%C3%B3n%20androest%C3%A9ril%20C%20considerando%20la,983%20kg%20ha%2D1).)
30. Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Valdivia, B. R. y Andrés, M. P. (2014). Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androesteril y fértil. *Agron. Mesoam.* 25(1):45-52. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000100005#:~:text=El%20rendimiento%20de%20los%20cuatro,de%20este%20estudio%20son%20isog%C3%A9nicas

31. Tadeo RobledM, Espinosa CA, Serrano RJ, Sierra MM, Caballero HF, Valdivia BR, Gómez MNO, Palafox CA, Rodríguez MFA, Zamudio GB. (2010). Productividad de diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil de híbridos de maíz. *Rev. Mex. Cs. Agríc. 1*: 273-287.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300001
32. Turrent-Fernández, A.; Serratos-Hernández, A.; Mejía-Andrade, A.; Espinosa-Calderón, A. (2009). Propuesta de cotejo de impacto de la acumulación de transgenes en el maíz (*Zea mays* L.) Nativo mexicano. *Agrociencia*. 43 (3): 257-265.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000300005
33. Vázquez Carrillo M. G.; Pérez Camarillp J. P.; Hernández Casillas J. M.; Marrufo Diaz M. D. L. L.; Martínez Ruiz E. 2010. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33 (4): 49-56.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000500011
34. Vázquez-Carrillo M. G., I. Rojas-Martinez, D. Santiago-Ramos, J. L. Arellano-Vázquez, A. Espinosa-Calderón, M. García-Pérez and J. Crossa (2016) Stability analysis of yield and grain quality traits for the nixtamalization process of maize genotypes cultivated in the central high valleys of Mexico. *Crop Science* 56:3090-3099.
<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2015.09.0558>
35. Virgen-Vargas, J., & Zepeda-Bautista, R., & Avila-Perches, M., & Espinosa-Calderón, A., & Arellano-Vázquez, J., & Gámez-Vázquez, A. (2016). Producción y

calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*,
27 (1), 191-206.

<https://www.redalyc.org/journal/437/43743010019/html/>