



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Productividad de grano, rastrojo y forraje de híbridos de maíz, de la UNAM e INIFAP, en dos densidades de población.

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:
LUIS FERNANDO CARBAJAL SANTOS

ASESOR. DR. JOOB A. ZARAGOZA ESPARZA
CO ASESORA. DRA. MARGARITA TADEO ROBLEDO

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR ECHEVERRÍA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**



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

Productividad de grano, rastrojo y forraje de híbridos de maíz, de la UNAM e INIFAP, en dos densidades de población

Que presenta el pasante: LUIS FERNANDO CARBAJAL SANTOS

Con número de cuenta: 41206374-3 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de febrero de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Dr. Jobb Anastacio Zaragoza Esperza	
1er. SUPLENTE	Ing. Juan Carlos Colorado Yañez	
2do. SUPLENTE	M.C. Oscar Arellano Díaz	

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

LMCF/ntm*

DEDICATORIAS

A mi familia:

Dedico este esfuerzo y la culminación de este trabajo a mi familia porque en las buenas y en las malas, siempre han estado conmigo apoyándome, motivándome y alentándome a realizar el mejor esfuerzo a mis estudios y han sido clave importante en la toma de mis decisiones personales, y porque siempre, no importando las circunstancias ni la distancia me han proporcionado su apoyo incondicional forjando mi carácter y tratando de formar una mejor persona día a día teniendo en claro mis metas y objetivos. A pesar de nuestras diferencias, lo único que prevalece es la familia y ese núcleo fue y sigue siendo parte importante para mi formación personal.

A mi familia de granos y semillas:

Quiero agradecer a todos los integrantes del equipo, por haberme adoptado y compartir todas esas experiencias, así como trabajar juntos a lo largo de estos años, y a pesar de todo siempre recibirme con los brazos abiertos en esta gran familia.

Pero en especial quiero agradecer, a la Dra. Tadeo, al Dr. Alejandro y al Dr. Joob por exponer su amor, dedicación y pasión que tienen día a día a la investigación, teniendo siempre en mente aportar su conocimiento a la sociedad, y lograr un cambio que se ve reflejado en los estudiantes y a las personas presentes en el equipo de trabajo. Pero sobre todo por apoyarme con mi tesis, por su ayuda incondicional a lo largo de este tiempo; de igual manera por orientarme y reubicarme tanto personalmente como institucionalmente.

A mis amigos:

Creo que no hay palabras para describir lo que cada uno de ustedes aportó en mi persona, pero obviamente mi estancia en la carrera fue muy amena y las experiencias y vivencias dejadas en los viajes de práctica marcaron una pauta importante en mi vida. Agradezco de corazón haberlos conocido y tomarse unos minutos para convivir tanto en la escuela, como afuera de ella, y reforzar ese lazo de amistad que comenzamos cuando empezamos la carrera, y no es necesario mencionar a esas personas que estuvieron en las buenas y en las malas conmigo, porque ya saben a quién me refiero.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de la máxima casa de estudios en nuestro país, y portar con orgullo los colores de esta institución y ser parte de la comunidad PUMA.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por darme la oportunidad de pertenecer a la carrera de Ingeniería Agrícola. Sin duda, ha marcado mi etapa universitaria, ya que gracias a ello, he podido conocer a personas increíbles que han trazado mi camino como profesional de una manera sin igual.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico durante los últimos años de la licenciatura como ayudante del Dr. Alejandro Espinosa Calderón Investigador Nacional Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IT:201215 por el apoyo financiero para la realización del presente trabajo de investigación.

A mi jurado de tesis: Ing. Edgar Ornelas Díaz, Dr. Alejandro Espinosa Calderón, Dr. Joob Zaragoza Esparza, Ing. Juan Carlos Colorado Yañez y M. C. Oscar Arellano Díaz, por su dedicación aportaciones y observaciones en este trabajo y sin su apoyo, esto no pudiera concluir de una manera satisfactoria.

A los miembros del programa de Mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas: Dra. Margarita Tadeo Robledo, M. C. Enrique Canales Islas, M. C. Beatriz Martínez Yañez, M. C. Consuelo López López, I. A. Karina Mora García, I. A. Julio Espinosa García, I. A. Francisco Martínez I. A. Monserrat Sánchez Rodríguez.

CONTENIDO GENERAL

	Página
Índice de cuadros	i
Resumen	v
I. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
II. Revisión de literatura	4
2.1. Requerimientos agroecológicos del maíz	4
2.1.1. Temperatura	4
2.1.2. Precipitación	4
2.1.3. Radiación solar	5
2.1.4. Requerimientos edáficos	5
2.2. Importancia del maíz en México	5
2.3. Condiciones para el cultivo de maíz	6
2.3.1. Condiciones para el cultivo de maíz en los Valles Altos	6
2.4. Fisiología en la formación de grano	7
2.5. Características del maíz para la producción de forraje	9
2.6. Conservación de forraje	10
2.6.1. Importancia del ensilado	11
2.6.2. Características para la cosecha	12
2.7. Importancia del rastrojo	14
2.7.1. Características para la cosecha	15
2.8. Densidad de población de plantas y rendimiento	15
2.8.1. Densidad de población y rendimiento para los Valles Altos	16
2.9. Rendimiento	17

2.9.1.	Componentes de rendimiento para grano de maíz	18
2.10.	Producción de maíz en grano	19
2.11.	Producción de maíz forrajero	19
2.12	Híbrido H 47 AE	20
2.13	Híbrido H 53 AE	20
2.14	Híbrido Tsiri Puma	20
III.	Materiales y métodos	22
3.1.	Descripción de la zona de estudio	22
3.2.	Condiciones climáticas	22
3.2.1.	Clima de la FESC	22
3.2.2.	Clima de CEVAMEX- INIFAP	23
3.3	Condiciones Edáficas	23
3.3.1	Suelo FES Cuautitlán	23
3.3.2.	Suelo CEVAMEX- INIFAP	23
3.4.	Material Genético	24
3.5.	Diseño Experimental	24
3.6.	Manejo agronómico	25
3.7.	Variables evaluadas	26
3.7.1.	Floración masculina	26
3.7.2.	Floración femenina	26
3.7.3.	Altura de la planta	26
3.7.4.	Altura de la mazorca	26
3.7.5.	Metodología para evaluación de maíz forrajero	26
3.7.6.	Rendimiento de rastrojo húmedo	28
3.7.7.	Rendimiento de rastrojo seco	29
3.7.8.	Metodología para la evaluación del grano de maíz	29
IV.	Resultados y discusión	33

V.	Conclusiones	46
VI.	Literatura consultada	47

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Temperatura mínima, máxima y óptima requerida por el maíz para una adecuada producción.	4
Cuadro 2	Fases que se presentan durante la fermentación del ensilado y su almacenamiento.	13
Cuadro 3	Comparativo en la producción de maíz con diferente finalidad agronómica en la República Mexicana.	18
Cuadro 4	Comparativo de la producción y rendimiento de maíz en grano, de los diferentes estados que comprenden los Valles Altos en México.	19
Cuadro 5	Comparativo de la producción y rendimiento de maíz en forma de forraje, de los diferentes estados que comprenden los Valles Altos en México.	20
Cuadro 6	Distribución de los tratamientos de híbridos, destino de cosecha, densidad de población utilizada para evaluar la productividad de grano, forraje y rastrojo de híbridos de maíz en cada localidad. Ciclo primavera verano. 2014.	24
Cuadro 7	Cuadrados medios y significancia estadística en las diferentes variables evaluadas para producción de grano en híbridos de maíz blanco, en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	34
Cuadro 8	Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de grano en híbridos de maíz blanco, en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	35

Cuadro 9	Comparación de medias para determinar la productividad de grano de híbridos de maíz blanco, en dos ambientes (FESC y CEVAMEX) bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	36
Cuadro 10	Comparación de medias para determinar la productividad de grano, de híbridos de maíz blanco, en dos ambientes (FESC y CEVAMEX) bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	36
Cuadro 11	Comparación de medias entre híbridos (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	37
Cuadro 12	Comparación de medias entre híbridos (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	38
Cuadro 13	Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha ⁻¹), para las variables evaluadas para determinar la productividad de grano, considerando la media de dos localidades y la media de tres híbridos. Ciclo primavera –verano 2014.	38
Cuadro 14	Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha ⁻¹), para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, considerando la media de dos localidades y la media de tres híbridos. Ciclo primavera –verano 2014.	39
Cuadro 15	Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de forraje, y factores de variación de los híbridos	40

de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera –verano 2014.

Cuadro 16	Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de forraje, y factores de variación de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera –verano 2014.	40
Cuadro 17	Comparación de medias entre ambientes (FESC y CEVAMEX), para variables evaluadas para determinar la productividad de forraje considerando la media de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.	41
Cuadro 18	Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha ⁻¹), para productividad de forraje considerando la media de los híbridos de maíz blanco, en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera –verano 2014.	42
Cuadro 19	Comparación de medias entre híbridos de maíz (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de forraje fresco y seco considerando la media de dos densidades de población, y dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera –verano 2014.	42
Cuadro 20	Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de rastrojo y factores de variación de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera-verano 2014.	43

Cuadro 21	Cuadrados medios y significancia estadística para producción de rastrojo de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.	43
Cuadro 22	Comparación de medias para determinar rendimiento de rastrojo en dos ambientes y dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.	44
Cuadro 23	Comparación de medias para determinar rendimiento de rastrojo bajo dos densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha ⁻¹), en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.	44
Cuadro 24	Comparación de medias entre híbridos de maíz blanco, Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE, para variables evaluadas para determinar la productividad de rastrojo considerando la media de densidades de población, así como dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.	45

RESUMEN

En diversas regiones de México el cultivo de maíz se utiliza de manera integral, ya que además de constituir una fuente de alimentación para el hombre, se utiliza también para alimento de animales en forma de grano, forraje y rastrojo. En los Valles Altos del centro del país, se utilizan diversos genotipos de maíz para ensilar, sin embargo, fueron generadas para producir grano. Se reconoce que la elección de variedades para la producción de forraje se basa en el porte alto de planta y gran capacidad para producir follaje para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea, por lo que es de suma importancia realizar investigaciones con el fin de obtener características óptimas para la producción de grano con la alternativa para producir forraje y rastrojo, para así satisfacer la demanda de la población.

Esta investigación se llevó a cabo durante el ciclo primavera - verano del año 2014, en los municipios de Cuautitlán Izcalli, ubicado a 2274 msnm y Texcoco, ubicado a una altitud de 2240msnm. Donde se evaluaron tres híbridos recientemente liberados (TSIRI Puma, H 53 AE y H 47 AE). Los cuales se establecieron en dos densidades de población (70,000 y 95,000 Plantas ha⁻¹), en las dos localidades señaladas. El diseño experimental que se utilizó, fue de bloques completos al azar y se analizó de manera factorial, siendo los factores de variación ambientes, bloques, genotipos, densidades y sus diferentes interacciones. Se realizó la prueba de comparación de medias por el método de Tukey, al 0.05 de probabilidad.

En las conclusiones se definió que para la variable rendimiento de grano, el híbrido H 53 AE fue superior con 7.880 ton ha⁻¹, superando a los híbridos Tsiri Puma (6.782 ton ha⁻¹) y H 47 AE (6.497 ton ha⁻¹), estos dos híbridos, el primero de la FESC y segundo del CEVAMEX INIFAP se ubicaron en el mismo grupo de significancia.

En cuestión de forraje con base húmeda el mejor tratamiento fue con la densidad de 95,000 plantas por ha⁻¹ con un rendimiento de 58.814 ton ha⁻¹ superando a la densidad de 70,000 plantas con 7 toneladas, este incremento en la densidad de población permitió obtener mayor cobertura dentro del ciclo del cultivo, lo que favorece a una mayor

producción de biomasa. Por otro lado el rastrojo no arrojo diferencia significativa entre las densidades de población.

En el ambiente del INIFAP se obtuvo un rendimiento superior en la variable de forraje en base húmeda con 60.980 ton ha⁻¹, superior estadísticamente con el rendimiento obtenido en la FESC. En contraste, en la comparación de medias para la variable forraje seco, el rendimiento de la FESC (17.820 ton ha⁻¹) fue superior al de CEVAMEX INIFAP (14.450 ton ha⁻¹).

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tres genotipos evaluados para las diferentes variables, en la producción de forraje y rastrojo.

La mejor densidad de población utilizada para las 3 variables fue 70,000 plantas por ha⁻¹ ya que así se evitaría hacer una mayor inversión en insumos estableciendo densidades altas y obteniendo rendimientos similares en cuestión de grano y rastrojo, también se debe evaluar si es rentable para el productor obtener 8 toneladas de forraje en base húmeda.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es la gramínea más importante por su producción a nivel mundial, cuya adaptabilidad permite su cultivo en más de 113 países (Núñez, 2013). Este cereal es el de mayor volumen de producción, cada año se producen más de 1008 millones de toneladas en el año 2013 (Mezzadra, 2014).

En México, como en muchos otros países, es el cultivo más importante desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social; de igual manera, es el más significativo por la superficie sembrada y el volumen de producción, concentra 7.5 millones de hectáreas, que representan cerca del 50% de la superficie nacional cultivable (Cruz y Gómez, 2014).

A pesar de la importancia de este cultivo; actualmente no se logra satisfacer la demanda de la población, según datos del Departamento de Comercio de Estados Unidos en el año 2015, México importó 11.9 millones de toneladas de maíz originario de EU. La economía mexicana tiende a ser autosuficiente en maíz blanco (harinero), pero registra un déficit de maíz amarillo, usado en los sectores pecuario e industrial. En el país se cosecharon 24.7 millones de toneladas de maíz en el año 2015. Dos terceras parte del consumo total aparente, ya que la población Mexicana en ese mismo año requirió de 36.6 millones de toneladas de este grano, para cubrir su demanda (Morales, 2016).

En diversas regiones de México el cultivo de maíz se utiliza de manera integral, ya que además de constituir una fuente de alimentación para el hombre, se utiliza también para alimento de animales en forma de grano, forraje y rastrojo; estos últimos se utilizan para asegurar la alimentación de los animales en época de estiaje (Manera, 1998). Los residuos conocidos como rastrojo se emplean de manera tradicional para complemento alimenticio, como fibra de animales de traspatio o bien en prácticas agroecológicas al incorporarse al suelo para su conversión en materia orgánica (Damián-Huato *et al.*, 2010). Los rastrojos son subproductos derivados de las actividades agrícolas y son importantes por su uso como fuente de alimentación en la ganadería; en México representan 24% de la materia seca (MS) disponible para el consumo animal. La

amonificación del residuo de cosecha del cultivo de *Zea mays* es una alternativa de alimentación de rumiantes que puede ser considerada por los productores especialmente en épocas críticas. En las cuencas lecheras de México el ensilado de maíz es comúnmente utilizado en la alimentación del ganado lechero y puede constituir del 30 al 40% de la dieta de vacas en producción (González *et al.*, 2005). En el país, el maíz para forraje se siembra alrededor de 109 000 hectáreas con riego y 272 000 de temporal, los rendimientos promedio con riego fluctúan entre 40 y 55 ton ha⁻¹ de forraje verde y en temporal se obtiene entre 15 y 25 ton ha⁻¹. Estos rendimientos son bajos, pues el potencial de producción de forraje en las áreas de riego es superior a las 70 ton ha⁻¹ de forraje verde y 20 ton ha⁻¹ de materia seca (Peña *et al.*, 2010).

La importancia de destinar el cultivo de maíz para forraje se debe a su adaptación a regiones diversas del país y por su rápido crecimiento. Además, presenta altos rendimientos de biomasa y alto valor nutritivo, se puede conservar para ser utilizado en las épocas críticas, que se presentan durante los meses octubre a marzo, en la región de Valles Altos, cuando la mayoría de las plantas forrajeras tienden a escasear (González *et al.*, 2005).

En los Valles Altos del centro del país, se utilizan diversas variedades e híbridos de maíz para ensilar, sin embargo, en la mayoría de los casos fueron generadas para producir grano, debido a lo cual es necesario evaluarlas para establecer si pueden adecuarse y es conveniente utilizarlas como forrajeras. Generalmente la elección de variedades para la producción de forraje se basa en el porte alto de planta y acumulación de materia seca, así como el manejo para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea (López, 2014). Sin embargo, en los últimos años se ha definido que la altura de planta, podría compensarse con densidades de población elevadas, a niveles que permitan obtener forraje de mayor calidad.

Con respecto a la producción del rastrojo, es de gran importancia conocer la capacidad productiva y la calidad que presentan los diferentes híbridos para la producción de grano,

ya que una vez cosechado el grano constituye un ingrediente básico en las raciones diarias para el ganado.

Por lo anterior, desde el 2008, en la FES – Cuautitlán se han evaluado híbridos blancos con características óptimas para producción de grano como una alternativa para forraje y rastrojo.

1.1 Objetivos:

1. Determinar el rendimiento de grano, forraje y rastrojo, de los híbridos trilineales de maíz Tsíri Puma, H 53 AE y H 47 AE, bajo dos densidades de población, en dos localidades.
2. Establecer cuál es el mejor híbrido, la mejor localidad y la densidad de población bajo la cual se obtienen los rendimientos óptimos de grano, forraje y rastrojo.

1.2 Hipótesis:

1. Existen diferencias entre el rendimiento de grano, forraje y rastrojo entre los genotipos, localidades y la densidad de población que se maneja.
2. Si aumenta la densidad de población se obtendrán mayores rendimientos de forraje, rastrojo y grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Requerimientos agroecológicos del maíz

Los requerimientos agroecológicos del maíz son los siguientes:

2.1.1. Temperatura

La temperatura óptima para el desarrollo del maíz está en función de su etapa de crecimiento (Cuadro 1), no obstante la temperatura media diurna mínima no debe ser menor de los 10°C y en la noche pueden producirse daños por heladas. La optima se encuentra entre los 18 y 20 °C (Bonilla, 2009).

Cuadro 1. Temperatura mínima, máxima y óptima requerida por el maíz para una adecuada producción.

Etapa/ Temperatura	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Optima (°C)
Germinación	10	40	20-25
Crecimiento	15	40	25-30
Floración	20	30	21-20

Fuente: Bonilla, 2009.

2.1.2. Precipitación

La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz, cuando hay estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido el cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. Sin embargo, el cultivo puede recuperarse sin afectar el rendimiento. Cerca de la floración (desde unas dos semanas antes de la emisión de estigmas, hasta dos semanas después de ésta) el maíz es muy sensible al estrés hídrico y el rendimiento del grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante este período (Bolaños 1990). En general el maíz necesita por lo menos de 500 a 700mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo. El maíz es muy sensible al encharcamiento; es decir a los suelos saturados y sobresaturados. Desde la siembra hasta aproximadamente los 15- 20 días, el encharcamiento por más de 24 horas puede dañar el cultivo (especialmente si las temperaturas son altas) porque el meristemo está debajo de la superficie del suelo en esos momentos. Más tarde, en el ciclo de cultivo, el

aniego puede ser tolerado durante períodos de hasta una semana, pero se reduce considerablemente el rendimiento (Deras, 2011).

2.1.3. Radiación solar

Las intensidades óptimas de luz varían entre 32.3 y 86.1 lux y la máxima eficiencia del maíz en el uso de la radiación solar puede asumirse en 1.6g Mj^{-1}

2.1.4. Requerimientos edáficos

Los requerimientos edáficos que determinan el crecimiento del maíz son los siguientes:

2.1.4.1. Profundidad de suelo

Aunque en suelos profundos las raíces pueden llegar a una profundidad de 2m, el sistema, muy ramificado, se sitúa en una capa superior de 0.8 a 1 m, produciéndose cerca de 80% de absorción de agua del suelo dentro de esta capa. Normalmente el 100% del agua se absorbe de la primera capa del suelo, de una profundidad de 1 a 1.7m (INIFAP, 2013).

2.1.4.2. Textura

Prefiere suelos franco- limosos, franco- arcillosos y franco- arcillosos- limosos. Prospera en suelos de textura ligera a media (INIFAP, 2013).

2.1.4.3. Fertilidad

En las áreas de alto potencial se recomienda aplicar la dosis 180- 60-00 y en zonas de mediano potencial 160-60-00.en ambos casos la mitad de nitrógeno y todo el fosforo al momento de la siembra y la otra mitad al momento de la escarda (INIFAP, 2013).

2.2 Importancia del maíz en México

El maíz es un producto de gran importancia social y económica en México, ocupa 50% de la superficie nacional cultivable y es la fuente más importante de empleo e ingresos de 70% de los productores que se involucran en su producción. Este alimento

proporciona 55% de las calorías diarias y 22% de la proteína que ingieren los mexicanos, esta ingesta es principalmente consumida en forma de tortilla, con un consumo per cápita de 90 kilogramos. Aunque el consumo de maíz varía de una región a otra y en los diferentes estratos sociales, este cultivo tiene gran relevancia en la alimentación diaria de las poblaciones de bajos recursos (Regeneración, 2010 y Excélsior, 2014).

El maíz no es sólo un alimento, es, sin duda, mucho más que un producto, cuyo interés popular trasciende a cientos de usos y por lo tanto a cientos de visiones que cotidianamente se nos presentan en estampas que dan colorido y sabor al paisaje mexicano. Este cereal fue y sigue siendo un producto esencial, para la población mexicana, representando una gran tradición y un fuerte arraigo a sus creencias religiosas (Carrillo, 2009).

Aunque el maíz haya surgido en México, su cultivo, uso e importancia no son exclusivos de nuestro país. Hoy en día, este cultivo, junto con el trigo y el arroz forma parte de los cereales más importantes del mundo, cultivándose en más de 113 países y formando parte esencial de la alimentación básica de su población (Núñez, 2013).

2.3. Condiciones para el cultivo de maíz

El cultivo del maíz está ampliamente adaptado en diferentes zonas en México, se siembra en un amplio rango de altitud y variación climática, que va desde el nivel del mar hasta 3,400 msnm. Se siembra en zonas tórridas con escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (CONABIO, 2011).

2.3.1 Condiciones para el cultivo de maíz en los Valles Altos

En la República Mexicana, la región de los Valles Altos, está determinada geográficamente por aquellas zonas que se encuentran entre los 2200 y 2600 msnm. Y se localizan principalmente en los Estados de Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro,

Estado de México y Distrito Federal. En 2013 en estos Estados se sembraron con maíz dos millones de hectáreas con un rendimiento de 2.7 ton ha⁻¹ que representan 27.4% de la superficie nacional sembrada con maíz (Espinosa *et al.*, 2012 y Virgen *et al.*, 2016).

Los cultivos en los Valles Altos son afectados de manera compleja por muchos componentes, entre los que se encuentran los ambientales: heladas tempranas y tardías, precipitación pluvial escasa y mal distribuida, granizadas, vientos, suelos de baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica, topografía irregular, erosión y salinidad (Ramírez, 2001). Bajo estas condiciones de temporal, el maíz se afecta por los múltiples factores antes mencionados, por lo que es importante utilizar híbridos y variedades que sean de ciclo intermedio y tardío, para evitar pérdidas y obtener rendimientos de grano superiores a los de la media nacional (3.48 ton ha⁻¹), así mismo obtener un buen rendimiento en forraje, para abastecer la demanda de los animales.

A pesar de estas condiciones tan extremas, anualmente se establecen casi 1.5 millones de hectáreas con maíz, 80% se cultiva bajo condiciones de temporal y el resto con punta de riego (Martínez, 2014).

2.4. Fisiología de la formación de grano

El grano es la estructura de maíz con la mayor parte nutritiva de la planta comienza luego de ocurrida la fecundación y termina una vez que se alcanza la madurez fisiológica. A partir de la floración el rendimiento de la planta estará ligado únicamente a la acumulación de la materia seca en el grano; esto está asegurado por una parte por la fotosíntesis del periodo post-floración y otra por la movilización de reservas almacenadas en tallos, en 2 o 3 semanas que sigue la fecundación (López, 2014).

A continuación, se mencionan los diferentes estados de los granos durante su etapa de llenado:

- Etapa de llenado de grano: después de 3 a 4 días de ocurrida la fecundación los granos inician su crecimiento, presentando una coloración blanquecina y un

contenido de humedad cercano a 90%. Después del cuarto día, los granos van evidenciando un cambio gradual en su coloración externa, hasta alcanzar un color amarillo tenue; en ese momento, los granos presentan un contenido de humedad de aproximadamente 85%. Los cambios de color, que van derivando en un amarillo cada vez más intenso, obedecen a una acumulación progresiva de almidón, el cual comienza a formarse aproximadamente 2 semanas después de la fertilización de los óvulos. Esto determina que la consistencia del fluido de los granos vaya pasando progresivamente de una fase acuosa a una fase lechosa.

- Estado lechoso: los granos muestran externamente un color amarillo, en tanto que en el interior el fluido es de color blanco lechoso. Los granos, que en esta etapa presentan entre 71 y 74% de humedad en promedio, están óptimos para su consumo como elote.
- Estado lechoso masoso: la mayoría de los granos comienza a mostrar hendiduras en su parte apical, lo que corresponde al dentado de los granos; el contenido promedio de humedad en este estado alcanza a 55%. Los granos comienzan a secarse desde su parte apical, que es donde se inicia el depósito de almidón. Así, aparece la denominada línea de leche en los granos, la cual marca la transición entre el almidón duro o sólido y la parte aún lechosa; esta línea desaparece a medida que avanza su madurez fisiológica.
- Estado de madurez fisiológica: este estado se alcanza cuando los granos logran su máxima acumulación de materia seca, asegurándose con ello la obtención del máximo rendimiento. La capa de almidón duro ha avanzado hasta la zona de unión del grano con el olote, lo que determina la desaparición de la línea de leche y el término del crecimiento de los granos. En ese momento, el contenido promedio de humedad en los granos es de 37%.
- Casi simultáneamente con la desaparición de la línea de leche en la región placentaria de la semilla, que corresponde al lugar de inserción de ésta en el olote,

se hace visible un punto o película de color negro. La desaparición de la línea de leche y la aparición del punto negro son, en definitiva, indicadores de que se ha alcanzado el estado de madurez fisiológica (Faiguenbaum, 1990).

- Madurez comercial o de cosecha

El proceso de secado comienza en el campo cuando la humedad del grano fisiológicamente maduro es de 30-35% y permite que éste se seque en la planta hasta alcanzar por lo menos un 20% antes de comenzar a cosecharlo. Luego de su cosecha se continúa el proceso de secado hasta bajar el contenido de humedad a 15%. Durante el almacenamiento el grano debe alcanzar un 13%. A niveles más altos de humedad, aumenta el riesgo que patógenos como hongos e insectos puedan causarle daño al grano.

2.5. Características del maíz para la producción de forraje

Se considera como forraje a aquel material de origen vegetal (generalmente la parte aérea de la planta), destinada al consumo de herbívoros, que contiene más del 18% de fibra cruda en la materia seca. En el cultivo de maíz, la denominación de forraje se designa a las plantas, frescas o desecadas, que se han producido, con todas sus mazorcas si ya se formaron (Manera, 1998).

El momento en que se debe de cortar un forraje depende principalmente del rendimiento de materia seca, calidad nutritiva y forrajera del uso que se le va a dar al forraje (henificado, forraje fresco, ensilado, entre otros) y el ganado que se va alimentar.

La principal característica para definir el potencial productivo de un forraje es la materia seca, la cual aumenta con la madurez, sin embargo el porcentaje de proteína, así como la digestibilidad de la materia seca del forraje también disminuye a medida que aumenta la madurez de la planta (Espatia *et al.*, 2002).

La mayoría de las plantas forrajeras se cultivan para aprovechar sus hojas y tallos, por tal motivo, el momento en el que se cosecha viene a coincidir con la floración ya que es la etapa donde alcanza el máximo valor nutritivo. La excepción a esta regla la constituye

el maíz forrajero, en donde el grano es el que contiene mayor calidad y cantidad de nutrimentos (Manera, 1998).

El objetivo primordial de las variedades de maíz que se han desarrollado, es la producción de grano, y en algunos casos se han adaptado después al cultivo de forraje, considerando características favorables como, porte alto de planta y gran capacidad para producir follaje, así como el manejo para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea (Núñez *et al.*, 2005 y Tadeo *et al.*, 2012). El problema que suele presentarse con estos maíces es que como todo el mejoramiento genético que se realiza es para la producción de grano, los tallos son gruesos, resistentes al acame y con una maduración pareja entre espiga, tallo y hojas; lo que provoca que cuando el grano se encuentra con la madurez óptima para el picado, la planta está demasiado seca y dificulta la compactación del ensilado, por lo que en estos materiales se debe empezar a picar antes, resignando cantidad de energía acumulada en los granos (Ramírez, 1999).

2.6 Conservación de forraje

Los métodos de conservación de forraje pueden clasificarse en dos clases dependiendo del porcentaje de materia seca:

En seco:

- Reserva en pie
- Henificación
- Ventilación forzada
- Deshidratación

En fresco:

- Ensilaje

Las razones que hacen necesario el empleo de métodos de conservación para el forraje son las siguientes:

- Producción estacional de las praderas.
- Mejor combinación de los alimentos propios de distintas épocas.

- Imposibilidad de sacar a pastar el ganado en determinadas épocas del año (López, 2014).

2.6.1. Importancia del ensilado

El proceso de ensilar se conoce como ensilaje, el producto obtenido se denomina ensilado, en tanto que se llama silo a la instalación utilizada para conservar el forraje (Améndola, 2016). El ensilaje es una práctica de conservación de los forrajes que se han incrementado en todo el mundo en los últimos años, sin embargo se tienen evidencias de su utilización en murales egipcios que provienen de 1000 a 1500 años antes de Cristo y se han encontrado ruinas de silos en Cartago que se construyeron 1200 años antes de Cristo.

El ensilaje es el proceso de conservación de la planta basado en la fermentación de los carbohidratos solubles, por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento por la acidificación del medio ($\text{pH} < 4.3$), el cual inhibe el crecimiento de microorganismos. Provee 40% del valor nutritivo del forraje que consume el ganado lechero en Estados Unidos y constituye una fuente importante en la alimentación de bovinos para carne (Ruiz, 2006 y Cobos., 2017). En la actualidad el ensilaje de maíz no solo se usa como una fuente de alimento en época de escases de otros alimentos, si no como un alimento base para el ganado durante todo el año, siendo utilizado cada día más por tener múltiples ventajas, como por ejemplo:

- Adaptación a diferentes zonas agroecológicas del país.
- Altos rendimiento por hectárea comparado con otros forrajes comúnmente utilizados. En el año 2015 el SIAP reporto un rendimiento medio nacional de 25 ton ha^{-1} , alcanzando rendimientos de hasta 50 ton ha^{-1} .
- Bajo costo de producción. Ya que con una hectárea de maíz se puede producir mayor cantidad de materia fresca, que con la misma hectárea destinada a las pasturas. En cuanto al costo de producción, el producir ensilado de maíz puede

reducir la inversión en alimentos concentrados, sin disminuir la calidad del alimento ofrecido a los animales. Considerado un alimento de alta energía para los animales, palatable y consistente. Su follaje, fuente de fibra, contiene grandes proporciones de nutrimentos digestibles, carbohidratos estructurales, los cuales son necesarios para mantener un adecuado funcionamiento del rumen (Garcés 2004 y Ramírez 1999).

2.6.2. Características para la cosecha

El maíz es el cultivo más popular para ensilar. La planta se debe cortar después de la formación de la espiga, cuando el grano se encuentre en estado masoso - lechoso, en esta etapa el maíz presenta su máxima concentración de carbohidratos solubles. Para determinar este índice de cosecha (estado lechoso - masoso) se realiza un muestreo en la mazorca, para determinar en qué momento la denominada línea de leche se encuentra en porcentajes de 1/3 a 1/2, la cual marca la transición entre el almidón duro o sólido y la parte aún lechosa. Es decir, cuando mediante la presión del grano con la uña libera una sustancia blanquecina que mezclada con el mismo grano forma una masa (Faiguenbaum, 1990).

El ensilado es el forraje conservado en verde, con un contenido de humedad de 65- 70%, obtenido por la actividad generada por microorganismos anaerobios que fomentan la fermentación de azúcares a ácidos orgánicos tales como: ácidos láctico, acético y propiónico, con pérdidas mínimas en su valor nutritivo (Collins y Owens, 2003). En el Cuadro 2 podemos observar las 6 fases de la fermentación en el proceso de ensilaje, la actividad que realizan los diversos microorganismos involucrados así como su cambio de pH y temperatura a lo largo del proceso.

Cuadro 2. Fases que se presentan durante la fermentación del ensilado y su almacenamiento

Tiempo (días) del ensilaje	Fase I 0-2	Fase II 3-4	Fase IV 4- 21	Fase V >21	Fase VI	
Actividad	Respiración, producción de CO ₂ , calor y agua	Producción de ácidos acético, láctico y etanol	Formación de ácido láctico	Formación de ácido láctico	Almacenamiento	Alimentación Deterioro aeróbico por la exposición al aire
Cambio de temperatura	16 a 33°C (o mayor)	33 a 29	29	29	29	29 o mayor
Cambio de pH	6.5 – 6.0	6.0- 5.0	5.0 – 4.0	4.0	4.0	4.0- 7.0
Organismos	Bacterias ácidolácticas y ácido acéticas	Bacterias ácidolácticas y ácido acéticas	Bacterias ácidolácticas	Bacterias ácidolácticas	Bacterias ácidolácticas	Mohos y levaduras

Fuente: Améndola, 2016.

El uso de forrajes conservados como ensilado, especialmente los de buena calidad es importante para la productividad ya que una vez preservado de esta forma la calidad que se ofrecerles uniforme. Este método de conservación de forrajes consiste en la fermentación anaeróbica. Para ensilar forraje se deben seguir los siguientes pasos.

Los forrajes de maíz y sorgo se cosecharon durante la etapa masosa- lechosa del grano, entonces tienen un contenido de humedad de 60 – 70%. El forraje debe picarse con una ensiladora (“picadora”), a fin de obtener trozos de 2-4 cm, lo cual permite “apisonar” correctamente el material, lo que favorece la fermentación posterior.

El forraje picado se coloca en capas sucesivas de 40 -50 cm de altura, cada una de las cuales debe ser “apisonada” y apretada perfectamente, para evitar que quede aire encerrado entre las capas pues podría ocasionar fermentaciones indeseables. Tapar perfectamente el silo con un plástico y sellar las orillas con una capa de tierra, para evitar la penetración del aire y el agua, ya que ocasionaría pudriciones y reduciría la calidad del forraje.

El proceso fermentativo del ensilado comienza de inmediato y la culminación de las reacciones bioquímicas terminan alrededor de 21 días, después de este tiempo y si el

silo permanece en condiciones de ausencia de oxígeno, el forraje puede conservarse y ser apto para el consumo animal (Améndola, 2016).

2.7. Importancia del rastrojo

Los rastrojos o residuos de cosecha, desempeñan un papel importante en los sistemas agrícolas y pecuarios. Aunque los rastrojos son un producto secundario, donde la cantidad como la calidad, estarán determinadas por la pastura que le den origen, sus usos alternativos les han conferido un alto valor económico, con el establecimiento de los mercados donde se comercializa este producto. En México, la mayor producción de rastrojos se obtiene de los cereales, principalmente de maíz, sorgo, trigo y cebada y está asociada directamente con la producción de grano, por lo que, a medida de que aumenta la cantidad producida de granos para satisfacer la demanda alimenticia de la población, se incrementa la disponibilidad de estos residuos. Siempre considerando que la calidad del forraje conservado nunca será superior al material que le dio origen (Reyes *et al.*, 2013).

En la unidad de producción, el rastrojo puede llegar a ser tanto o más importante que el grano, debido a que sustenta en diferente proporción la manutención del ganado, al cual se recurre en tiempos difíciles para amortiguar los desbalances económicos. A pesar de su relevancia, en muchas ocasiones el rastrojo producido por el agricultor es insuficiente, por lo que no se cubren totalmente las necesidades de consumo de los rumiantes durante la época de estiaje.

En la gran mayoría de las unidades de producción agropecuaria del altiplano poblano, el maíz es un cultivo prioritario, ya que de él se obtiene grano para la alimentación humana y rastrojo (las partes remanentes de la planta -tallo, hoja, espigas y brácteas de mazorca-después de que el grano de maíz es cosechado) para el ganado. El rastrojo llega a representar el 50% de la biomasa total aérea de la planta y existen evidencias de que una mejora en la capacidad de producción de éste (Muñoz *et al.*, 2013). Actualmente no existen estadísticas para cuantificar la cantidad de rastrojo que se produce a nivel nacional, sin embargo, en la publicación “producción de grano y rastrojo a nivel nacional

durante el periodo 2008 -2011” se estimaron datos de la producción de rastrojo de cuatro cultivos con un total de 37.5 millones de toneladas. Donde la producción de rastrojo de maíz fue de poco más de 25 millones de toneladas; del cultivo de sorgo se obtuvieron 7.3 millones de toneladas de esquilmos; la producción de paja de trigo y cebada fue de 4.4 millones de toneladas y 693 mil toneladas, respectivamente (Reyes *et al.*, 2013).

La cantidad de rastrojo producido por hectárea depende, del material genético que sea utilizado, las condiciones climáticas y edáficas, así como la densidad manejada. Por lo que el mismo material se puede comportar de una manera diferente de una región a otra. En la publicación “Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México” donde se evaluaron 144 variedades de maíz los mayores rendimientos de rastrojo estuvieron en el intervalo de 6,000 a 8,000 kg ha⁻¹. Se manejaron altitudes correspondientes a la de los valles altos de 2,340 a 2,980 msnm, donde predominaban los climas templado subhúmedo (Muñoz *et al.*, 2013).

2.7.1. Características para la cosecha

La henificación es un método de conservación de forrajes secos producida por una rápida evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta. Los materiales comienzan a recolectarse cuando alcanzan su madurez fisiológica o cuando tienen una humedad próxima al 20%, y se estabilizan alrededor del 15% durante el almacenaje (Cattani, 2011).

2.8. Densidad de población de plantas y rendimiento

El crecimiento y rendimiento de las plantas están estrechamente relacionados con los factores ambientales y el manejo del cultivo. La cantidad, calidad, duración de la luz y de la temperatura; así como, densidad de siembra, la humedad del suelo y la fertilización (Mendoza *et al.*, 2006).

La densidad de plantas es la herramienta más efectiva para mejorar la captura de luz que se utiliza durante la fotosíntesis. La cantidad de plantas necesarias para lograr plena cobertura está en función del área foliar de cada una y de la disposición de sus hojas,

plantas poco frondosas y de hojas erectas requerirán densidades mayores para conseguir la cobertura total del suelo (Cirilo, 1999).

El uso de altas densidades de población puede reducir la calidad del forraje y grano, debido a que aumenta el porcentaje de plantas estériles y disminuye el número de granos. Sin embargo existe una respuesta diferencial de acuerdo a las características de los genotipos (Reta *et al.*, 2000).

Los genotipos elegidos se deben seleccionar teniendo en cuenta el ciclo más apropiado para la zona. Si el genotipo es de ciclo muy corto, el rendimiento total de materia seca de maíz se verá reducido pero ofrece la ventaja de una mayor relación grano/tallo del material cosechado. Si, por el contrario, se siembra un ciclo muy largo, se pueden obtener mayores rendimientos de materia seca, aunque la proporción de grano en la materia seca total puede ser menor. El valor nutritivo del material a ensilar mejora a medida que aumenta el contenido de grano, hasta que este representa 30% de la materia seca total (Romero y Aronna, 2004).

2.8.1. Densidad de población y rendimiento para los Valles Altos

En la producción de maíz se han usado diferentes densidades de población que van desde las 60,000 hasta las 110,000 plantas ha^{-1} , en función de la calidad y cantidad de grano, forraje o ambos, considerando siempre la calidad de la semilla híbrida, así mismo conociendo los genotipos que se van a evaluar en diferentes investigaciones se ha considerado su rendimiento con base a su densidad de población. A continuación se mencionan algunas investigaciones.

En la investigación “Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos” se evaluaron cinco híbridos, entre los que destacan el H-53 y H-47, ambos sembrados con una densidad de 60,000 plantas ha^{-1} , los mejores rendimientos los obtuvo el híbrido H- 53 con 9.226 ton ha^{-1} , mientras que el híbrido H- 47 con 7.832 ton ha^{-1} , el cual no tuvo diferencia significativa, con respecto a los híbridos evaluados (Tadeo *et al.*, 2014). En otra investigación “Densidad de población y

fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles” se evaluó el híbrido H- 47, el cual obtuvo el mejor rendimiento, con una densidad de 70,000 plantas ha⁻¹, con 10.302 ton ha⁻¹ (Tadeo *et al.*, 2012). Así mismo en la investigación “Tsiri puma, híbrido de maíz para valles altos con esquema de androesterilidad ara producción de semilla” se menciona que este híbrido, con una densidad de población de 65,000 plantas ha⁻¹, su rendimiento promedio de grano, a través de varios años (2008 a 2012) y las localidades en el Estado de México (Cuautitlán, Ixtlahuaca, Texcoco, Temascalcingo, Atlacomulco), varió de 9.5 a 12.5 ton ha⁻¹. También en dicha publicación se menciona Tsiri Puma expresa buena productividad en ensilado, ya que su rendimiento de forraje es de 83.369 ton ha⁻¹, con materia seca de 24.623 ton ha⁻¹ (Tadeo *et al.*, 2016).

En otras dos investigaciones, que se llevaron en las condiciones de los valles altos, se conocieron densidades de población similares a las descritas anteriormente con buenos rendimientos en grano; las publicaciones son “Densidad de población en calidad de grano” el mejor rendimiento se obtuvo con 67,000 y 80,000 plantas ha⁻¹, (Vázquez *et al.*, 2013), y “Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento”, los mejores resultados se han obtenido con 78,000 y 89,000 plantas ha⁻¹ (Morales *et al.*, 2014).

2.9. Rendimiento

Se reconoce en la agricultura, que existen dos tipos de rendimiento; el biológico y el agronómico, el primero representa la producción total de materia seca por unidad de superficie en un tiempo dado y el segundo se refiere al volumen o peso de aquellos órganos de valor económico para el hombre por planta o por unidad de superficie (Luna, 2008).

El rendimiento biológico de una planta está en función de la capacidad para interceptar la energía luminosa y convertirla en biomasa. Sin embargo el rendimiento agronómico en gran parte depende de las relaciones que se establecen al interior de la planta, entre los órganos o sitios de producción de fotosintatos y los sitios de utilización de los mismos (Luna, 2008). El rendimiento final de un cultivo se encuentra determinado por diversos

componentes iniciales, ya que pueden estar determinados o afectados por factores ambientales, genéticos, manejo agronómico y la interacción de cada uno de los factores sobre el cultivo a través de sus diferentes etapas fenológicas. Un mayor rendimiento se logra solamente cuando se puede obtener una combinación apropiada de genotipo ambiente (Martínez, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que anualmente se destinan 8.4 millones de hectáreas para la producción de maíz, representando 50% de la superficie nacional cultivable (Cruz y Gómez, 2014). A continuación se presenta un cuadro con los diferentes rendimientos que se obtienen en este cultivo, dependiendo de su propósito de producción.

Cuadro 3. Comparativo en la producción de maíz con diferente finalidad agronómica en la República Mexicana

Cultivo	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (ton ha ⁻¹)
maíz forrajero	563,820.89	539,116.78	13,660,717.70	25.34
maíz grano	7,600,452.58	7,099,728.80	24,694,046.25	3.48
maíz semilla	21,036.20	20,969.20	109,509.65	5.22
maíz palomero	442.3	442.3	788.54	1.78

Datos obtenidos de SIAP, 2016.

2.9.1. Componentes de rendimiento para grano de maíz

Los componentes de rendimiento son aquellos caracteres morfológicos y procesos fisiológicos que regulan la producción final de grano por planta.

El rendimiento es el producto final integrado por un número de fracciones llamadas componentes de rendimiento y pueden expresarse como:

$$Y = Nr * Ng * Wg$$

Donde:

Y= rendimiento

Nr= Número de Unidades productivas

Ng= Número de granos por unidad productiva

Wg = peso promedio de grano

La relación del rendimiento varía según la región agroecología, el genotipo utilizado y el manejo, los cuales a menudo ayudan a explicar porque ocurren reducciones en el rendimiento (Ramírez, 2001).

2.10. Producción de maíz en grano

La producción nacional de maíz en grano fue de 24, 694,046.25 toneladas, obteniéndose una media nacional de 3.48 ton ha⁻¹. En los Estados que comprenden los valles altos, el mejor rendimiento lo obtuvo el Estado de México con 3.82 ton ha⁻¹, situándose por arriba de la media nacional (SIAP, 2016).

Cuadro 4. Comparativo de la producción y rendimiento de maíz en grano, de los diferentes estados que comprenden los Valles Altos en México.

Estado	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Producción Total
Estado de México	3.82	2,036,339.17
Puebla	1.92	1,002,154.92
Hidalgo	3.03	714,239.06
Tlaxcala	2.8	325,739.65
Querétaro	2.85	308,928.81
Distrito Federal	1.3	4,836.99

Fuente: SIAP, 2016.

2.11. Producción de maíz forrajero

Así mismo para el año 2015, la producción nacional de forraje fue de 13,660,717.70 toneladas, obteniéndose una media nacional de 25 ton ha⁻¹. En los Estados que comprenden los Valles Altos, el mejor rendimiento lo obtuvo el Estado de México con 40.52 ton ha⁻¹, superando la media nacional (SIAP, 2016).

Cuadro 5. Comparativo de la producción y rendimiento de maíz en forma de forraje, de los diferentes estados que comprenden los Valles Altos en México.

Estado	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Producción Total
Estado de México	40.52	458,388.87
Puebla	34.86	72,416.62
Hidalgo	15.72	98,168.5
Tlaxcala	36.51	252,414.93
Querétaro	21	210
Distrito Federal	19.8	4,190.5

Fuente: SIAP, 2016.

2.12. Híbrido H 47 AE

Híbrido de ciclo intermedio, llega a su madurez fisiológica a los 150- 156 días. Se puede cortar a los 172 días. Tiene un rendimiento comercial de 8.2 a 9.3 ton ha⁻¹. Con un rendimiento potencial de 12.3 ton ha⁻¹, bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es dentado de color blanco, inscrito con número de registro: 3151- MAZ-1656-300615/C ante el CNVV (Espinosa *et al.*, 2010).

2.13. Híbrido H 53 AE

Híbrido de ciclo intermedio, llega a su madurez fisiológica a los 161- 164 días. Se puede cortar a los 175 días. Tiene un rendimiento comercial de 8.9 a 9.9 ton ha⁻¹. Con un rendimiento potencial de 12.7 ton ha⁻¹, bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es dentado de color blanco, Tiene un número de registro provisional de 3152- MAZ-1657-300615/C ante el CNVV (Espinosa *et al.*, 2010).

2.14. Híbrido Tsiri Puma

Híbrido de ciclo intermedio, aunque en latitudes de 2250 msnm es ligeramente más tardío. Llega a su madurez fisiológica a los 161- 164 días. Se puede cortar a los 175 días. Tiene un rendimiento comercial de 9.5 a 12.5 ton ha⁻¹. Con un rendimiento promedio de 8.5 ton ha⁻¹, bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es

semidentado de color blanco. Inscrito con número de registro: MAZ-1571- 290514 ante el CNVV (Tadeo *et al.*, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

El trabajo experimental se desarrolló en dos localidades:

La primera localidad ubicada en la parcela número 7, en la FESC-UNAM, municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo de México, con coordenadas geográficas: 99° 11' 42" Longitud Oeste y 19° 41' 35" Latitud Norte a 2274 msnm.

La segunda localidad se estableció en el Campo Experimental de Valle de México, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX- INIFAP). Ubicado en Santa Lucía de Prias, Municipio de Texcoco, Edo de México, con coordenadas geográficas: 19° 27' de latitud norte y los 98° 51' de longitud oeste a una altura de 2240 msnm. Dichos trabajos experimentales se establecieron en el ciclo primavera - verano del 2014.

3.2. Condiciones Climáticas

Las condiciones climáticas que caracterizan a las diferentes localidades se describen a continuación:

3.2.1. Clima de la FESC

De acuerdo al Sistema de clasificación climática Köppen, modificada por García (2004), el clima de la región corresponde a C (W_o) (w) b (i); templado, el más seco de los subhúmedos, con regímenes de lluvias de verano e invierno seco, con menos de 5% de la precipitación anual.

De acuerdo al registro de las normales climáticas, la temperatura media anual es de 15.7° C, siendo enero el mes más frío, con una temperatura promedio de 11.8° C y junio el mes más caliente con una temperatura promedio de 18.3° C. La precipitación promedio es de 605 mm, abarcando la mayor concentración en los meses de junio a octubre. El promedio anual de días con presencia de heladas es alto, con 64, considerándose desde los meses de octubre hasta abril, son más frecuentes en diciembre, enero, y febrero, las heladas

tempranas se pueden presentar a inicios del mes de septiembre y las tardías hasta el mes de mayo (Tadeo *et al.*, 2012; Hagg, 2012).

3.2.2. Clima de CEVAMEX- INIFAP

El clima de la región corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano; una precipitación total anual de 636.5 mm y con época seca durante el invierno; presenta poca oscilación térmica (6°C); la temperatura media anual es 15.2°C siendo mayo el mes más caluroso (17.9°C) y enero el más frío (11.8°C); la formula climática correspondiente es: Cb(W0)(w)b(i´)g (Luna, 2009).

3.3. Condiciones Edáficas

Las condiciones edáficas que caracterizan a las diferentes localidades se describen a continuación:

3.3.1. Suelo FES Cuautitlán

Los suelos son vertisoles pélicos y presentan una textura fina, son suelos arcillosos, pesados y duros cuando se secan formando unas grietas profundas que los caracterizan y pueden ser impermeables al agua. El pH oscila entre 6 a 7 (Martínez, 2014).

3.3.2. Suelo CEVAMEX- INIFAP

Los suelos son franco arenoso, tienen una capacidad media de retención de humedad. Los valores de pH se encuentran en el intervalo de clasificación de medianamente ácido (6.1) a ligeramente alcalino (7.7). Los efectos de la salinidad sobre el suelo son nulos (Luna, 2009).

3.4. Material Genético

Se evaluaron tres híbridos trilineales de maíz desarrollados en la FES-C, como en el INIFAP. El híbrido de grano blanco desarrollado en la FES-C, se denomina Tsiri Puma y los dos materiales del INIFAP, son androestériles: H 53 AE y H 47 AE. En estos tres híbridos se determinó la productividad de grano, forraje y rastrojo en dos localidades de Valles Altos bajo dos densidades de población.

Cuadro 6. Distribución de los tratamientos de híbridos, destino de cosecha, densidad de población utilizada para evaluar la productividad de grano, forraje y rastrojo de híbridos de maíz en cada localidad. Ciclo primavera verano 2014.

Híbrido	Finalidad de la cosecha	Densidad de población
TSIRI PUMA TSIRI PUMA TSIRI PUMA	Forraje Grano Rastrojo	70,000
TSIRI PUMA TSIRI PUMA TSIRI PUMA	Forraje Grano Rastrojo	95,000
H -53 AE H -53 AE H -53 AE	Forraje Grano Rastrojo	70,000
H -53 AE H -53 AE H -53 AE	Forraje Grano Rastrojo	95,000
H- 47 AE H- 47 AE H- 47 AE	Forraje Grano Rastrojo	70,000
H- 47 AE H- 47 AE H- 47 AE	Forraje Grano Rastrojo	95,000

3.5. Diseño Experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Para cada una de las localidades se establecieron las combinaciones antes señaladas, es decir tres híbridos x dos densidades de población = seis tratamientos x tres repeticiones, lo que

resultado en 18 unidades experimentales en cada experimento, es decir 18 para grano, 18 para forraje y 18 para rastrojo. En total para cada localidad se establecieron 54 unidades experimentales, considerando que se tienen dos localidades se tienen 108 unidades experimentales. Se utilizó el diseño en bloques al azar debido a que existe un gradiente de humedad debido a la pendiente del terreno que influye en el comportamiento de los diferentes híbridos evaluados.

Se realizó un análisis estadístico factorial, considerando como factores la finalidad de cosecha, localidades, así como las interacciones. La parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 80 cm de ancho, dando un total de 4.0 m² como parcela útil. Los datos obtenidos se analizaron con el programa SAS para Windows, versión 8 (SAS Institute, 2001). Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por medio de la prueba de Tukey, al 0.05 de significancia para cada una de las variables evaluadas.

3.6. Manejo agronómico

Se realizó la preparación del terreno por medio de aradura, dos pasos de rastra y trazo de surcos (separación de 0.8m entre surcos). Al momento de que se realizó el surcado se fertilizó con una dosis de 80-40-00 (N, P, K), utilizándose urea y fosfato de amonio.

El experimento se estableció en el ciclo primavera verano del año 2014 y la fecha de siembra se realizó el 12 y 16 de Junio en el CEVAMEX y la FES- Cuautitlán. Para el experimento establecido en el CEVAMEX se aplicó riego en la siembra y diez días después se aplicó un segundo riego para garantizar la germinación de la semilla, en la FES- Cuautitlán, el ciclo de producción, se cubrió completamente con la humedad de la precipitación pluvial. Para el control de malezas se aplicaron Gesaprim (Atrazina) 2 kg ha⁻¹, Hierbamina (2-4D amina) 2 L ha⁻¹.

En los experimentos de las dos localidades se manejaron densidades de población de 70,000 y 95,000 plantas/ha. En el establecimiento de los experimentos, se sembraron 50 semillas de maíz por cada una de las repeticiones que se establecieron en un surco de 4m², después de haber ocurrido la emergencia de las plántulas, se aclareo a 28 y 38 plantas para alcanzar la densidad de población establecida.

3.7. Variables evaluadas

Las variables que se evaluaron fueron las siguientes:

3.7.1. Floración masculina

Los días de floración masculina se determinaron a partir de la siembra de la semilla, hasta el día en donde aparecieron 50% de las espigas por surco.

3.7.2. Floración femenina

Los días de floración femenina se consideraron desde el día de la siembra hasta que aparecieron 50% de los estigmas, y tuvieron de 2 a 3 cm de longitud.

3.7.3. Altura de la planta

Se seleccionaron al azar de 5 a 10 plantas por surco, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga (panoja), y se registró la altura de la planta en centímetros.

3.7.4. Altura de la mazorca

Se midieron las mismas plantas a las que se les determinó la altura, considerando la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo donde comienza la mazorca más alta.

3.7.5. Metodología para evaluación de maíz forrajero

Previamente a la cosecha las plantas de la unidad experimental para determinar rendimiento de forraje se realizaron dos muestreos a los 110 y 120 días posteriores a la siembra, se eligieron 3 plantas de manera aleatoria y se determinó el avance de la línea de la leche, cuando alcanzo el 50% de avance se realizó la cosecha. Las variables que se evaluaron para determinar la calidad del forraje fueron las siguientes:

3.7.5.1. Rendimiento de forraje en base húmeda

Para determinar el rendimiento en base húmeda por ha, se cortaron todas las plantas de cada unidad experimental, de 7-10 cm con respecto al suelo, se pesaron, y se calculó el peso promedio por planta y se multiplicó por la densidad de plantas por hectárea.

Se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$RFBS = PFM \times DP$$

Dónde:

RFBH= Rendimiento de forraje en base húmeda en kg ha^{-1}

PFM = Peso fresco promedio por planta.

DP = Densidad de población para cada tratamiento.

2.7.5.2. Rendimiento de forraje en base seca

Para obtener el rendimiento de forraje en base seca se utilizaron cinco plantas de las que se cosecharon para la determinación de materia verde, se cortaron en trozos a una longitud de 3 a 5 cm, se mezclaron hasta que se constituyó una muestra homogénea, se tomó una submuestra de un kilogramo, se colocó en una estufa con aire forzado, a una temperatura de 55 °C, hasta que alcanzó un peso constante. Finalmente se pesó, y de la diferencia entre el peso inicial y el peso final se obtuvo el contenido en materia seca, con este dato se calculó el peso promedio en materia seca por planta y se multiplicó por la población de plantas por ha.

Se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$RFBS = PSP \times DP$$

Dónde:

RFBS = Rendimiento en materia seca en kg/ha .

PSP: Peso seco por planta Kg.

DP: Densidad de población de cada tratamiento.

2.7.5.3. Porcentaje de materia seca

El porcentaje de materia seca se determinó por medio de la ecuación siguiente:

$$PMS = (1 - (RMV - RMS / RMV)) \times 100$$

Donde:

PMS = Porcentaje de materia seca.

RMV = Rendimiento en materia verde en kg ha^{-1} .

RMS = Rendimiento en materia seca en kg ha^{-1} .

3.7.5.4. Porcentaje de mazorca

De cada tratamiento se tomaron 5 plantas, se separaron las mazorcas, se secaron en una estufa de aire forzado hasta peso constante y se pesaron. Se obtuvo el peso promedio de mazorcas para cada tratamiento y se determinó el porcentaje de mazorca por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de mazorca} = \frac{\text{Peso seco promedio de mazorcas}}{\text{Peso seco promedio por planta}} \times 100$$

3.7.6. Rendimiento de rastrojo húmedo (contenido de humedad en la cosecha)

La cosecha de rastrojo se llevó a cabo el día 9 de Diciembre en la FES-C y el 16 de Diciembre en el INIFAP. Para determinar el rendimiento de rastrojo, se consideró que las plantas llegaran a la madurez fisiológica, y el grano alcanzara un porcentaje de humedad de 15% a 12%, se cortaron todas las plantas de cada unidad experimental, a una altura de 7-10 cm con respecto al suelo, se les quito la mazorca, se pesaron, se calculó el peso promedio por planta y se multiplicó por la densidad de plantas por hectárea.

Se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$RRH = PRH \times DP$$

Dónde:

RRH = Rendimiento rastrojo húmedo en kg ha^{-1}

PRH = Peso rastrojo húmedo por planta.

DP: Densidad de población para cada tratamiento.

3.7.7. Rendimiento de rastrojo seco

Para obtener el rendimiento de rastrojo seco se utilizaron cinco plantas de las que se cosecharon para la determinación de rastrojo húmedo, se cortaron en trozos a una longitud de 3 a 5 cm, se mezclaron hasta que se constituyó una muestra homogénea, se tomó una submuestra de un kilogramo, se colocó en una estufa con aire forzado, a una temperatura de 55 °C, hasta que alcanzó peso constante. Con la diferencia entre el peso inicial y el peso final se obtuvo el contenido en materia seca para el rastrojo, con este dato se aplicó la fórmula siguiente:

El rendimiento de rastrojo seco se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$\text{RRS} = \text{PSRP} \times \text{DP}$$

Dónde:

RRS: Rendimiento de rastrojo seco en kg/ha.

PSRP: Peso seco de rastrojo por planta en kg.

DP: Densidad de población de cada tratamiento.

3.7.8. Metodología para la evaluación del grano de maíz

La cosecha se realizó cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica y el contenido de humedad en el grano presentó valores de 15% a 12%. Se consideraron todas las mazorcas, las que se encontraban en buen estado y en mal estado, tanto fitosanitario, como en llenado de grado. La cosecha se llevó a cabo el 9 de Diciembre en la FES-C y el 16 de Diciembre en el INIFAP. Se midieron las siguientes variables, para cada tratamiento.

3.7.8.1. Peso de campo

Después de cosechar todas las plantas, se registró el peso de las mazorcas con olote en Kilogramos.

3.7.8.2. Número total de mazorcas

Se registró la cantidad total de mazorcas cosechadas por surco. Una vez cosechadas todas las mazorcas se seleccionaron solo cinco de ellas considerando su homogeneidad de cada tratamiento, y se tomaron las variables que a continuación se describen:

3.7.8.3. Longitud de mazorca

Cada mazorca fue medida desde la base hasta la punta y se registró el valor promedio en centímetros de cada tratamiento.

3.7.8.4. Diámetro de mazorca

A cada mazorca se le midió la parte media utilizando un vernier, y se obtuvo el valor promedio.

3.7.8.5. Hileras por mazorca

Se contó el número de hileras de cada mazorca, y se obtuvo el valor promedio.

3.7.8.6. Granos por hilera

Se contó el número de granos de cada hilera de cada una de las mazorcas, y se obtuvo el valor promedio.

3.7.8.7. Granos por mazorca

Se obtuvo multiplicando el promedio de hileras de cada mazorca por el promedio de granos por hilera.

Una vez determinadas las variables anteriores, las cinco mazorcas fueron desgranadas para obtener las variables siguientes:

3.7.8.8. Diámetro de olote

Se tomaron los cinco olotes previamente desgranados, se midió la parte media con un vernier, se obtuvo el promedio.

3.7.8.9. Peso de 200 granos

Se contaron 200 granos; éstos se pesaron y se registró su peso en gramos.

3.7.8.10. Peso volumétrico

Se pesó el grano en una balanza de peso hectolitrico para obtener la relación de la muestra a un litro; Kg hl⁻¹.

3.7.8.11. Porcentaje de humedad

Se tomó una muestra de 250g, de las cinco mazorcas previamente desgranadas y mezcladas homogéneamente, con esta muestra se determinó el porcentaje de humedad de un determinador de humedad (marca Burrows, modelo 700).

3.7.8.12. Porcentaje de materia seca

Al 100% correspondiente al peso de 250g de grano, se le resto el valor obtenido del porcentaje de humedad, esto dio como resultado el porcentaje de materia seca, de cada uno de los tratamientos.

3.7.8.13. Porcentaje de grano

Se obtuvo con la siguiente formula:

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

3.7.8.14. Rendimiento de grano

Se obtuvo con la siguiente formula:

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

Dónde:

PC: Peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas de cada parcela en Kilogramos.

%MS: Porcentaje de materia seca, obtenida de la muestra de 5 mazorcas cosechadas.

%G: Porcentaje de grano, se obtiene del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las 5 mazorcas con olote multiplicado por cien.

FC: 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%; Kg ha⁻¹.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 7 y 8 se presentan los cuadrados medios y significancias obtenidas del análisis de varianza para las diferentes variables evaluadas en la producción de grano, de tres híbridos de maíz en dos localidades. Se observa que para la variable, rendimiento en los factores de variación ambiente y ambiente por densidad se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$), en cambio para el factor de variación genotipo se presentó diferencia altamente significativa ($P < 0.01$). Para la variable rendimiento el coeficiente de variación fue de 14.7% y la media general considerando, las dos localidades fue de 7053 kg ha⁻¹ (Cuadro 7).

En el factor de variación ambiente también se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables floración masculina, altura de planta, peso de 200 granos, así como diferencia significativa ($P < 0.05$) para la variable altura de mazorca, peso volumétrico y granos por mazorca (Cuadro 7).

En el factor de variación genotipo se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para la variable rendimiento, como ya se señaló, así como también diferencias significativas ($P < 0.05$) para granos por mazorca, altura de planta y peso de 200 granos. En el factor de variación densidades de población se detectó diferencia significativa ($P < 0.05$) para la variable floración masculina, para el resto de las variables no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 7). En los factores de variación ambiente por genotipo se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables floración masculina y peso volumétrico, no así en las otras variables.

Cuadro 7. Cuadrados medios y significancia estadística en las diferentes variables evaluadas para producción de grano en híbridos de maíz blanco, en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.

Variables	Ambiente	Bloque	Genotipos	Densidades	Ambiente x Genotipo
Rendimiento	5570544*	1190094	6394973**	86083	349129
Floración Masculina	448**	10.3**	1.3	6.25*	8.8**
Floración Femenina	400	8	5.4	2.77	6
Altura de Planta	17733**	131	543*	34	20
Altura de Mazorca	5700*	81	153.	84	6
Peso Volumétrico	4011*	694	1119	44	3619**
Peso de 200 granos	2368**	47	226*	59	22
Longitud de Mazorca	2.3	0.6	6.0	8	3.6
Granos por Mazorca	6453*	1657	5605**	3287.	811
Porcentaje de materia seca	116	3	3.2	8.1	2.22
Porcentaje de Grano	1	0.88	8.4	0	0.08

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística de las diferentes variables evaluadas para producción de grano en híbridos de maíz blanco, en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo primavera –verano 2014.

Variables	Genotipo x Densidad	Ambiente x Densidad	Ambiente x Genotipo x Densidad	Coficiente de Variación (%)	Media
Rendimiento	218230	8446192.19*	1955018.81	14.79	7053
Floración Masculina	0.33	0.25	0.33	1.38	85
Floración Femenina	0.44	1	0.333	2.05	85
Altura de Planta	55	210.25	125.08	4.52	269
Altura de Mazorca	83	367.36	15.36	12.97	119
Peso Volumétrico	719	400	308.33	3.08	756
Peso de 200 granos	51	215.11	6.77	11.76	64.16
Longitud de Mazorca	0.52	3.36	2.19	8.45	14.19
Granos por Mazorca	320	2844.44	1690.77	6.59	430
Porcentaje de materia seca	2.4	7.74	0.55	2.15	86.84
Porcentaje de Grano	1.8	7.11	3.36	2.03	86.05

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente significativo al 0.01de probabilidad de error.

En los Cuadros 9 y 10 se muestra la comparación de medias entre las dos localidades, para determinar la productividad de grano, se encontró que para la variable rendimiento de grano la localidad FESC fue superior estadísticamente (7446 kg ha^{-1}), con respecto a la localidad CEVAMEX – INIFAP, en la cual se obtuvo un rendimiento de 6659 kg ha^{-1} (Cuadro 9), lo anterior se podría deber a la fertilidad propia y calidad del suelo en la FESC, en donde presenta un elevado contenido de arcilla, lo que le permite retener mayor humedad, en contraste con CEVAMEX, en donde el suelo es arenoso y tiene baja retención de humedad.

Por lo que respecta a las floraciones masculina y femenina, en la FESC UNAM ambas variables se expresaron siete días después que en CEVAMEX. De manera similar el peso de 200 granos, granos por mazorca y porcentaje de materia seca fueron superiores ($P < 0.05$) en 29, 6 y 5%, respectivamente, en la FESC en comparación con CEVAMEX. Para las variables altura de planta, altura de mazorca y peso volumétrico, los valores medios, considerando los tres híbridos y las densidades de población, en INIFAP fueron superiores, estadísticamente, a los que ocurrieron en la FESC UNAM (Cuadros 9 y 10). En la comparación de medias para las variables longitud de mazorca y porcentaje de grano, no se detectaron diferencias estadísticas significativas, por lo que su comportamiento fue similar en ambos ambientes.

Cuadro 9. Comparación de medias para determinar la productividad de grano, de híbridos de maíz blanco, en dos ambientes (FESC y CEVAMEX) bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Ambiente	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Floración Masculina (días)	Floración Femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
FES-C	7446 a	88 a	89 a	247 b	107 b
INIFAP	6659 b	81 b	82 b	291 a	132 a
D.S. H. (0.05)	725	1	1	8	11

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes ($P < 0.05$).

DSH=Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$).

Cuadro 10. Comparación de medias para determinar la productividad de grano, de híbridos de maíz blanco, en dos ambientes (FESC y CEVAMEX) bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Ambiente	Peso volumétrico (kg /hl)	Peso de 200 granos (g)	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Porcentaje de materia seca	Porcentaje de Grano
FES-C	746 b	72 a	14 a	444 a	89 a	86 a
INIFAP	767 a	56 b	14 a	420 b	85 b	86 a
D.S.H. (0.05)	16	5.25	0.83	20	1	1

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes ($P < 0.05$).

DSH=Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$).

En los Cuadros 11 y 12 se presenta la comparación de medias entre híbridos para determinar la productividad de grano, se encontró, que para la variable rendimiento de grano el híbrido H 53 AE fue superior estadísticamente (7880 kg ha⁻¹) a los híbridos Tsiri Puma (6782 kg ha⁻¹) y H 47 AE (6497 kg ha⁻¹), estos dos últimos presentaron valores similares entre sí. Sin embargo, los rendimientos obtenidos en esta investigación fueron inferiores a los rendimientos comerciales señalados por Espinosa *et al.* (2010) y Tadeo *et al.* (2016) para estos materiales, lo que pudo ser consecuencia de que la siembra se realizó tardíamente.

Para las variables longitud de mazorca y granos por mazorca el híbrido H 53 AE fue superior (P<0.05) en 7 y 11% con respecto al Tsiri Puma y no fue diferente al H 47 AE. En altura de planta el Tsiri PUMA fue superior al H 53 AE e igual al H 47 AE y para peso de 200 granos el H 53 AE fue superior en 13% al H 47 AE y no fue diferente al Tsiri Puma.

Cuadro 11. Comparación de medias entre híbridos (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Genotipo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Floración Masculina (días)	Floración Femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
Tsiri PUMA	6782 b	84 a	86 a	275 a	118 a
H 53 AE	7880 a	85 a	87 a	262 b	116 a
H 47 AE	6497 b	85 a	85 a	269 a b	123 a
D.S.H.(0.05)	1078	1	2	12	16

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

Cuadro 12. Comparación de medias entre híbridos (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Genotipo	Peso volumétrico (kg /hl)	Peso de 200 granos (g)	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Porcentaje de materia seca (%)	Porcentaje de Grano (%)
Tsiri PUMA	765 a	65 a, b	14 b	407 b	86 a	86 a
H 53 AE	758 a	68 a	15 a	450 a	87 a	85 a
H 47 AE	745 a	60 b	14 a, b	435 a, b	87 a	87 a
D.S.H.(0.05)	24	8	1	5	1	2

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En los Cuadros 13 y 14 se presenta la comparación de medias entre las densidades población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹), para determinar la productividad de grano, se observa que para la variable rendimiento no se encontraron diferencias estadísticas. Con la densidad de 95,000 plantas ha⁻¹ se presentó un día de anticipación la floración masculina con respecto a la densidad de 70,000 plantas ha⁻¹, y en contraste la longitud de mazorca fue mayor (P<0.05) con 70,000 plantas ha⁻¹. Para el caso de las otras variables evaluadas no se presentaron diferencias estadísticas. Los resultados coinciden con los de Sánchez, 2017, quién evaluó los mismos híbridos (H 53 AE, Tsiri PUMA y H 47 AE) y tampoco obtuvo diferencias de rendimiento entre las diferentes densidades evaluadas, debido a lo anterior no se justifica utilizar 95000 plantas ha⁻¹, ya que el rendimiento fue similar que cuando se establecieron 70000 plantas ha⁻¹ e implicaría mayores costos de producción utilizar una alta densidad.

Cuadro 13. Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹), para las variables evaluadas para determinar la productividad de grano, considerando la media de las dos localidades y la media de tres híbridos. Ciclo primavera-verano, 2014.

Densidad Plantas ha ⁻¹	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Floración Masculina (días)	Floración Femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
70,000	7102 a	84 b	85 a	268 a	118 a
95,000	7004 a	85 a	86 a	270 a	121 a
D.S.H. (0.05)	725	1	1	9	11

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

Cuadro 14. Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹), para variables evaluadas para determinar la productividad de grano, considerando la media de dos localidades y la media de tres híbridos. Ciclo primavera-verano 2014.

Densidad Plantas ha ⁻¹	Peso volumétrico (kg /hl)	Peso de 200 granos (g)	Longitud de mazorca (cm)	Granos por mazorca	Porcentaje de materia seca	Porcentaje de Grano
70,000	757 a	65 a	15 ^a	440 a	87 a	86 a
95,000	755 a	63 a	14 b	421 a	86 a	86 a
D.S.H.(0.05)	16	5	1	20	1	1

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En los Cuadros 15 y 16, se presentan los cuadrados medios y significancias obtenidas en los análisis de varianza realizados a las diferentes variables evaluadas para producción de forraje de tres híbridos de maíz, en dos localidades, bajo dos densidades de población. Se observa que para las variables rendimiento de forraje en materia verde y en materia seca existieron diferencias (P< 0.01) entre ambientes y entre densidades de población, no así para ningún otro factor de variación, ni tampoco en las interacciones. En rendimiento el coeficiente de variación fue de 13 % y la media general, considerando las dos localidades, los tres híbridos y las dos densidades de población fue de 55,288 kg ha⁻¹. Para las otras variables evaluadas no se presentaron diferencias estadísticas (Cuadros 15 y 16).

El coeficiente de variación para rendimiento de forraje en verde es adecuado, debido a que este valor es resultado del comportamiento productivo que presentaron los híbridos evaluados en dos ambientes contrastantes en suelos y a que fueron establecidos en dos diferentes densidades de población, lo que probablemente ocasiono una mayor variación en los resultados.

Cuadro 15. Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de forraje, y factores de variación de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera-verano 2014.

Variables	Ambiente	Bloques	Densidad de población	Tratamiento	Ambiente x densidad
Rendimiento en forraje verde	1166017609 **	32316724	447364801**	71549534	539245
Porcentaje de materia seca	1324**	5	1.2	5.2	3.1
Rendimiento en materia seca	102268724 **	3558996	47087502*	6928562	74147
% M.C.A	24	79	25	160	284

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error.

**Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.

Cuadro 16. Cuadrados medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de forraje, y factores de variación de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera-verano 2014.

Variables	Ambiente tratamiento	Densidad x tratamiento	Ambiente x Densidad x tratamiento	Coefficiente de variación (%)	Media
Rendimiento de forraje verde	61455714	34510148	76575868	13	55288
Porcentaje de materia seca	0.9	19	10	8.4	30
Rendimiento en materia seca	8425101	4973373	1979038	15	16135

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error.

**Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.

En el Cuadro 17 se presenta la prueba de comparación de medias en los dos diferentes ambientes, considerando la media de los tres híbridos y las dos densidades de población. En el ambiente de CEVAMEX-INIFAP se obtuvo un rendimiento de forraje en verde superior ($P < 0.05$) 23% con respecto al obtenido en la FESC. En contraste, para rendimiento en forraje seco, en la FESC se obtuvo un rendimiento mayor en 23% ($P < 0.05$) con respecto al obtenido en CEVAMEX INIFAP, esto se debió a que la humedad de cosecha, fue mayor en INIFAP con un valor de 76% y en la FESC fue de 64%. Al

respecto Bagg (2001) menciona que no es conveniente cosechar el maíz para ensilar con humedades superiores al 70%, debido a se reduce el rendimiento de ensilado y conduce a la aparición de *Clostridium* sp. Y si se cosecha con humedades inferiores a 62% hay una pobre exclusión del aire durante el proceso de compactación del ensilado lo que conduce a una fermentación pobre y calentamiento. Para la variable porcentaje de mazorca no se presentaron diferencias entre los dos ambientes.

Cuadro 17. Comparación de medias entre ambientes (FESC y CEVAMEX), para variables evaluadas para determinar la productividad de forraje considerando la media de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Ambiente	Rendimiento forraje verde (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de Materia seca	Rendimiento de Forraje seco (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de Mazorca
FES-C	49597 b	36 a	17820 a	38 a
INIFAP	60980 a	24 b	14450 b	36 a
D.S. H. (0.05)	4915.9	2	1708	8

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

Al comparar las dos densidades de población de plantas (Cuadro 18) se observó que fue mayor el rendimiento en forraje verde y en materia seca en 14 y 15%, con la densidad de 95,000 plantas ha⁻¹ con respecto a la de 70,000. En porcentaje de mazorca no se presentaron diferencias (P< 0.05). Este incremento en la densidad de población permitió obtener mayor cobertura y una mayor producción de biomasa dentro del ciclo del cultivo y el porcentaje de mazorca no vario entre densidades lo que es un indicador de que la planta no sufrió estrés durante su desarrollo. Peña *et al.* (2006) obtuvieron 2.25 ton ha⁻¹ de incremento en rendimiento de materia seca al pasar de 60 000 a 80 000 plantas ha⁻¹, en este experimento el aumento en rendimiento al pasar de 70 000 a 95 000 plantas ha⁻¹ fue de 2.28 ton ha⁻¹.

Cuadro 18. Comparación de medias entre densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹), para productividad de forraje considerando la media de los híbridos de maíz blanco, en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera –verano 2014.

Densidades	Rendimiento forraje verde (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de Materia seca	Rendimiento en materia seca (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de mazorca
70,000	51763 b	29 a	14991 b	36 a
95,000	58814 a	30 a	17279 a	38 a
D.S. H. (0.05)	4916	2	1708	8

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En el Cuadro 19 se muestra la comparación de medias entre los genotipos de maíz utilizados, para las variables evaluadas para determinar la productividad de forraje fresco. Se observa que no existieron diferencias significativa entre los tres genotipos evaluados para las diferentes variables, pero cabe resaltar que existió una diferencia numérica en la variable rendimiento de forraje de 4,498 kilogramos lo que representó un 9% más en el híbrido Tsiri PUMA con relación al genotipo H 47 AE, así mismo entre los híbridos H 47 AE y el H53 AE existió una diferencia de 3,897 kilogramos lo que representó un 7%. Para la variable de forraje seco existió una diferencia de 1,520 kilogramos entre los híbridos H 53 AE y H 47 AE, así mismo para los híbridos H 47 AE y Tsiri PUMA de 787 kilogramos, lo que representó un incremento en forraje de 10 y 5% más.

Cuadro 19. Comparación de medias entre híbridos de maíz (Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE) para variables evaluadas para determinar la productividad de forraje fresco y seco considerando la media de dos densidades de población, y dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2014.

Tratamientos	Rendimiento forraje verde (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de Materia seca	Forraje seco (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de mazorca
Tsiri PUMA	56988 a	29 a	16153 a	34 a
H 53 AE	56387 a	30 a	16886 a	37 a
H 47 AE	52490 a	30 a	15366 a	41 a
D.S. H. (0.05)	7302	2	2537	12

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En los Cuadros 20 y 21 se presentan los cuadrados medios y significancia estadística de los resultados de los análisis de varianza para la producción de rastrojo. En la variable de rastrojo húmedo se tuvieron diferencias ($P < 0.01$) en los factores de ambiente y bloque, mientras que para la variable de porcentaje de materia seca el factor ambiente obtuvo diferencias ($P < 0.01$). Para los demás factores no se presentaron diferencias.

Cuadro 20. Cuadros medios y significancia estadística para las diferentes variables evaluadas para producción de rastrojo y factores de variación de los híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos localidades de Valles Altos. Ciclo primavera-verano 2014.

Variables	Ambiente	Bloque	Densidad	Tratamiento	Ambiente x densidad
Rastrojo húmedo	63560756**	84525612**	17899951	4353172	72451
Porcentaje de materia seca	136863559**	44643701	20053290	255177	659571

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.

Cuadro 21. Cuadros medios y significancia estadística para producción de rastrojo de híbridos de maíz blanco, bajo dos densidades de población en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.

Variables	Ambiente x tratamiento	Densidad x tratamiento	Ambiente x densidad x tratamiento	Coficiente de variación	Media
Rastrojo húmedo	4546706	16026505	5589359	18	14584
Porcentaje de materia seca	7895291	21266157	13321849	24	12084

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.

En el Cuadro 22 se presenta la comparación de medias entre los ambientes evaluados, para las variables evaluadas para determinar la productividad de rastrojo. En el ambiente de la FESC en comparación con el ambiente del INIFAP se obtuvieron rendimientos mayores ($P < 0.05$) en 20 y 38% de forraje verde así como de materia seca.

Cuadro 22. Comparación de medias para determinar rendimiento de rastrojo en dos ambientes y dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2014.

Ambiente	Rendimientos de rastrojo en campo (kg ha ⁻¹)	Rendimientos de rastrojo en materia seca (kg ha ⁻¹)
FESC	15913 a	14034 a
INIFAP	13256 b	10134 b
D.S. H. (0.05)	1829	1976

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En el Cuadro 23 se presenta la comparación de medias entre las densidades de población utilizadas, para las variables rendimiento de rastrojo verde y rastrojo seco, en donde no hubo diferencias estadísticas, sin embargo con la densidad de 70,000 plantas ha⁻¹ se obtuvieron valores más altos en 1,410 kg de forraje verde y 1,493 kg en materia seca con relación a la densidad de 95,000 plantas. Por lo cual la densidad de población que se recomendaría utilizar sería la de 70,000 ya que así se evitaría hacer una mayor inversión en insumos al establecer altas densidades de población.

Cuadro 23. Comparación de medias para determinar rendimiento de rastrojo bajo dos densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹), en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.

Densidades	Rendimientos de rastrojo en campo (kg ha ⁻¹)	Rendimientos de rastrojo en materia seca (kg ha ⁻¹)
70,000	15289 a	12830.0 a
95,000	13879.2 a	11337.3 a
D.S. H. (0.05)	1829.1	1976.3

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

En la prueba de comparación de medias de las diferentes variables evaluadas para determinar producción de rastrojo (Cuadro 24), se observa que los tres híbridos se comportaron de manera similar, sin embargo, su rendimiento en rastrojo fue más alto en relación al que obtuvieron Muñoz *et al* (2016), en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México, quienes reportaron rendimientos de 6 a 8 ton ha⁻¹.

Cuadro 24. Comparación de medias entre híbridos de maíz blanco, Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE, para variables evaluadas para determinar la productividad de rastrojo considerando la media de densidades de población, así como dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.

Genotipos	Rendimientos de rastrojo en campo (kg ha ⁻¹)	Rendimientos de rastrojo en materia seca (kg ha ⁻¹)
Tsiri PUMA	15188 a	12236 a
H-53 AE	14581 a	11945 a
H- 47 AE	13984 a	12070 a
D.S. H. (0.05)	2717	2935.6

a,b= Medias con distinta literal en una misma columna son diferentes (P<0.05).

DSH=Diferencia honesta significativa (P<0.05).

V.CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos y las hipótesis planteadas se concluye que el híbrido H 53 AE es el más recomendable para los productores de Valles Altos de México ya que obtuvo un mayor rendimiento en grano con respecto a Tsiri Puma y H 47 AE.

En la localidad de la FESC se obtuvo un rendimiento de grano mayor que en CEVAMEX INIFAP y no se presentaron diferencias estadísticas entre las densidades de población establecidas.

En rendimiento de forraje verde los tres híbridos evaluados no presentaron diferencias estadísticas.

La mejor densidad fue la de 95,000 plantas ha^{-1} con un rendimiento de 58.8 ton ha^{-1} superando a la de 70,000 plantas en 7 ton ha^{-1} .

En la localidad CEVAMEX INIFAP se obtuvo un rendimiento superior para la variable de forraje verde.

En forraje seco o rastrojo, los tres híbridos evaluados no presentaron diferencias estadísticas. Entre ambientes se presentaron diferencias estadísticas en rendimiento de rastrojo y fue superior en la FESC (17,820 kg ha^{-1}) al del CEVAMEX INIFAP (14,450 kg ha^{-1}). Para densidades de población no presentaron diferencias estadísticas en rendimiento de rastrojo.

Considerando los resultados anteriores, el híbrido más apropiado para producción de grano, forraje y rastrojo en Valles Altos de México es el H 53 AE; la densidad de población recomendada es la de 70,000 plantas ha^{-1} debido a que registró rendimientos similares, en grano y rastrojo, a los obtenidos con la densidad de 95,000 plantas ha^{-1} , por lo que no se justifica que se realice una mayor inversión en insumos.

Se debe evaluar si es rentable para el productor incrementar en 8 toneladas el rendimiento de forraje verde al establecer una densidad de 95,000 plantas ha^{-1} .

VI. LITERATURA CONSUTADA

Améndola, M. 2016. Conservación de alimentos para pequeños rumiantes. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco México.

Bagg, J. 2001. Harvesting corn silage at the right moisture. Available at www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/harvesting_corn.htm (verified 4 Apr. 2006). Ontario Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs, Queen's Park, ON, Canada.

Bolaños, J. G. 1990. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*.

Bonilla, M. N. 2009. Manual de recomendaciones técnicas cultivo de maíz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria INNTA. San José Costa Rica. Pp155.

Collins, M., Owens, J.F 2003. Forage quality. Pp. 363-390. Barnes, F. R., J. Nelson C., M. Collins and K Moore J. Forage: An Introduction to grassland Agriculture.

Cattani, P. A., 2011, "Henificación, conservación de forrajes", Sitio Argentino de Producción Animal [en línea]. Disponible en www.produccion-animal.com.ar Portal TodoAgro.com.ar. Consultado el día 15 de Noviembre del 2017.

Carrillo, T. C., 2009. El origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica. *Revista Ciencias*, Núm. 92 - 93, octubre-marzo, 2009. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cirilo, G. A., (1999). Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la Densidad y Distancia entre Surcos en Maíz. INTA Pergamino, Buenos Aires. Pp: 128-133.

Cobos P M. 2017 "Técnicas de ensilaje y construcción de silos forrajeros". Ficha técnica de agronegocios Pecuarios Especialidad de Ganadería. Colegio de Postgraduados [en línea]. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/>

Documents /fichas COUSSA/Silos%20Forrajeros.pdf. Consultado el día 15 de Noviembre del 2017.

Conabio, 2011. "Razas de maíz en México", [en línea]. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html> consultado el día 27 de Noviembre del 2017.

Cruz, S., Gómez, M., 2014. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Campo mexicano, SIAP. pp. 26-27.

Damián-Huato, M. A., Ramírez V, B., Aragón G, A., Huerta L, M., Sangerman J, D. M., Romero A, O. 2010. Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 6(2):67-76.

Deras, F.H 2011.El cultivo de maíz. Guía técnica. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal CENTA. El Salvador.

Espatia, R. E., Villaseñor, M. H., Limón, O. A., Pérez, H. P., Huerta, E. J., Rivera, R. C., 2002. Tecnología para la producción de avena grano- forraje para siembras de temporal en la mesa central. Folleto para productores No1 INIFAP- CIR –CENTRO. Campo experimental valle de México. pp 7, 8

Espinosa, C., Tadeo, R., Turrent, F., Sierra, M., Gómez, M., Zamudio, G., 2012. Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para valles altos de México. Revista Agronomía mesoamericana. 24(1): 93-99.

Espinosa, C. A., Tadeo, R., Gómez, M., Sierra, M., Virgen, V., Palafox, C., Caballero, H., Arteaga, E., Canales, I., 2010. H-47 AE Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. Memoria Técnica 11. Pp. 15-16. Estado de México: CEVAMEX- INIFAP.

Espinosa, C. A., Tadeo, R., Gómez, M., Sierra, M., Virgen, V., Palafox, C., Caballero, H., Arteaga, E., Canales, I., Zamudio, G., 2010. H-53 AE Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos y zona de Transición. Memoria Técnica 11. pp.17- 18. Estado de México: CEVAMEX- INIFAP.

Excelsior, 2014. "Consume cada mexicano 90 kilos de tortillas al año" [en línea]. Disponible en <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/09/19/982604>. Consultado el 15 de Noviembre del 2017.

Faiguenbaum, H. 1990. Crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz. Técnicas de producción de maíz. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Vegetales, Santiago, Chile. pp. 51-57.

Garcés M, A., Berrio R. L., Ruíz A, S., Serna L, J., Builes A, A 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado Revista Lasallista de Investigación. 1(1):66-71.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 246 p.

González, C. F., Peña, R., Núñez, H., Jiménez, G., 2005. Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. [en línea] 28(4):393-397. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028413>. Consultado el día 27 de Noviembre del 2017.

Hagg, T. F., 2012. Capacidad productiva de híbridos trilineales de maíz amarillo de ciclo intermedio para los Valles Altos. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola FES C, UNAM. Campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 18.

INIFAP, 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP. México.

López, L. C., 2014. Productividad de Grano y Forraje en dos densidades de población de Híbridos de maíz androesteriles y fértiles. Tesis de licenciatura, Ingeniería Agrícola FES C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México. 49 p.

Kang S M, Kushairi D A, Zhang Y, Magari R. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maíz. *Crop Sci.* 39: 368-371.

López-López, C., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J. J., Benítez-Riquelme, I., Vázquez-Carrillo, G., Carrillo-Salazar, J. A. 2017. Productividad de cruza simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 8 (3):559-570.

Luna, G. M. J., Ramírez, J. M. A, Alarcón Z.B. 2009. Evaluación de rendimiento, calidad y composición botánica de asociaciones y monocultivos. *Revista Chapingo.* pp. 2, 3.

Luna, V. A., 2008. Productividad de híbridos obtenidos de cruza elite de textura dentada por líneas de maíz palomero. Tesis de licenciatura Ingeniería Agrícola FES C, UNAM, campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 43- 44

Manera, C. 1998. Evaluación del rendimiento en materia verde y materia seca de híbridos de maíz con fines forrajeros en valles altos”. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola FES C. UNAM. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 13- 19

Martínez, N. B., 2014. Comparación de la capacidad productiva de versiones androestéril y fértil de nuevos híbridos de maíz. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola FES C, UNAM, campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 7-20.

Mendoza, M. E., Mosqueda, V., Rangel, L. J., López, B. A., Rodríguez, H. S., Latournerie, M. L., Moreno, M. E., 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. Revista Agricultura Técnica en México. 32(1):89-99.

Mezzadra, M., 2014. "Maíz: El peor commodity. Carta Financiera". [En línea]. Disponible en <http://www.cartafinanciera.com/commodities/maiz-el-peor-commodity-de-2013/>. Consultado el 15 de Noviembre del 2017.

Morales, R., 2016. "México, principal destino de los envíos de maíz de EU". El Economista, [en línea]. Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-principal-destino-de-los-envios-de-maiz-de-EU-20160908-0123.html>. Consultado el 15 de noviembre del 2017.

Morales. R. A., Morales. R. E., Franco. M. O., Mariezcurrena. B. D., Estrada. C. G., Norman. M. T., 2014. Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(1): 1425-1431.

Muñoz, T. F., Guerrero, R. J., López, P. A., Gil, M. A., López, S., Ortiz, T. E., Hernández, G. J., Taboada, G., Vargas, L. S., Valadez, R. M., 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los Valles Altos de Libres-Serdán, Puebla, México. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 4(4):515-530

Núñez, L., 2013. "Producción de maíz en México y el mundo". El Economista, [en línea] Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Produccion-de-maiz-en-Mexico-y-el-mundo--20130211-0013.html>. Consultado el día 15 de noviembre del 2017.

Núñez, H. G., Faz, C., González, C., Peña R., 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Revista de ciencia Pecuarias*. 43(1): 69-78.

Peña, R. A., González, C. F Robles, E. F. 2010. Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*

Peña R. A., González, C. F., Núñez, H. G., Maciel, P. L. 2006. Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fechas de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40(1):179-182.

Ramírez, L. F., 2001. Adaptabilidad y capacidad productiva de híbridos puma en valles altos. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola FES C campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. 63(1):264-268.

Ramírez, P C, Ruiz S.1999. La importancia de la calidad del forraje y el silaje. *Sitio argentino de producción animal. Silaje de Maíz y Sorgo Granífero, Act. Téc. 2: 23-28.*

Regeneración, 2010. "Maíz: nuestro alimento sagrado". [En línea]. Disponible en <https://regeneracion.mx/maiz-nuestro-alimento-sagrado/>. Consultado el 15 de noviembre del 2017.

Reta, S. D., Gaytán, M. A., Carrillo, A. J., 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23 (1): 37- 47.

Reyes M, Camacho V C, Guevara H 2013, rastrojos, manejo uso y mercado en el centro y sur de México, Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Pabellón. Libro Técnico Núm. 7. pp. 12

Romero, L., Aronna, S., 2004. Siembra de maíz para silaje. Proyecto Regional de Lechería Campaña de Forrajes Conservados 2003-2004 INTA – EEA Rafaela. pp. 1-4.

Ruiz, O.; Beltrán, R.; Salvador, F.; Rubio, H.; Grado, A.; Castillo, Yamicela. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 40 (1):91-96.

Sánchez, R.M. (2017). Densidad de población para determinar el mejor rendimiento de nuevos híbridos de maíz liberados por en INIFAP y UNAM de Valles Altos. Tesis de licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola FES C, UNAM, campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 20-21.

SAS Institute. 2001. SAS User's Guide. Release 8.1. 6th ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 956 p.

SIAP, 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <https://www.gob.mx/siap>. Consultado el día 20 de Diciembre del 2016.

Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Guzmán, M. R.; Turrent, F. A.; Zaragoza, E. J. y Virgen, V. J. 2015. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. Revista Agronomía. Mesoamericana. 26 (1):65-72.

Tadeo, R., Espinosa, C., Zaragoza, E., Turrent, F., Sierra, M., Gómez, M., 2012. Forraje y grano de híbridos de maíz amarillos para valles altos de México. Revista Agronomía Mesoamericana. pp. 281-288.

Tadeo R M., Espinosa C, A. Turrent F. B., Zamudio G. M., Sierra M, N., Gómez M. R. Valdivia B., Virgen V. 2014. Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5:883-891.

Tadeo, R.M., Espinosa, C., Garcia, Z., Lobato, O., Gómez, M., Sierra, M., Valdivia, B., Zamudio, G., Martínez, B., López, L. C., Mora, G. K., Canales, I. E., Zaragoza, E. J. 2016. Tsiri Puma, Híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Revista Fitotecnia Mexicana. 39 (3): 331-336.

Tadeo R M., Espinosa C, García, Z. J., Lobato O, N. Gómez M, M. Sierra M, R. Valdivia B, B. Zamudio G. B. Martínez Y, López L, C Y. Mora G, K. Canales I E., Cárdenas-M, Zaragoza E 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.

Tadeo R. M., Espinosa C, A., Chimal N., Arteaga E I., Trejo P V., Canales I E., Sierra M M., Valdivia B, R, Gómez M, N., Palafox C, A., Zamudio G, B., 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. Revista Terra Latinoamericana. 30 (2):157-164.

Vázquez, G. C., Mejía, A. H., Salinas, M. Y., Santiago, R. D., 2013. Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 36 (3): 225 –232.

Virgen V J, Zepeda B R, Ávila P M, Espinosa C A, Arellano V J,. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en valles altos de México revista Agronomía Mesoamericana. 27,(1): 191-206.