



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

DENSIDAD DE SIEMBRA Y CRECIMIENTO DE MAÍCES FORRAJEROS EN
LOMA BONITA, OAXACA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ZOOTECNIA

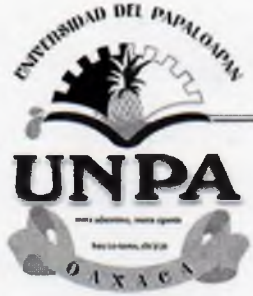
PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO CONTRERAS ROSALES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2017.



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

LA PRESENTE TESIS TITULADA “**DENSIDAD DE SIEMBRA Y CRECIMIENTO DE MAICES FORRAJEROS EN LOMA BONITA, OAXACA**”, PRESENTADA POR EL PASANTE C. JOSÉ ALFREDO CONTRERAS ROSALES BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

JURADO EXAMINADOR

DR. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR

DRA. GLADIS MORALES TERÁN

REVISOR

M.C. JULIAN COTERA RIVERA

REVISOR

M.C. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ

REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2017.

DEDICATORIA

A mi padre: Toribio Contreras González, por su apoyo, paciencia e insistencia de que lograra un título profesional y de enseñarme aspectos importantes que me formaron como una persona de bien.

A mi madre: Alba Rosales Hernández por el cariño, amor y dedicación que tiene para ser una madre ejemplar y así estar al tanto de nuestras necesidades y apoyarme siempre en mis decisiones.

A mi hermana: Livy Madián Contreras Rosales por ser una hermana cariñosa.

A mi esposa: Elizabeth Rivera Hernández quien me brindó su apoyo en momentos difíciles.

A toda la familia: En general a la familia Contreras-Rosales que de manera indirecta y directa contribuyeron a este logro tan importante para mí.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a **JEHOVA DIOS** por haberme permitido llegar a este punto tan importante de mi vida, y por haberme guiado a lo largo de la carrera, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y llenar mi vida de aprendizajes, experiencias y felicidades.

A mi *alma mater*: la **Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita** por abrirme sus puertas y permitirme realizar mis estudios.

En especial a mi director de tesis el **Dr. Miguel Angel Sánchez Hernández** por haberme brindado esta oportunidad y por ser parte fundamental en esta tesis. Por su tiempo, dedicación, confianza y esfuerzo, gracias.

A mis revisores **M.C. Julián Cotera Rivera, Dra. Gladis Morales Terán y M.C. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez**, por su contribución, tiempo, dedicación y apoyo en la realización de esta tesis.

Al programa de maíz de **INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla**, Veracruz, México, a través de los investigadores **Mauro Sierra Macías y Artemio Palafox Caballero** por los genotipos otorgados para la realización de este trabajo.

En general a todos mis profesores y en especial a **M.C. Nicolás Valenzuela Jiménez e Ing. Cesar Herrera Fuentes** que durante el transcurso de mi carrera contribuyeron enormemente con sus conocimientos y experiencias en mi formación tanto académica como personal.

A mis compañeros de generación, en especial a **Juan, Calipso y Nayeli** gracias por hacer de mi estancia en la Universidad más agradable y amena, por su amistad, consejos y apoyo. De igual forma a los que no pudieron concluir esta carrera pero también fueron parte importantísima: **Emilio Hernández y Marco Antonio Reyes**, Gracias.

NDICE

	PÁGINA
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. HIPÓTESIS	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. Características botánicas del maíz.....	7
4.1.1. Raíz.....	7
4.1.2. Tallo.....	8
4.1.3. Hojas.....	8
4.1.4. Flores.....	8
4.1.5. Fruto.....	9
4.2. Importancia del maíz.....	9
4.2.1. Importancia del maíz en el mundo.....	9
4.2.2. Producción de maíz en México.....	11
4.2.3. Producción de maíz en Oaxaca.....	12
4.3. Condiciones agronómicas requeridas por el cultivo de maíz.....	13
4.3.1. Temperatura.....	13
4.3.2. Suelo.....	14
4.3.3. Agua.....	14
4.3.4. Luz y fotoperiodo.....	15
4.3.5. Altitud y latitud.....	16

4.4. Etapas fenológicas del maíz.....	17
4.5. Manejo agronómico del cultivo de maíz.....	19
4.5.1. Preparación del terreno.....	19
4.5.1.1. Labranza convencional.....	21
4.5.1.2. Labranza mínima.....	22
4.5.1.3. Labranza de conservación.....	22
4.5.2. Selección de semillas.....	23
4.5.2.1. Variedades de polinización libre.....	24
4.5.2.2. Híbridos.....	24
4.5.3. Cantidad de semilla para la siembra.....	24
4.5.4. Prueba de germinación.....	25
4.5.5. Siembra.....	25
4.5.5.1. Fechas de siembra.....	25
4.5.5.2. Densidades de siembra.....	26
4.5.5.3. Distancia de siembra.....	27
4.5.5.4. Métodos de siembra.....	28
4.5.6. Control de malezas.....	30
4.5.6.1. Principales malezas que compiten con maíz.....	32
4.5.6.2. Métodos para el control de malezas.....	33
4.5.7. Fertilización.....	38
4.5.7.1. Nitrógeno.....	39
4.5.7.2. Fósforo.....	40
4.5.7.3. Potasio.....	41
4.5.7.4. Otros nutrimentos.....	42
4.6. Genotipos de maíz adaptados a trópico húmedo en México.....	43
4.6.1. H-520.....	43
4.6.2. H-564C.....	44
4.6.3. A7573.....	44
4.6.4. VS-536.....	45
4.7. Factores que afectan el rendimiento de maíces forrajeros.....	45
4.7.1. Densidad de siembra.....	45

4.7.2. Efecto del sol y la temperatura.....	46
4.7.3. Fecha de siembra.....	47
4.7.4. Estado de madurez.....	48
4.7.5. Aporte de agua.....	49
4.7.6. Variabilidad genética.....	51
4.7.6.1. Selección de híbridos de maíz para forraje.....	52
4.7.6.2. Híbridos de maíz de alto rendimiento en forraje....	53
4.8. Componentes de crecimiento del cultivo de maíz.....	54
4.8.1. Altura de planta.....	54
4.8.2. Área foliar total.....	54
4.8.3. Índice de área foliar.....	54
4.8.4. Diámetro de tallo.....	54
4.8.5. Días a floración masculina.....	54
4.8.6. Días a floración femenina.....	55
4.9. Componentes de rendimiento del cultivo de maíz.....	55
4.9.1. Número de elotes por planta.....	55
4.9.2. Rendimiento forrajero.....	56
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
5.1. Localidad de evaluación.....	58
5.2. Material genético.....	58
5.3. Tratamientos, diseño y parcela experimental.....	59
5.4. Manejo de los experimentos.....	60
5.5. Variables registradas.....	61
5.5.1. Crecimiento.....	61
5.5.2. Rendimiento.....	62
5.5.3. Análisis estadístico.....	62
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
6.1. Análisis de varianza.....	63
6.2. Análisis de crecimiento.....	65
6.3. Análisis de rendimiento.....	73

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
7.1. Conclusiones.....	79
7.2. Recomendaciones.....	80
8. LITERATURA CITADA	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Principales etapas fenológicas del cultivo de maíz.....	17
2	Genotipos de maíz evaluados por su potencial forrajero en Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 y 2009.....	59
3	Cuadrados medios de nueve caracteres en maíces forrajeros. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	64
4	Días a floración masculina y femenina en maíz forrajero para los experimentos uno, dos y el combinado. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	68
5	Prueba de comparación de medias de nueve caracteres en promedio de tres densidades de siembra para genotipos de maíz evaluados como forrajeros. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Altura de planta de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas ha ⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	66
2	Altura de planta (cm) en tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas ha ⁻¹) en promedio de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	66
3	Altura de planta de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	66
4	Comportamiento de la temperatura (°C) y precipitación (mm) en Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007, 2008 y 2009..	67
5	Área foliar (cm ²) de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en promedio de tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha ⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	70
6	Área foliar (cm ²) en tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha ⁻¹) en promedio de genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	70
7	Área foliar de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz, en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha ⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	70

Figura		Página
8	Índice de área foliar de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en promedio de tres densidades de siembra. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	72
9	Índice de área foliar en tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea) en promedio de genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	72
10	Índice de área foliar de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz, en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	72
11	Rendimiento en forraje de genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por ha ⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.....	74
12	Rendimiento en forraje de diferentes genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Noviembre de 2007 a Febrero de 2008 (E ₁).....	76
13	Rendimiento en forraje de diferentes genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Enero de 2008 a Abril de 2009 (E ₂).....	77

RESUMEN

En Loma Bonita, Oaxaca, México, se realizó un estudio con el objetivo de identificar genotipos de maíz con potencial forrajero. Un primer trabajo (E₁) se hizo de nov-2007 a feb-2008, evaluándose los genotipos H-520, HE-1A17, HE-2A15, V-556AC, VS-536, A7573 y un criollo, en tres densidades (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹) y cuatro repeticiones. En el segundo ensayo (E₂) (ene-abr. 2009) se prescindió del HE-1A17 y HE-2A15, anexando el H-564C. Los tratamientos fueron la combinación de genotipos y densidades, en un diseño de bloques al azar en parcelas divididas. Se evaluaron diferentes variables de crecimiento y rendimiento. Se hicieron análisis de varianza por experimento, el combinado y comparación de medias por Tukey (P≤0.05). El criollo en promedio de densidades presentó la mayor altura de planta (E₁=247, E₂=216 cm), área foliar total (E₁=5834, E₂=7516 cm²) e índice de área foliar (IAF) (E₁=3.8; E₂=4.9), diámetro de tallo (E₁=6.6; E₂=7.5 cm) y rendimiento de forraje en el primer experimento (E₁=44.3 t ha⁻¹). En el segundo ensayo el H-564C (E₂=36.6 t ha⁻¹) superó al testigo. En promedio de genotipos, la densidad de 83,333 plantas (E₁=35.8; E₂=37.3 t ha⁻¹), superó en rendimiento de forraje a la de 62,500 (E₁=31.3; E₂=32.1 t ha⁻¹) y 50,000 plantas (E₁=23.1; E₂=25.5 t ha⁻¹). El análisis combinado indicó que el criollo produjo más forraje que los híbridos. Por densidad, el máximo rendimiento se tuvo con el criollo en 83,333 plantas con 57 t ha⁻¹ de materia verde. En promedio de densidades el mayor IAF se alcanzó con 83,333 plantas y el menor IAF se obtuvo con 50,000 plantas por ha⁻¹.

Palabras clave: Híbrido, *Zea mays* L., Índice de área foliar, Variedad.

ABSTRACT

In Loma Bonita, Oaxaca, Mexico a study was made with the objective to identify genotypes of maize with forage potential. The first experiment (E₁) was made in November-2007 to Feb-2008, evaluating H-520, HE-1A17, HE-2A15, V-556AC, VS-536, A7573 and a native maize variety, in three densities (50,000, 62,500 and 83,333 plants) and four replications. In a second experiment (E₂) (january-april 2009,) the hybrids HE-1A17 and 2A15 were omitted. In their place the H-564C was added. Treatments were the combination of genotypes and densities, in a randomized block design with split plot arrangement. Analyses of variance for experiment, combined and comparison of means by Tukey (P≤0.05) were made. In the first experiment native genotype in average of densities had the highest plant height (E₁= 247, E₂= 216 cm), total leaf area (E₁=5834, E₂=7516 cm²) and leaf area index (IAF) (E₁=3.8; E₂=4.9), stem diameter (E₁= 6.6; E₂=7.5 cm) and forage yield (E₁=44.3 t ha⁻¹). In the second experiment the H-564C (E₂=36.6 t ha⁻¹) exceeded the control. The density of 83,333 plants ha⁻¹, in average of genotypes, exceeded in forage yield (E₁=35.8; E₂=37.3 t ha⁻¹) to the density of 62,500 (E₁=31.3; E₂=32.1 t ha⁻¹) and 50,000 plants ha⁻¹ (E₁=23.1; E₂=25.5 t ha⁻¹). The combined analysis indicated that the native variety produced more forage than hybrids. By density, maximum yield by genotype was the native variety established at 83,333 plants ha⁻¹ (57 t ha⁻¹ of forage). On average the densities the maximum leaf area index (LAI) was achieved with 83,333 plants and the lowest LAI was obtained with 50,000 plants per ha⁻¹.

Keywords: Hybrids, *Zea mays* L., Leaf area index, Variety.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más utilizados para consumo humano (Malvar *et al.*, 2008; Madamombe *et al.*, 2009) y animal (Antolín *et al.*, 2009; Edalat *et al.*, 2009; Reta *et al.*, 2010). En términos de recepción de ingresos es el tercer cultivo más importante en el mundo, ya que se siembran 129 millones de ha⁻¹, con rendimientos de grano de 6.7 t ha⁻¹ en países desarrollados y 2.4 t ha⁻¹ en países en desarrollo (Khalily *et al.*, 2010). En el año 2015 se establecieron en México 7.6 millones de ha⁻¹ para grano y 563 mil ha de maíz forrajero, con un rendimiento promedio de 25.34 t ha⁻¹ de materia verde (SIAP, 2016).

En el estado de Oaxaca, 90 % del área total establecida con maíz está representado por variedades nativas, provenientes de 30 razas (Aragón *et al.*, 2005); de las 59 que existen en el país (Martín *et al.*, 2008), lo que explica porque esta gramínea se originó y domesticó en México (Pecina *et al.*, 2009; Keleman, 2010) hace nueve mil años a partir del teocintle tropical (Warburton *et al.*, 2008; Piperno *et al.*, 2009). Solo el 10 % de la superficie establecida con híbridos en esa entidad federativa incluye genotipos sembrados para forraje, los cuales rinden 25.3 t ha⁻¹ de biomasa (SIAP, 2016).

La Cuenca del Papaloapan, perteneciente a Oaxaca y Veracruz, es una región de trópico húmedo (Montes, 2003; Vilaboa *et al.*, 2009), donde se cultivan variedades de maíz de polinización abierta (Sánchez *et al.*, 2008); de las cuales, el productor cosecha 2 t ha⁻¹ de grano (Tosquy *et al.*, 1995; Tinoco

et al., 2008), utilizando 50 mil plantas ha^{-1} . Se obtiene también elotes, hojas para tamales, esquilmos agrícolas y forraje, que se ensila para alimentar al ganado bovino en época de sequía (Sánchez *et al.*, 2008). Aún siendo diversos los beneficios que aporta el cultivo, los ganaderos no cuentan con genotipos aptos para la producción de forraje y carecen de indicadores precisos del rendimiento en biomasa, el cual es influenciado por las densidades de población e índices de área foliar de las variedades que establecen (Sánchez *et al.*, 2011).

El uso de altas densidades de población en maíz se traduce en un mejor uso del terreno (Reta *et al.*, 2000; Subedi *et al.*, 2006). Que en conjunto con un área foliar grande (Valentinuz y Tollenaar, 2006), permiten al productor aumentar el rendimiento del cultivo por unidad de superficie; debido a que la radiación fotosintéticamente activa, ubicada en longitudes de onda de 400 a 700 nm (Tinoco *et al.*, 2008), al llegar al follaje es mejor aprovechada por el cultivo (Strieder *et al.*, 2008).

Widdicombe y Thelen (2002) recomendaron híbridos de doble propósito, productores de grano y forraje, siempre y cuando se utilicen prácticas de manejo similares. Las densidades de siembra recomendadas para el cultivo de maíz varían según el objetivo, que puede ser grano, forraje o ambos. Por lo que Cuomo *et al.* (1998) recomendaron para maíz forrajero una densidad de población óptima de 39,520 a 98,800 plantas ha^{-1} , argumentando que la biomasa total de forraje incrementa cuando lo hace la densidad de plantas.

Subedi *et al.* (2006), aseguraron que la densidad óptima de plantas en maíz para rendimiento de grano y forraje depende del tipo de híbrido, fertilidad del suelo y manejo agronómico del cultivo.

Montemayor *et al.* (2007) evaluaron maíces forrajeros a una densidad de 104 mil plantas ha⁻¹ y tres separaciones en cintas de riego, de 0.8; 0.9 y 1.0 m, obteniendo rendimientos en forraje entre 27.8 y 70.2 t ha⁻¹. Tinoco *et al.* (2008) encontraron que a una densidad de 71,428 plantas ha⁻¹ con el genotipo H-513 se obtienen altos rendimientos de grano. El H-376, productor de grano y forraje, se recomienda sembrar a una densidad de 80 mil plantas ha⁻¹ con rendimientos de 78.1 a 90.8 t ha⁻¹ de materia verde y 9 a 16.5 t ha⁻¹ de grano. Utilizando maíces forrajeros: Aspros-721, H-31, VS-2000 y cacahuacintle a una densidad de 85 mil plantas ha⁻¹, se obtuvieron rendimientos en forraje verde de 52.5 a 85.6 t ha⁻¹ (Antolín *et al.*, 2009).

El creciente interés de los agricultores de la Baja Cuenca del Papaloapan para producir maíces forrajeros, plantea la necesidad de evaluar diferentes fuentes de germoplasma (variedades, híbridos, sintéticos), a diferentes densidades de plantas, con la finalidad de aprovechar al máximo el potencial genético de esas variedades y ofrecer al productor genotipos sobresalientes que se utilicen en la alimentación del ganado que se cría en la mayoría de los casos en condiciones extensivas (Sánchez *et al.*, 2011).

En México ninguna variedad de maíz fue genéticamente desarrollada para producción y calidad forrajera, se seleccionaron para rendimiento de grano

(Peña *et al.*, 2004), enfocando el fitomejoramiento hacia la formación de híbridos que teóricamente podrían superar a los criollos en diversos componentes vegetativos y reproductivos asociados con rendimiento y calidad de grano (González *et al.*, 2008). Actualmente, se carece de información precisa sobre la densidad de siembra óptima y de índices de área foliar que permitan obtener altos rendimientos en maíces forrajeros.

El presente estudio tuvo como objetivo identificar genotipos (variedades, híbridos, criollos o sintéticos) de maíz con rendimientos de forraje e índices de área foliar altos, manejados en tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹), en concordancia con el manejo agronómico que se utiliza en la producción comercial de maíz para grano, con la finalidad de no incrementar los costos de producción y que la propuesta pueda ser adoptada por los productores de la región de la baja Cuenca del Papaloapan.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Identificar genotipos de maíz con potencial forrajero para el municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar componentes de crecimiento en genotipos de maíz con potencial forrajero establecidos a diferentes densidades de siembra en Loma Bonita, Oaxaca.
- Estimar los principales componentes del rendimiento en genotipos de maíz con potencial forrajero a diferentes densidades de siembra en Loma Bonita, Oaxaca.

3. HIPÓTESIS

- A densidades de siembra mayores a cincuenta mil plantas por hectárea los maíces híbridos generan un mayor crecimiento de la planta y una mayor área foliar.
- Los híbridos presentan una mayor producción de biomasa o forraje verde que las variedades sintéticas y maíces criollos.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Características botánicas del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) con número cromosómico $2n=20$ es una planta cultivada desde hace más de 7,000 años. Su origen parece situarse en México, donde se han encontrado los vestigios más antiguos (Ortas, 2008). Es una gramínea, anual, con un gran desarrollo vegetativo, que alcanza de 2 a 2.5 m de altura (CEDAF, 1998), posee vainas foliares que se superponen y láminas alternadas anchas. También presenta espigas (inflorescencias femeninas encerradas por "chalas") de 7 a 40 cm de largo y flores estaminadas que, en conjunto, forman grandes panojas terminales o inflorescencias masculinas. Se propaga por semillas producidas mayormente por fecundación cruzada (alógama) y depende del movimiento del polen por el viento (Gear, 2006).

4.1.1. Raíz. Posee un sistema radicular fasciculado bastante extenso que además de aportar alimento, es un perfecto anclaje de la planta (Ortas, 2008), y está formada por tres tipos de raíces: Las raíces primarias, emitidas por la semilla, comprenden la radícula y las raíces seminales. Las raíces principales o secundarias, que comienzan a formarse a partir de la corona, por encima de las raíces primarias, constituyendo casi la totalidad del sistema radicular. Las raíces aéreas o adventicias, nacen en los últimos nudos de la base del tallo, por encima de la corona. Los pelos radiculares absorbentes están presentes en grandes cantidades en el sistema radicular del maíz. Estos pelos aprovechan el agua y los nutrientes para un buen desarrollo de la planta (CEDAF, 1998).

4.1.2. Tallo. Es leñoso y cilíndrico, formado por nudos que varían de 8 a 25 y de entrenudos (Lesur, 2005). Los entrenudos son medulares, es decir, no son huecos; los de la base son cortos, y se alargan a medida que se encuentran en posiciones superiores, hasta el entrenudo más largo, que lo constituye la base de la espiga (CEDAF, 1998).

4.1.3. Hojas. Se desarrollan a partir de yemas foliares. Al comienzo el crecimiento es apical, posteriormente se van diferenciando los tejidos mediante crecimiento en todos los sentidos hasta adquirir la forma característica de la hoja (CEDAF, 1998). Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, con venación paralelinervias. Se abrazan al tallo y por el haz presentan vellosidades, también están constituidas por la vaina la lígula y el limbo (ANACAFE, 2004; Anónimo, 2011). El número de hojas depende del genotipo, la duración del ciclo de cultivo y del manejo agronómico, aunque podrían llegar hasta 30, lo normal es que haya un máximo de 15 hojas. Al parecer el número de hojas está relacionado con el potencial de producción (Ortas, 2008).

4.1.4. Flores. En el maíz existen flores estaminadas y pistiladas, ubicadas en diferentes lugares de la planta. Las flores estaminadas (masculinas) se encuentran dispersas por parejas en espiguillas, estas últimas se distribuyen en ramas de la inflorescencia conocida comúnmente como espiga. Tienen de seis a diez milímetros. Cada flor tiene estambres largamente filamentosos. Las flores pistiladas (femeninas) se encuentran en una inflorescencia con un soporte central denominado tusa, cubierto de brácteas

foliares. Se disponen de dos en dos, lo cual explica que el número de hileras en las mazorcas sea siempre par. Sus estilos sobresalen de las brácteas y alcanzan una longitud de 12 a 20 cm, formando en su conjunto una cabellera característica que sale por el extremo de la mazorca (CEDAF, 1998).

4.1.5. Fruto. En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Jugenheimer, 1988 citado por Mera, 2011).

4.2. Importancia del maíz

4.2.1. Importancia del maíz en el mundo. El maíz (*Zea mays L.*), actualmente se cultiva en todo el mundo y es utilizado tanto para la alimentación humana como animal (Fuentes *et al.*, 2001). Este cereal es de suma importancia ya que la población humana ha llegado a 6,000 millones, sin embargo se estima que para el 2030 habrá alcanzado los 9,000 millones de habitantes (Flores, 2009). Por lo tanto, se hace necesario incrementar la producción de alimentos que permitan alimentar a esta creciente población (Fuentes *et al.*, 2001).

El maíz en la alimentación humana es usado de diversas formas, desde alimentos especializados en países desarrollados a un alimento básico en países subdesarrollados (Malvar *et al.*, 2008). Existe un sinnúmero de productos y subproductos que se obtienen del grano, hojas y tallos del maíz. Algunos de los más importantes son: producción de masa para tortillas, atoles, bebidas fermentadas y diversos platillos, harina industrializada, forraje para la alimentación del ganado, almidón, aceite, fructuosa, etanol, dulces, alcohol, bebidas alcohólicas, pinturas, jabones, medicinas, frituras, artesanías, etc. (Tinoco *et al.*, 2002). La harina del maíz es usada en todo el mundo para la fabricación de tortillas, botanas y cereales para el desayuno. De igual forma, en el norte de Portugal y en España, se ha usado tradicionalmente para la elaboración de pan y algunas especialidades gastronómicas locales (Malvar *et al.*, 2008). Ello ha generado que el maíz sea el tercer cultivo más importante en el mundo en cuanto a ingresos se refiere, sembrándose 129 millones de ha⁻¹ al año (Khalily *et al.*, 2010).

En la alimentación animal, el maíz se cultiva con frecuencia para producir forraje verde (Trejo *et al.*, 2013), ya que es muy palatable y de gran valor nutritivo (Elizondo y Boschini, 2001). Además, el uso que se le da en algunos países es como ensilado (Elizondo y Boschini, 2002).

El desarrollo de sistemas de producción de leche y carne debe de estar orientado hacia una productividad económica de bajo costo y fácil manejo. Ello se logra estableciendo gramíneas y leguminosas de alta producción y calidad, que pueden ser utilizadas como forrajes de corte, destinados para su consumo

inmediato o conservado mediante diversas formas para la época de estiaje. Entre las especies forrajeras que ofrecen estas características se encuentra el maíz, el cual suele cosecharse cuando el grano se encuentra en estado lechoso-masoso y las hojas están todavía verdes, obteniéndose únicamente una cosecha en cada siembra (Elizondo y Boschini, 2001).

Skerman y Riveros (1992) aseguraron que el maíz proporciona el mejor ensilado de la familia de las gramíneas, logrando altos rendimientos sin necesidad de aditivos.

4.2.2. Producción de maíz en México. En México, el maíz es uno de los cultivos de mayor importancia en la agricultura, la economía nacional y desde el punto de vista social, ya que la alimentación de sus habitantes se basa en un alto porcentaje en el consumo de este cereal (Sierra *et al.*, 2010).

La importancia del maíz se refleja en un aumento en su producción. En 1996 la participación del maíz en relación a la producción de cereales en México fue del 61.5 %, en 2002 llegó al 67 % y en el 2006 alcanzó el 68.6 %, mostrando que es el cultivo más importante a nivel nacional (SIAP, 2012). En lo referente a la superficie del cultivo ocupada, se ha determinado que al año se siembra el 40 % de la superficie agrícola o sea 7.5 millones de ha⁻¹ (SIAP, 2016; Tosquy, 1995). De esta superficie poco más de tres millones de ha⁻¹ se cultivan en el trópico húmedo (Cano *et al.*, 2001).

Durante el año 2015 en México se sembraron 7,600,452 ha⁻¹ de maíz para grano con un rendimiento promedio de 3.4 t ha⁻¹ y 563,820 ha⁻¹ de maíz

forrajero, con un rendimiento promedio de 25.0 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). El maíz forrajero se destinó a la alimentación de animales en las cuencas lecheras del país (Peña *et al.*, 2004).

4.2.3. Producción de maíz en Oaxaca. En el estado de Oaxaca, durante el año 2015 se sembraron 568,134 ha⁻¹ de maíz para grano y 578 ha⁻¹ de maíz forrajero con rendimientos promedios por ha⁻¹ de 1.2 y 35.8 toneladas, respectivamente (SIAP, 2016).

La Cuenca del Papaloapan perteneciente a Oaxaca y Veracruz, es una región de trópico húmedo (Vilaboa *et al.*, 2009) a la cual pertenece el municipio de Loma Bonita, Oaxaca. En este municipio se sembraron durante el 2015 un total de 1,640 ha⁻¹ de maíz para grano con un rendimiento de 2.6 t ha⁻¹ (SIAP, 2016), los cuales en su mayoría son maíces de polinización abierta (Sánchez *et al.*, 2008). Los productores locales cultivan el maíz con un bajo nivel tecnológico, utilizando en la mayoría de los casos variedades criollas logrando así rendimientos bajos que no ofrecen rentabilidad. La mayoría de los productores destina su producción para autoconsumo y los excedentes se venden a vecinos, tiendas locales o molinos para nixtamal. La comercialización del maíz se realiza con intermediarios locales como tiendas acopiadoras de grano, parte de la producción se realiza con los industriales de la masa y la tortilla (Tinoco *et al.*, 2002; Anónimo, 2008).

En la región de la Baja Cuenca del Papaloapan también se obtienen a partir del maíz elotes y hojas para tamales, esquilmos agrícolas y forraje, que se

ensila para alimentar al ganado bovino en época de sequía (Sánchez *et al.*, 2008).

4.3. Condiciones agronómicas requeridas por el cultivo de maíz

El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas que van de altitudes desde los 0 hasta los 4,000 metros (Mera, 2011). Se cultiva desde el ecuador hasta altas latitudes en los dos hemisferios. Asimismo se siembra en regiones de precipitación pluvial que van de los 400 hasta los 3,000 mm anuales y en suelos y climas muy variables. De acuerdo con la literatura, se ha indicado que la mejor producción se logra en climas en donde las temperaturas medias en los meses calurosos están entre 21 y 27 °C, con un período libre de heladas. Su ciclo agrícola puede variar desde 120 hasta 180 días (Reyes, 1990).

4.3.1. Temperatura. El maíz logra un buen desarrollo bajo condiciones de climas cálidos o templados. Para un buen desarrollo y producción del cultivo, las temperaturas promedio deben de oscilar entre 20 y 30 °C (Tinoco *et al.*, 2002). Así mismo, los días soleados seguidos de noches frescas son los más beneficiosos para el crecimiento rápido del maíz (CEDAF, 1998).

Para la germinación de la semilla, la temperatura óptima oscila entre 20 a 25 °C, siendo la mínima 10 °C y la máxima de 40 °C. Durante su crecimiento la temperatura óptima oscila entre los 20 a 30 °C, con una mínima de 15 °C y

máxima de 40 °C. Durante la floración se requiere una temperatura óptima de 21 a 30 °C, con una mínima de 20 °C y una máxima de 30 °C (Bonilla, 2009).

4.3.2. Suelo. El maíz es un cultivo que necesita suelos estructurados, fértiles y profundos que permitan el desarrollo de las raíces, que eviten los encharcamientos siendo al mismo tiempo capaces de almacenar agua y que permitan un aprovechamiento óptimo de los nutrientes (Ortas, 2008).

El maíz se adapta a una gran variedad de suelos, donde se pueden obtener buenas cosechas, empleando variedades adecuadas y utilizando técnicas de cultivo apropiadas (ANACAFE, 2004). Son deseables los suelos de textura franca a media, con un pH de 5.5 a 6.5 y ricos en materia orgánica (Tinoco *et al.*, 2002). Los peores suelos para el maíz son los excesivamente pesados (arcillosos) por su facilidad para inundarse y los muy sueltos (arenosos) por su facilidad a secarse excesivamente, también es medianamente tolerante a la salinidad (CEDAF, 1998).

En regiones de clima frío y con fuertes lluvias, los suelos relativamente ligeros (arenosos) son preferibles por su facilidad para drenar y su alta capacidad de conservar el calor. En lugares de escasas precipitaciones, los suelos pesados (arcillosos) dotados de alta capacidad retentiva de agua son los más convenientes (ANACAFE, 2004; CEDAF, 1998).

4.3.3. Agua. El maíz es un cultivo exigente en agua, en el orden de unos 5 mm al día (Anónimo, 2011). Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo. Cuando la semilla germina se requiere menos cantidad de agua

manteniendo una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando se requiere una mayor cantidad de agua, siendo la fase de floración el periodo más crítico porque de ella depende el desarrollo, la polinización y el llenado de los granos influyendo así en el rendimiento de granos de las plantas (Reyes, 1990).

La cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores importantes en la producción del maíz; dado que el calor y la sequía en el periodo de polinización causan la desecación del tejido foliar y la formación deficiente del grano. La condición ideal de humedad del suelo, para el desarrollo del maíz, es el estado de capacidad de campo, por lo que la cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm; siendo la cantidad óptima de lluvia de 550 mm y la máxima de 1,000 mm (Bonilla, 2009). Tinoco *et al.* (2002) indicaron que el maíz logra un buen desarrollo con un óptimo de 500 y un máximo de 1,000 mm de agua bien distribuidos durante el ciclo del cultivo, los cuales pueden suministrarse a través de riegos o lluvias en regiones de temporal.

4.3.4. Luz y fotoperiodo. El maíz es una de las plantas cultivadas que más responde a los efectos de la luz, ya que depende de la luz solar intensa y prolongada para su rápido y buen desarrollo. En días muy nublados, durante la fase de polinización, se produce una importante reducción en el rendimiento de grano. De igual forma una disminución de 30 a 40 % en la intensidad de la luz, produce un retraso en la madurez de 5 a 6 días (CEDAF, 1998). Se ha observado que el maíz florece más rápido en días cortos y se retarda en los

días largos del año, sin embargo, los mayores rendimientos se obtienen con 11 a 14 horas de luz por día (Bonilla, 2009).

4.3.5. Altitud y latitud. En los trópicos, el maíz crece desde el nivel del mar hasta elevaciones cercanas a los 4,000 msnm. Es posible cultivar maíz, con óptimos rendimientos, desde el nivel del mar hasta alrededor de 2,500 msnm. Los rendimientos disminuyen en altitudes mayores a los 3,000 msnm (Bonilla, 2009). A baja o mediana altitud, las plantas pueden alcanzar alturas de tres metros o más, mientras que a grandes altitudes (más de 3,000 metros) las plantas apenas llegan a unos 0.5 m de altura (CEDAF, 1998).

Se sabe que el maíz se adapta desde los 50° de latitud norte hasta alrededor de 40° de latitud sur. Esta es una amplia franja que abarca múltiples regiones agrícolas del mundo. Se siembra desde Canadá (45-50° N) y Dinamarca (55-58° N) hasta Argentina. Las regiones más productoras de maíz se caracterizan por presentar altas temperaturas y suficiente radiación solar (CEDAF, 1998).

4.4. Etapas fenológicas del maíz

Las principales etapas fenológicas del maíz se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales etapas fenológicas del cultivo de maíz.

Etapas	Descripción	Eventos fisiológicos
VE	Coleóptilo emerge de la superficie del suelo.	Meristemo apical debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de raíces seminales decrece e inicia el desarrollo de raíces nodales en nudos inferiores.
V3	Tres hojas completamente desarrolladas.	Meristemo apical debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de raíces seminales cesa y se acentúa el crecimiento de las raíces nodales.
V6	Seis hojas completamente desarrolladas.	Meristemo apical sobre la superficie del suelo. Meristemo se convierte en flor masculina incipiente. Todas las hojas se encuentran iniciadas, pero no visibles. Tallo inicia fase de elongación rápida. Raíces nodales en nudos inferiores. Pérdida de las hojas inferiores.
V9	Nueve hojas completamente desarrolladas.	Flor masculina en rápido crecimiento. Conversión de meristemos laterales en mazorcas. Crecimiento rápido del cultivo; expansión del follaje y captura cada vez mayor de radiación disponible. Desarrollo de raíces nodales en nudos adicionales.
V12 a V15	Doce a quince hojas completamente desarrolladas.	Mazorcas en fase de iniciación de óvulos. Espiga en rápido crecimiento y en competencia de recursos con mazorcas. Follaje y cultivo en rápida expansión. Captura casi total de radiación disponible. Mazorcas inferiores abortan.
V18 a V22	Dieciocho a veintidós hojas completamente desarrolladas.	Espiga a punto de emergencia. Rápido crecimiento de óvulos en mazorcas iniciadas. Expansión de follaje casi cesa y la cobertura del suelo es casi completa. Se observan raíces adventicias.

Continuación del Cuadro 1.

Etapa	Descripción	Eventos fisiológicos
VT	Visible la última rama de la espiga, pero los estigmas aún no han emergido.	Espiga totalmente expuesta. Derramamiento de polen por una o dos semanas. Altura y número final de hojas establecido.
R1	Emisión de los estigmas en el 50 % de las plantas.	Estigmas emergen para ser polinizados. El grano de polen toma 24 horas para ser polinado.
R2	Etapa de ampolla, 10 a 12 días después de la fertilización (ddf).	El endospermo está lleno de líquido claro y el grano parece una ampolla. Se observa el embrión; este tiene los meristemos apicales y la primera hoja formada. Estigmas se oscurecen y degeneran. Comienza la fase lineal de acumulación en grano.
R3	Etapa lechosa, 18 ddf.	Líquido claro lechoso en el endospermo. Concentración alta de azúcares. El embrión comienza a crecer rápido, termina la división celular. Estigmas muertos.
R4	Etapa masosa, 24 a 28 ddf.	Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene 4 hojas y es aproximadamente la mitad del ancho del grano. Acumulación de almidón en el endosperma, almidón seco o endurecido se deposita de la corona hacia la base del grano formando la línea de leche. Desarrollo de la línea de leche indicador del estado fisiológico.
R5	Etapa de entado, 35 a 42 ddf.	La parte superior del grano se llena con almidón seco.
R6	Madurez fisiológica, 55 a 65 ddf.	Los granos alcanzan su peso máximo. La línea de almidón seco ha avanzado hasta la base, formando la capa negra y ésta es visible. La planta se seca.

Fuente: Adaptado de CEDAF, 1998.

4.5. Manejo agronómico del cultivo de maíz

Incluye todas las prácticas, entre ellas la preparación del suelo, fecha de siembra, labores culturales, densidad de siembra, aplicación de fertilizantes y pesticidas, entre otros, que el productor lleva a cabo durante el ciclo del cultivo. La forma en que se combinan los factores de producción en cada una de las prácticas (Damián *et al.*, 2007) va a determinar de forma directa o indirecta los rendimientos. Considerando la tierra y sus factores limitantes, así como el potencial genético del cultivo, el manejo es, en última instancia, el factor determinante de la producción (Damian-Huato *et al.*, 2010), teniendo en cuenta que el manejo del cultivo de maíz se da en diferentes formas de acuerdo al contexto social, económico y ambiental en el que se encuentre (Turiján *et al.*, 2012).

Sin embargo productores tradicionales con experiencia podrían tener un efecto negativo en el uso de mejores tecnologías que permiten mayores rendimientos en el cultivo del maíz dado que ya tienen muy arraigadas tecnologías locales en la producción de maíz (Tucuch-Cauich *et al.*, 2007). En este sentido, Damián-Huato *et al.* (2010) mencionaron que en México coexisten dos modelos tecnológicos contrastantes para la siembra del maíz que son el convencional o comercial y el campesino o agroecológico.

4.5.1. Preparación del terreno. La labranza o preparación del terreno, es toda acción mecánica que altere la estructura del suelo con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas para la siembra y germinación de

semillas así como para el desarrollo de raíces y planta (Martínez *et al.*, 2006). Favorece el establecimiento, germinación y desarrollo del cultivo, al incorporar los residuos, eliminar maleza y huevecillos de insectos o plagas del suelo (Tinoco *et al.*, 2002). La preparación del terreno se puede realizar mediante: a) la rosa-tumba-quema, especialmente en la península de Yucatán y las zonas montañosas del sureste; b) movimiento del suelo a mano o con azadón; c) la roturación con tracción mecánica o animal y, d) el “arroje de humedad” (Mera, 2011). Existen diversos métodos de labranza; sin embargo, para su selección se deben considerar algunos factores importantes como la humedad presente en el suelo, la cantidad de residuos o maleza sobre la superficie del terreno, la presencia de plagas, riesgo de erosión y la condición económica del productor (Tinoco *et al.*, 2002). Sin embargo, para el productor el recurso más valioso es el suelo, por lo que debe conservarlo realizando una adecuada preparación de este, lo que ayudará a enriquecerlo y permeabilizarlo (Cruz, 2013; ANACAFE, 2004).

La labranza primaria es la actividad realizada con la finalidad de preparar la cama de siembra. Se efectúa antes de la siembra y su objetivo es remover la vegetación presente, reducir la compactación y generar la formación de grandes terrones en el suelo. Se realiza con arado de vertedera, cinceles, arado de discos, subsolador y rastra de discos. La labranza secundaria es la remoción del suelo después de la siembra con el objetivo de romper costras superficiales, arrojar humedad y aflojar el suelo. La labranza convencional son las

operaciones de labranza primaria y secundarias adoptadas en una región. (Martínez *et al.*, 2006).

4.5.1.1. Labranza convencional. Se recomienda para suelos profundos, planos o con pendientes ligeras no mayores de 4 %, sobre aquellos terrenos compactados por el pisoteo del ganado (potreros) o por el paso excesivo de maquinaria. Comprende las siguientes labores (Tinoco *et al.*, 2002).

A) Chapeo. Su objetivo es eliminar la vegetación existente y los residuos del cultivo anterior, tratando de desmenuzarlos y dejarlos diez días expuestos al sol para su secado facilitan su descomposición e incorporación al suelo. Diversas evaluaciones determinaron que el chapeo e incorporación del rastrojo, después de cosecha, o dos meses antes de la siembra, incrementan el rendimiento del maíz, debido a que los residuos, al descomponerse con anticipación, se transforman en materia orgánica, la cual nutre al cultivo oportunamente cuando este se encuentra en su etapa inicial de desarrollo (Tinoco *et al.*, 2002).

B) Barbecho. Es el paso del arado con el fin de voltear la capa arable y exponer al viento y frío a huevecillos y pupas que se encuentran invernando (control de plagas y retención de humedad) (Ontiveros, 2010). Otros objetivos del barbecho son incorporar los residuos de la cosecha anterior y aflojar la tierra para que las raíces se desarrollen y permitan que la humedad penetre en el suelo. Se sugiere efectuar esta labor un mes antes de la siembra y a una profundidad de 25 a 30 cm (Rodríguez *et al.*, 1997).

C) Rastreo. Permite desbaratar los terrones que quedan del barbecho y se recomienda realizarlo a una profundidad de 18 cm (Ontiveros, 2010). Se realiza con la finalidad de aflojar el suelo, romper terrones, cortar los residuos y pastos, eliminar malezas, nivelar y alisar los terrenos. Deben hacerse dos pases de rastra de discos, cada una perpendicular a la anterior. Es recomendable realizar esta labor inmediatamente después del inicio de las lluvias para sembrar de forma inmediata (Bonilla, 2009).

D) Surcado. Puede o no efectuarse según la disponibilidad de maquinaria. La ventaja es disminuir jornales al sembrar al “tapa pie” sin necesidad de estadales o cordel para alinear los surcos. En terrenos con pendientes ligeras, debe surcarse en contra de la pendiente o con cierto desnivel para que el agua escurra lentamente sin erosionar el suelo (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.1.2. Labranza mínima. Es la eliminación del barbecho en la preparación del suelo, para ello se puede usar solamente rastra, o implementos que no inviertan el perfil del suelo, ya sea con multiarado o cinceles. Los residuos vegetales son incorporados en la capa superficial del suelo con la rastra, mientras que con los implementos que no invierten el perfil éstos permanecen en la superficie. El control de la maleza puede ser mecánico, mediante escardas, o combinado con herbicidas (Martínez *et al.*, 2006).

4.5.1.3. Labranza de conservación. La práctica consiste en dejar los residuos de las cosechas anteriores en la superficie del terreno, sin roturar o

voltear el suelo como se hace tradicionalmente (Galeana *et al.*, 1999). En este tipo de labranza se procura cubrir por lo menos un 30 % de la superficie del suelo con rastrojo o paja, además de romper el endurecimiento del suelo sin invertir su perfil. En este método la cama de siembra solamente es alterada durante la siembra directa, los residuos de cosecha no se incorporan al perfil del suelo. Los poros del suelo, por donde se infiltra el agua, no se destruyen, mejorando la capacidad de almacenar y retener el agua en el suelo. Los residuos vegetales protegen al suelo de la evaporación directa del agua y del golpeteo directo de las gotas de lluvia. Al cubrir por lo menos un tercio de la superficie del suelo con rastrojo o paja la pérdida de suelo se reduce un 50 % (Martínez *et al.*, 2006).

Los tipos de labranza de conservación que existen son la labranza en camellones, labranza en franjas, labranza de coberteras y labranza cero o no labranza. La decisión sobre el tipo de labranza a utilizar dependerá de los recursos con los que cuente el productor, condiciones de clima y suelo de la región, así como de la presencia de malezas, plagas y enfermedades (Tinoco *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2006).

4.5.2. Selección de semillas. En el cultivo del maíz es de mucha importancia seleccionar los híbridos y variedades que se adapten a las condiciones del suelo y clima de la región para mejorar la producción (Rodríguez *et al.*, 1997), ya que es el factor que más influye en la productividad del cultivo. Lo recomendable es sembrar semillas certificadas, para asegurar la calidad de la semilla, dicha calidad incluye: tamaño, forma, pureza y sanidad

(SEP, 2007), debido a su excelente germinación y vigor, provenientes de variedades o líneas genéticamente puras (Cruz, 2013). Para el caso de Loma Bonita, que pertenece a un clima cálido húmedo, se sugiere sembrar variedades o híbridos con adaptación y potencial productivo para estas regiones (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.2.1. Variedades de polinización libre. Las variedades de polinización libre son generadas a través de familias y su producto se denomina compuesto; los sintéticos son generados a través de líneas parcialmente endogámicas. El productor puede utilizar ambos materiales por varios ciclos, siempre y cuando la variedad esté aislada de otras variedades. Es importante mencionar que la variedad de polinización libre tiene un rango de adaptación amplio, un límite en la fertilización y presenta mayor variación en cuanto a características fenotípicas de la planta (Cruz, 2013).

4.5.2.2. Híbridos. El híbrido convencional es el resultado del cruzamiento entre dos, tres y cuatro progenitores genéticamente diferentes. Los híbridos simples son el producto de la cruce de dos padres (AxB), los triples resultan de la combinación de tres padres (AxB) x C y los híbridos dobles cuando se cruzan cuatro padres (AxB) x (CxD). Los híbridos modificados resultan cuando se derivan sublíneas de un progenitor común (Cruz, 2013).

4.5.3. Cantidad de semilla para la siembra. La cantidad de semilla para sembrar una hectárea depende de la densidad de siembra y del tamaño de la semilla. Para la siembra manual se requieren de 18 a 22 kg de semilla, y para la

mecanizada se requieren de 22 a 25 kg por hectárea, con un 85 % de germinación como mínimo (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.4. Prueba de germinación. Antes de sembrar, se deberá verificar la viabilidad de la semilla, ya que por el mal manejo de semillas en almacén (altas temperaturas que dañan el embrión), cuando se siembran no germinan, lo cual provoca retrasos, y otra inversión en el pago de labores de preparación de suelo y siembra. La calidad de la semilla, se conoce mediante una prueba de germinación efectuada seis días antes de la siembra. En una caja con suelo, a manera de almácigo se pone a germinar 100 semillas de maíz tomadas al azar de cada bolsa que se va a utilizar, debiendo mantenerlas bajo buenas condiciones de humedad para favorecer su nacencia. Es aceptable un mínimo de 80 % de germinación de la semilla, la pureza genética de la semilla aceptable debe ser de 99 % (Bonilla, 2009). Después de seis días, se cuentan las plántulas nacidas, por cada 10 semillas sin germinar, se agrega un kilo y medio de semillas más por cada hectárea a sembrar (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.5. Siembra. La siembra empieza con la selección de la semilla o del genotipo adecuado para cada necesidad, prosigue con el momento adecuado a realizarla, continúa con la decisión de la densidad y la profundidad a la que se va a colocar la semilla, para terminar con la siembra misma, tras previa elección de uno de los métodos para realizarla (Lesur, 2005).

4.5.5.1. Fechas de siembra. La fecha apropiada para sembrar maíz es un factor determinante en el éxito productivo del cultivo. En la actualidad en

cualquier mes del año se siembra maíz en algunas partes del país (Mera, 2011). En las zonas tropicales, donde tanto la temperatura como el largo del día son bastante uniformes, será el factor humedad el que determine, en un principio, la época de siembra (SEP, 2007).

El maíz de primavera verano se sugiere sembrar desde el inicio de lluvias hasta el 30 de junio, o bien, hasta el 15 de julio si se utilizan variedades de porte bajo (Tinoco *et al.*, 2002). Para el maíz de otoño-invierno o “tonalmil” en el que se aprovecha la humedad residual del temporal y de las lluvias ocasionales de baja intensidad de octubre a marzo, se sugiere sembrar de fines de octubre hasta el 15 de enero. Las siembras de enero, se recomiendan solo para terrenos de vega de río o aquellos que se inundaron durante el temporal. En las zonas de altura o montañosas se siembra en febrero y marzo, ya que en estas zonas, el ciclo del cultivo es de seis a ocho meses (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.5.2. Densidades de siembra. Se entiende por densidad de siembra la cantidad de plantas de maíz en una hectárea. En México se siembran poblaciones desde 25,000 a 80,000 plantas ha⁻¹ (Mera, 2011). Para siembras comerciales, se utilizan densidades que van de 50,000 a 55,000 plantas ha⁻¹. Sin embargo, para producir semilla registrada o certificada se recomienda utilizar entre 40,000 a 45,000 plantas por hectárea (Bonilla, 2009).

La cantidad de plantas por hectárea, es uno de los factores que más influye sobre la producción de maíz. De acuerdo con diversos estudios, por cada mil plantas que se pierdan o se establecen sin una densidad de población

óptima recomendada, se dejan de producir de 50 a 70 kg de maíz por hectárea. En la actualidad, por lo general se siembran híbridos y variedades de porte bajo a intermedio, para los cuales se sugieren una densidad de población de 62,500 plantas ha⁻¹ (Tinoco *et al.*, 2002).

Las densidades de siembra en maíz varían según el objetivo, que puede ser grano, forraje o ambos, recomendándose para maíz forrajero una densidad de población óptima de 39,520 a 98,800 plantas ha⁻¹, ya que en teoría la biomasa total de forraje incrementa cuando lo hace la densidad de plantas (Cuomo *et al.*, 1998). Sin embargo, Ontiveros *et al.* (2010) propusieron densidades de 70,000 hasta 110,000 plantas por hectárea. Se sabe también que la densidad óptima de plantas en maíz para rendimiento de grano y forraje depende del tipo de híbrido, fertilidad del suelo y manejo agronómico del cultivo (Subedi *et al.*, 2006).

4.5.5.3. Distancia de siembra. La distancia recomendada entre surcos o hileras es de 80 cm, con una separación de 40 cm entre matas, para las siembras manuales, depositando entre dos a tres semillas en forma alterna por mata. Con sembradoras mecánicas, se establece una planta cada 20 cm. En ocasiones, la medida de la llanta del tractor o la amplitud de los cabezales de la cosechadora mecánica, impide establecer el maíz en surcos de 80 cm. Ante estas limitantes, es posible manejar distanciamientos de 85 ó 92 cm con distancias entre plantas de 18 cm si es con sembradora y de 35 centímetros si es manual (Tinoco *et al.*, 2002).

Las distancias de siembra y la cantidad de semilla por sitio de siembra determinan la densidad y la cantidad de semilla a utilizar. Las distancias son la distancia entre surco o calle y la distancia entre planta. En términos generales, las distancias recomendadas para la siembra mecanizada son de 75 cm entre surcos para cultivares de porte bajo y hasta de 90 cm para los de porte alto y entre 20 y 25 cm entre plantas. Para la siembra a espeque se aconseja 75 cm entre surcos, 50 cm entre plantas y dos semillas por sitio de siembra (Bonilla, 2009).

Las distancias de siembras comerciales más recomendadas son de 75 cm entre calles por 25 cm entre plantas a una semilla por sitio para siembra mecanizada. De 75 cm entre calles por 50 cm entre plantas a dos semillas por sitio para siembra a espeque. Al sembrar semilla registrada o certificada, se recomienda ampliar las distancias para obtener una mejor calidad del producto, siendo estas: 80 cm entre calles y 30 cm entre plantas por una semilla por sitio para siembra mecanizada. De 80 cm entre calles y 60 cm entre plantas por dos semillas por sitio para siembra a espeque (Bonilla, 2009).

4.5.5.4. Métodos de siembra. Dependiendo de la infraestructura en equipo para el establecimiento de cultivos y de las condiciones del terreno la siembra puede ser mecanizada (con sembradora) o manual (mediante espeque). El primer sistema se recomienda para áreas grandes, donde la preparación del terreno haya sido mecanizada. La siembra manual, se realiza en áreas medianas o pequeñas, ya sea que hayan sido preparadas por medio de labranza mínima o con maquinaria (Bonilla, 2009). Es importante que no le

falte agua a la semilla, para asegurar su emergencia. Para esto se puede sembrar primero y después regar el terreno o bien regar primero y después sembrar (Rodríguez, 1997).

A) Siembra manual. El relieve ondulado del terreno, así como la escasez de maquinaria determina que éste sea el método de siembra más común en ciertos estados del sur del país, el cual presenta dos modalidades:

a) Establecimiento en surcos a "tapa pie". La semilla se deposita en el fondo del mismo, y se cubre con una capa de suelo que se arrima con ayuda del pie. Tiene la ventaja de sembrar con bajo número de jornales (cuatro por hectárea); sin embargo al no controlarse la profundidad de siembra, las semillas muy enterradas no emergen y las superficiales, ante deficiencias de humedad pueden no germinar (Rodríguez, 1997; Tinoco, 2002).

b) Establecimiento a espeque. Permite tener cierto control en la profundidad de siembra, es muy importante en el sistema de labranza cero que se practica en grandes superficies. Una de sus desventajas es que requiere más de ocho jornales por hectárea, poco atractivo para la siembra en grandes extensiones (Tinoco *et al.*, 2002).

B) Siembra mecanizada. Puede hacerse con sembradora convencional o con sembradora de precisión para labranza cero.

a) Sembradora convencional. Se utiliza para sembrar en terrenos planos o de pendientes ligeras (menores del 10 %) que se hayan roturado y sin abundantes residuos sobre la superficie, ya que esto dificulta el funcionamiento

del equipo. Este tipo de sembradoras tienen la ventaja de sembrar hasta 8 hectáreas por día, controla profundidad de siembra y realiza la primera fertilización lo cual disminuye costos del cultivo. Este implemento funciona principalmente en base a calibración y selección del plato de siembra de acuerdo al tamaño del grano (Tinoco *et al.*, 2002).

b) Sembradora de precisión o labranza cero. Estos equipos siembran y fertilizan al mismo tiempo en terrenos sin roturar, debido a que cuentan con: a) discos cortadores que abren un pequeño surco o línea sobre los residuos y el suelo, de tal forma que deposita la semilla en el terreno; b) rueda prensadora que asegura el contacto directo de la semilla, aún careciendo de tierra suelta; c) rueda que regula profundidad de siembra y compensa el efecto de irregularidad del terreno. Además, el grano queda a una profundidad de 5 centímetros para que tenga la suficiente humedad para germinar (Cruz, 2013).

4.5.6. Control de malezas. Las malezas son todas aquellas plantas que compiten con los cultivos y reducen tanto los rendimientos como la calidad de la cosecha, obstaculizando la recolección de la misma (Bonilla, 2009).

La alta humedad y temperatura en regiones tropicales, favorecen el desarrollo exuberante de la vegetación, por esta razón, en siembras de maíz es común la presencia de poblaciones elevadas de malas hierbas, que fluctúan entre uno y cinco millones de plantas por hectárea, lo cual ocasiona uno de los problemas más graves para los agricultores, quienes invierten grandes cantidades de energía y recursos para controlarlas (Tinoco *et al.*, 2002).

Las malezas reducen el rendimiento entre un 25 y 75 % o hasta un 92 % sin ningún control de malezas, retardan el desarrollo normal del cultivo hasta 3 cm por día, causan la liberación de sustancias al medio que inhiben la germinación (alelopatía) del cultivo, además de permitir que en ellas se mantengan otras plagas que atacan el cultivo (Tinoco *et al.*, 2002; Bonilla, 2009).

Las malezas son mezclas de varias especies que compiten con el maíz por luz, nutrientes, agua (Tinoco *et al.*, 2002), espacio y hospedan microorganismos que son fuente de inóculo de virus, hongos, bacterias y agentes que causan enfermedades o plagas que atacan el maíz. Sin embargo, su presencia en forma controlada, tiene diversas ventajas tales como ser fuente de materia orgánica para el suelo, disminuyen el efecto de la erosión, en ocasiones sirven de trampas para las plagas que de lo contrario atacarían al maíz. Las malezas leguminosas, pueden fijar nitrógeno del aire mejorando la fertilidad del suelo. Por lo anterior, el manejo de malezas debe generar un equilibrio que no cause problemas a la producción y calidad del grano o forraje (Bonilla, 2009).

Las malezas son plantas silvestres y pueden causar daños múltiples como milpas débiles con baja o nula producción, dificultad para el manejo del cultivo, presencia de espigas, zarcillos o bejucos que se enredan en las plantas favoreciendo acame o quiebra de la plantación. Para su control, las malezas se clasifican en dos grupos: plantas de hoja ancha (Dicotiledóneas) y plantas de hoja angosta (Monocotiledóneas) gramíneas y ciperáceas, que pueden ser

anuales, perennes, de propagación sexual, asexual o ambas con diversas modalidades de hábitos de crecimiento (Tinoco *et al.*, 2002; Bonilla, 2009).

4.5.6.1. Principales malezas que compiten con el maíz

La gran diversidad de condiciones de suelo, clima y manejo en las regiones donde se cultiva el maíz, han originado cientos de especies de malas hierbas (Tinoco *et al.*, 2002). Las especies de malezas más comunes en maíz, dependen de la zona agroecológica de donde se realiza el cultivo (CEDAF, 1998), para la zona perteneciente a Loma Bonita se encuentran las siguientes malezas.

Las malezas de hoja ancha de mayor importancia son: mozote amarillo o flor amarilla (*Melampodium divaricatum*), mozote blanco (*Bidens pilosa*), hierba amargosa (*Parthenium hysterophorus*), leche de sapo (*Euphorbia heterophylla*), correhuela o enredadora (*Ipomoea spp.*), platanillo (*Canna indica*), quelite (*Amaranthus spp.*), quelite espinoso (*Amaranthus spinosus*), hierba de pollo (*Commelina spp.*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), hierba ceniza (*Lagascea mollis*), cundeamor (*Momordica charantia*), gusanillos (*Acalypha spp.*), golondrina (*Euphorbia hirta*), collarcillo (*Phyllanthus niruri*), tomatillo (*Physalis sp.*), tabaquillo (*Richardia scabra*), borrierías (*Borreria spp.*), y verdolaga grande (*Trianthema portulacastrum*) (Tinoco *et al.*, 2002).

Entre las malas hierbas de hoja angosta o gramíneas que compiten con el cultivo de maíz, se puede menciona al zacate de agua (*Echinochloa colona*), zacate agrarista, pelo de conejo o grama (*Cynodon dactylon*), zacate Johnson

(*Sorghum halepense*), zacate camalote (*Paspalum sp.*), zacate carricillo (*Urochloa fasciculata*), zacate pata de gallo (*Eleusine indica*), zacate frente de toro (*Digitaria sanguinalis*), cadillo (*Cenchrus echinatus*) y zacate peludo (*Rottboellia coehinehinensis*) (Tinoco *et al.*, 2002).

Las ciperáceas, conocidas como coquillos, pueden confundirse con gramíneas, aunque una forma práctica de distinguir las es que las ciperáceas presentan un tallo triangular y hojas distribuidas en roseta. Entre las ciperáceas más importantes en maíz está el coquillo rojo o ajillo (*Cyperus rotundus*), y el coquillo amarillo (*Cyperus esculentus*) (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.6.2. Métodos para el control de malezas. Es económico y aconsejable a corto, mediano y largo plazo el combate oportuno de malezas. Los métodos más comunes de combate son: preventivos, mecánicos, culturales, biológicos, químicos y de forma integral (Bonilla, 2009).

A) Control preventivo. Antes de sembrar y según el tipo de maleza se puede quemar, inundar o pasar el arado (Bonilla, 2009), para favorecer la emergencia y desarrollo del cultivo que le permiten competir con las malas hierbas. Las prácticas agronómicas de manera individual son insuficientes para evitar la competencia de la maleza, por lo que deben implementarse en forma integral (Tinoco *et al.*, 2002).

Entre estas prácticas se recomienda: preparar el suelo antes de la siembra para eliminar malezas y favorecer la germinación y desarrollo del maíz, sembrar el cultivo en fechas y a las densidades de siembra óptimas y para

favorecer un rápido desarrollo limitando la competencia de la maleza. Además, fertilizar el maíz con las dosis y en épocas de aplicación idóneas, para que el maíz tenga un crecimiento rápido, y evitar que la maleza produzca y disemine sus semillas, ya que esto asegura su infestación en las siembras, dificultando su erradicación (Tinoco *et al.*, 2002).

También se recomienda establecer cultivos intercalados o de cobertera, que eviten espacios libres donde se pueda desarrollar la maleza. Limpiar la maquinaria agrícola utilizada en terrenos con especies de maleza de difícil control antes de utilizarla en terrenos sin contaminar con esas especies y evitar la entrada de ganado que haya pastado en terrenos con maleza de difícil control (Tinoco *et al.*, 2002).

B) Control mecánico o manual: El deshierbe manual es muy efectivo, en áreas reducidas o en sitios donde no es posible remover las malezas con herramientas. El corte de malezas con machete, azadón, u otros instrumentos se usa especialmente en terrenos de laderas y pedregosos (ANACAFE, 2004).

El laboreo con implementos consiste en las prácticas de arar, rastrear y cultivar para reducir el problema de malezas. Afectan la población de semillas por la destrucción de plantas o por provocar su germinación. Es aconsejable dar dos pasos con la cultivadora (escarda) y uno o dos deshierbes a azadón. Se sugiere realizar la primera escarda y el primer deshierbe de los 15 a los 20 días después de emergencia del maíz o cuando las plantas alcancen de 15 a 20 cm de altura, ya que en esta etapa la maleza es pequeña y fácilmente se

deshidrata con el sol. La segunda escarda y deshierbe se debe realizar entre los 30 y 40 días después de la emergencia del maíz o cuando la planta tenga un tamaño de 40 a 50 cm, procurando no dañar el cultivo con los utensilios (Hernández *et al.*, 2001; Tinoco *et al.*, 2002; ANACAFE, 2004).

C) Control cultural: Son todas aquellas prácticas que aseguran el desarrollo rápido y vigoroso del cultivo, para que pueda competir con las malezas, entre esas prácticas se encuentran las siguientes (ANACAFE, 2004).

a) Buena preparación del suelo. Destruye las malezas en el campo y crea condiciones favorables para el desarrollo de la planta.

b) Siembra de variedades bien adaptadas a la zona. Estas variedades en su crecimiento inicial son vigorosas pueden superar la competencia ejercida por las malezas.

c) Buena y oportuna fertilización.

d) Asociación del maíz con leguminosas. Estas siembras permiten mejorar las condiciones del suelo en la labranza y la presencia de insectos benéficos en el ambiente, el hábito de crecimiento de las leguminosas ayuda a bajar las poblaciones de las malezas principalmente gramíneas (ANACAFE, 2004).

Las malezas representan un problema durante los primeros 15 a 45 días después de la siembra y cuando las plantas de maíz tienen de 3 a 8 hojas. En esos periodos es cuando el maíz se debe proteger, después es capaz de

resistir las malezas. Por lo tanto, eliminar las malezas a tiempo es necesario; basta recordar que por cada planta de maíz hay 100 a 200 plantas de malezas que compiten con ventaja (Bonilla, 2009).

D) Control biológico: La utilización de agentes biológicos (bacterias, hongos, virus, insectos, etc.) selectivos que destruyan la maleza, pero que no dañen el cultivo (Bonilla, 2009).

E) Control químico: El uso de herbicidas, que son sustancias que provocan trastornos sobre diversos procesos fisiológicos de las plantas. Es el método más común en el control de malezas. Los herbicidas actúan, ocasionando daños que en la mayoría de los casos producen la muerte de las especies susceptibles. Pueden ser selectivos (Atrazina y Nicosulfurón) y no selectivos (Paraquat y Glifosato). Sin embargo, se prefieren aquellos que no afecten al cultivo o lo dañen ligeramente sin llegar a un umbral de daño económico. En maíz los herbicidas pueden aplicarse en presembrado, preemergencia o en postemergencia (Tinoco *et al.*, 2002).

a) Aplicaciones en presembrado: Las aplicaciones en presembrado se realizan en los sistemas de labranza cero o mínima para eliminar la maleza que se encuentra en el terreno antes de la siembra del cultivo. Se aplican herbicidas formulados con Paraquat a razón de 200-400 g de ingrediente activo (i.a.) ha⁻¹, cuando se observa maleza anual de tamaño pequeño y con Glifosato a razón de 720 a 1,080 g de i.a. ha⁻¹ cuando se tienen malas hierbas perennes o de tamaño grande. El Paraquat es un herbicida de contacto, que requiere una

buena cobertura de la maleza con la solución asperjada y sus efectos se observan a las pocas horas de su aplicación. A su vez, los efectos del Glifosato se detectan entre los cinco y siete días después de aplicarlo. Ni Paraquat ni glifosato dejan residuos en el suelo, por lo que el maíz puede sembrarse después de aplicarlo, sin riesgo de toxicidad. Es importante indicar, que para aplicarlos ambos requieren de agua limpia ya que su efectividad se reduce considerablemente si se utiliza agua turbia, con altas concentraciones de sedimentos y arcillas o aguas “duras” (Tinoco *et al.*, 2002).

b) Aplicaciones en preemergencia: Las aplicaciones preemergentes se efectúan después de sembrar el maíz, pero antes de la emergencia tanto del cultivo como de las malas hierbas. Para obtener la mayor eficiencia de estos herbicidas, el terreno debe estar húmedo, bien preparado, sin terrones grandes o restos de vegetación del cultivo anterior y la aplicación debe cubrir completamente todo el terreno. Se recomienda aplicar herbicidas formulados con Atrazina cuando domine maleza de hoja ancha. La dosis de ingrediente activo de este herbicida varía de 1,000 a 2,500 g ha⁻¹; la dosis mayor se utiliza en terrenos arcillosos o con alto contenido de materia orgánica. La Atrazina también puede aplicarse en postemergencia temprana, siempre y cuando se añada un surfactante no iónico o aceite agrícola. No debe aplicarse Atrazina, si el maíz se siembra conjuntamente con otros cultivos como frijol, calabaza y hortalizas (Tinoco *et al.*, 2002).

c) Aplicaciones en postemergencia: Los herbicidas postemergentes selectivos al cultivo de maíz, se utilizan después de que han emergido tanto el

maíz como las malas hierbas. Para su buen funcionamiento, se recomienda aplicarlos en un lapso no mayor de 15 días después de emergido el cultivo, excepto el Paraquat, que se recomienda aplicar con maíz de 40 cm de altura o mayor, debiéndose evitar que caiga sobre las hojas del maíz. El 2,4-D es un herbicida sistémico que actúa sobre la maleza de hoja ancha y los coquillos. Es un herbicida hormonal que ocasiona un desbalance en el crecimiento de las especies susceptibles las cuales muestran inicialmente torcimiento de hojas y tallos, enchinamiento de hojas, aparición de raíces adventicias y progresivamente se observa una necrosis de los tejidos, lo cual conduce a la muerte de las plantas. El 2,4-D se recomienda en dosis de 480 a 960 gr de i.a. ha⁻¹, utilizándose la dosis mayor para el control de maleza de gran tamaño o coquillos (Tinoco *et al.*, 2002).

F) Control integral: Consiste en el uso combinado de los métodos preventivo, químico y mecánico. Se puede programar un manejo agronómico adecuado del cultivo, controlando con herbicidas la maleza sobre la hilera o surco del maíz y con métodos mecánicos la maleza que se desarrolla entre los surcos del cultivo. De esta manera, se aplica una menor cantidad de herbicida por hectárea, lo cual reduce los costos de producción y disminuye el riesgo de daño a los cultivos posteriores en el mismo terreno (Tinoco *et al.*, 2002).

4.5.7. Fertilización. Representa del 20 al 30 % del costo de producción del maíz forrajero. Los análisis de suelo y planta son herramientas para tomar decisiones de qué y cuánto fertilizar. El maíz extrae cantidades importantes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), denominados macroelementos. El calcio

(Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son elementos secundarios. Otros minerales se consideran micronutrientes que debido a las pequeñas cantidades que la planta requiere. Estas se encuentran en abonos foliares y son el hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), boro (B), cloro (Cl) y molibdeno (Mo). En total, se ha determinado que 16 elementos son indispensables en la nutrición del maíz (Lesur, 2005; SEP, 2007).

Las investigaciones en maíz junto con los análisis de suelo, han llevado a recomendaciones técnicas para la fertilización del maíz en regiones tropicales donde se sugiere fertilizar utilizando la fórmula 161-46-00, usando Urea (46%), Superfosfato de Calcio Triple (46%) y el fosfato diamónico (DAP) con fórmula 18-46-00. Se recomienda aplicar el fertilizante en dos ocasiones. La primera fertilización al momento de la siembra ó dentro de los primeros diez días después de la emergencia, aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno. En la segunda fertilización a los 30 días después de la primera fertilización, se aplica la otra mitad del nitrógeno. Al momento de ambas fertilizaciones, se necesita que el suelo contenga humedad y además se recomienda cubrir el fertilizante (INIFAP, 2007).

4.5.7.1. Nitrógeno: El nitrógeno es el nutriente que más requiere el maíz forrajero y el que más comúnmente limita su rendimiento. Porque la planta lo utiliza durante todo su ciclo (SEP, 2007). Sin embargo, resulta insuficiente en el suelo, por lo que es imperioso agregarlo no solo en la siembra, sino también en ciertas etapas del desarrollo del maíz. El nitrógeno que toman las plantas del suelo puede provenir de los fertilizantes, del estiércol o del nitrógeno residual

del suelo. Este elemento es un constituyente de la proteína de la planta y de la clorofila; forma parte de los ácidos nucleicos y las partes reproductivas de la célula, así como de muchas otras sustancias de la planta (Lesur, 2005).

Cuando se aplica nitrógeno en exceso, la porción que no absorbe la planta puede perderse del suelo por diferentes procesos, como volatilización de amonio (NH_4^+) y lixiviación de nitrato (NO_3^-), el cual puede contaminar los mantos acuíferos (Núñez *et al.*, 2006).

En la absorción del nitrógeno se distinguen tres fases marcadas en el cultivo del maíz. Estas son: A) desde la emergencia de la planta hasta un mes antes de la aparición de las inflorescencias femeninas, al final de este periodo se cumple un 10 % de las necesidades del nitrógeno; B) desde un mes antes de la aparición de las inflorescencias femeninas hasta la aparición de las mismas, en esta fase la absorción de nitrógeno va en aumento, siendo este el periodo de mayor demanda ya que cuando aparecen las inflorescencias femeninas, las plantas ya han absorbido más del 60 % de sus necesidades y, C) fase posterior a la aparición de las inflorescencias femeninas, en la cual la absorción se hace más lenta, lo que depende del material genético (SEP, 2007).

4.5.7.2. Fósforo. El fósforo es el segundo nutriente en importancia después del nitrógeno. Es requerido por los cultivos en cantidades inferiores al nitrógeno (Lesur, 2005), por lo que en una cosecha de 18 t ha^{-1} de MS de maíz forrajero puede extraer 252 kg ha^{-1} de N y solo unos 100 kg ha^{-1} de unidades de fósforo como pentóxido de fósforo (P_2O_5) (Núñez *et al.*, 2006). Así pues el

núcleo de cada célula contiene fósforo de tal manera que su división y crecimiento dependen de él. El fósforo se concentra en aquellas células de la planta que se dividen más rápidamente, es decir, en las partes de las raíces que tienen un crecimiento constante y en los retoños del follaje (Lesur, 2005).

El fósforo es absorbido principalmente durante las primeras etapas del ciclo del maíz. Por ello se recomienda que su aplicación total se realice al momento de la siembra (SEP, 2007). Los cultivos toman el fósforo soluble del suelo en forma de fosfatos (H_2PO_4 y HPO_4^{2-}), aunque el fósforo soluble en el suelo representa un porcentaje mínimo del fósforo total en el suelo. La mayor parte del fósforo en el suelo se encuentra en forma inorgánica, formando parte de minerales y sales en combinación con fierro, aluminio y calcio, este último abundante en los carbonatos de los suelos de zonas áridas. Otra forma en la que se encuentra el fósforo en el suelo es aquella fijada o adsorbida a minerales pero que puede ser parcialmente extractable o aprovechable por los cultivos (Núñez *et al.*, 2006).

4.5.7.3. Potasio. El potasio, es el tercer nutriente en importancia en el cultivo del maíz. Los beneficios del potasio al cultivo son: ayuda a mantener la permeabilidad de las células, es esencial en la formación de almidones, azúcares y aceites, estimula el desarrollo de las raíces y tubérculos, aumenta el vigor de las plantas y la resistencia al acame, frío y sobre todo, a las enfermedades (Lesur, 2005). El potasio es absorbido intensamente durante la etapa juvenil de la planta del maíz. A menos que se trate de suelos con texturas

muy gruesas, se recomienda la aplicación de fertilizantes potásicos totalmente en la siembra, a un lado de la semilla y tapado (SEP, 2007).

4.5.7.4. Otros nutrimentos. El calcio es un constituyente de las paredes de las células de la planta y hace que estas tiendan a ser más selectivas en su proceso de absorción. El rápido crecimiento de la extremidad de las raíces se debe en especial a la presencia del calcio, lo que indica que se necesita en grandes cantidades para el proceso de división celular. La presencia de minerales de calcio en los suelos es tan común que es raro encontrar un suelo con deficiencia de este nutriente, con excepción de aquellos que son arenosos o extremadamente ácidos. Por eso las plantas rara vez muestran deficiencias de calcio. La adición de cal o carbonato de calcio al suelo no se hace para proveer de calcio a la planta sino, por lo general, para corregir el pH del suelo cuando es extremadamente ácido y para mejorar su disposición de nutrientes y su capacidad de retención de agua (Lesur, 2005).

El magnesio ayuda a mantener la pigmentación verde de la planta del maíz, ya que la clorofila contiene un átomo de magnesio en cada molécula. También ayuda a la absorción del fósforo y favorece la formación de azúcares en el cultivo (Lesur, 2005).

4.6. Genotipos de maíz adaptados a trópico húmedo en México

4.6.1. H-520. Es un híbrido trilineal de maíz con alto potencial de rendimiento, presenta una altura de planta y mazorca de 254 y 136 cm, respectivamente. Su ciclo vegetativo es intermedio con 53 días a la floración, 90 a 100 días a madurez fisiológica, es resistente al achaparramiento, pudrición de mazorca y al acame, con buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, posee buena cobertura y es tolerante a las enfermedades. Su grano es blanco y de textura semidentada. Se recomienda sembrar este híbrido en la región tropical del sureste mexicano, en regiones con clima cálido húmedo y en alturas de 0 a 1000 msnm, en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad. Los mejores resultados se obtienen con agricultores tecnificados que aplican buenas prácticas de manejo, debido a que este híbrido se caracteriza por tener mejor respuesta en buenos ambientes. Presenta rendimientos potenciales de hasta 8 t ha⁻¹ de grano (Sierra *et al.*, 2008).

El híbrido H-520 está formado por las líneas LT154, LT155 y LT156, las dos primeras forman la cruce simple que participa como progenitor hembra, la cual por las características agronómicas, de sanidad, alto rendimiento y estabilidad se empleó en el trópico húmedo de México como H-513 (Sierra *et al.*, 1994). La línea macho LT-156 cuenta con seis autofecundaciones, alta aptitud combinatoria general (ACG), derivada de un compuesto de amplia base genética (CABG), formado en Cotaxtla, Veracruz. La línea LT-154, fue derivada de la población 21 del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), posee 4 ciclos de autofecundación; la línea LT-154 fue

derivada de la población 43 proveniente del CIMMYT, con similar nivel de endogamia (Sierra *et al.*, 2008).

4.6.2. H-564C. Éste híbrido está formado por las líneas LT158, LT159 y LT160. Las dos primeras que en su origen fueron líneas normales mismas que fueron convertidas al carácter de alta calidad de proteína, forman la cruce simple que participa como progenitor hembra, la cual por sus características agronómicas, sanidad, alto rendimiento y estabilidad se puede emplear en el trópico húmedo de México (Sierra *et al.*, 2011).

La línea macho LT160 cuenta con ocho autofecundaciones y buena ACG, fue derivada de la población 62 proveniente del CIMMYT. La línea LT158, es una línea endogámica con cinco autofecundaciones derivada de la población 21 proveniente del CIMMYT; LT159 es una línea endogámica con similar nivel de endogamia derivada de la población 43 proveniente de CIMMYT. Estos progenitores ofrecen ventajas en su mantenimiento y para la producción comercial de semilla por parte de las empresas y grupos de productores lo que permite la factibilidad real de uso por los agricultores (Sierra *et al.*, 2011).

4.6.3. A-7573. Maíz híbrido producido por Asgrow-Monsanto, presenta una altura de planta de 235 cm y una altura al elote de 100 cm. La cosecha del elote puede realizarse a los 100 días después de la siembra. Rinde 12 toneladas de elote por hectárea y 20.7 toneladas de forraje verde ha⁻¹. El largo y ancho del elote con brácteas es en promedio de 26.6 y 5.3 cm, respectivamente, el peso por pieza llega a ser de 470 g. El elote tiene 76.8 %

de azúcares y 9.7 % de proteínas, posee buena aceptación en el mercado, con una vida de anaquel aproximada de 8 días (Martínez *et al.*, 2006).

4.6.4. VS-536. De la Cruz *et al.* (2009) evaluó esta variedad de maíz fungiendo como testigo. El experimento se llevó a cabo en Villahermosa-Teapa, Tabasco. Los autores observaron que la densidad de población afectó significativamente el rendimiento en grano, encontrando que esta variedad presentó el menor rendimiento con 3.0 t ha⁻¹, con una altura de planta de 2.69 metros (la cuarta mejor altura de nueve genotipos evaluados), obtuvo también la mayor altura de mazorca con 1.23 m, y con 55 días a floración, cabe destacar que utilizó densidades de población de 44,289, 53,200 y 66,500 plantas ha⁻¹.

4.7. Factores que afectan el rendimiento de maíces forrajeros

4.7.1. Densidad de siembra. La densidad de plantas es una práctica agronómica que influye sobre la cantidad y calidad del forraje a ensilar (González *et al.*, 2005) y sobre la producción de maíz. De acuerdo a diversos estudios, por cada mil plantas que se pierdan o se establecen sin una densidad de población óptima recomendada, se dejan de producir de 50 a 70 kg de maíz por hectárea (Tinoco *et al.*, 2002).

Se ha comprobado que una reducción del 30 % de la densidad de población por debajo de la óptima sólo reduce los rendimientos en alrededor del 5 % en años buenos, y esa densidad menor aumenta los rendimientos cuando se presentan factores desfavorables. En consecuencia, las densidades

recomendadas por lo general están un 20-30 % por debajo de la densidad óptima (Lafitte, 1993). Sin embargo el uso de altas densidades de población y la adecuada distribución de plantas en el terreno son técnicas usadas para incrementar el rendimiento de los cultivos por unidad de superficie, aunque existe una respuesta diferencial de acuerdo a las características de los genotipos (Reta *et al.*, 2000).

4.7.2. Efecto del sol y la temperatura. El maíz tolera una amplia gama de temperaturas (de 5 a 45 °C), pero las temperaturas muy altas o muy bajas pueden tener un efecto negativo sobre el rendimiento. Para modificar el efecto de la temperatura el agricultor no puede hacer otra cosa que cambiar la fecha de siembra o establecer una variedad mejor adaptada o más precoz. Las variedades de maíz responden distinto al variar la temperatura (Lafitte, 1993).

La luz solar intensa no suele dañar el cultivo a menos que éste también padezca estrés por temperatura o sequía. El cultivo es afectado cuando hay poca luz solar durante períodos prolongados de tiempo nublado, en particular si coinciden con la floración. Nuevamente, el agricultor no puede hacer mucho para modificar la cantidad de luz solar de que dispone el cultivo, pero es importante reconocer los síntomas asociados con estos problemas para no confundirlos con otros factores (Lafitte, 1993).

Con temperaturas altas durante la noche, las plantas consumen demasiada energía en la respiración celular y la cantidad total de material que se acumula en los granos es menor que en las noches frescas, cuando la

respiración es menos intensa (CEDAF, 1998). Las temperaturas menores de 10 °C y mayores de 35 °C limitan considerablemente el crecimiento y rendimiento del cultivo. Por ejemplo, las altas temperaturas durante la etapa de formación de granos provocan una maduración más temprana del cultivo (Tinoco *et al.*, 2002).

Temperaturas de 30 a 35 °C pueden reducir el rendimiento y disminuir el contenido de proteínas del grano, especialmente cuando falta agua, cuando se sobrepasan los 40 °C pueden afectar la polinización, sobre todo en regiones de alta humedad relativa (CEDAF, 1998). La temperatura y humedad del aire, se encuentran relacionados entre sí en cualquier lugar, la coincidencia de estos factores sobre todo al final del ciclo es que contribuyen a retardar la madurez del grano, por otra parte, un exceso de humedad relativa también puede originar la presencia de enfermedades fungosas en el cultivo (Bonilla, 2009).

4.7.3. Fecha de siembra. La fecha apropiada para sembrar maíz es un factor determinante en el éxito productivo del cultivo ya que pueden perderse de 30 a 50 kg de maíz, por cada día de retraso en la siembra, en relación con las fechas óptimas recomendadas. Las siembras tardías durante el ciclo Primavera-Verano generalmente tienen un menor desarrollo, ya que se enfrentan a problemas por excesos de humedad, menores cantidades de luz y altas infestaciones de malas hierbas y plagas. En las plantaciones tardías del ciclo Otoño-Invierno son muy comunes las deficiencias de humedad durante el desarrollo vegetativo y formación del grano (Tinoco *et al.*, 2002).

4.7.4. Estado de madurez. El estado de madurez afecta la producción de materia seca por hectárea, el porcentaje de materia seca y la calidad del forraje. Al avanzar la madurez del maíz forrajero se promueve mayor acumulación de materia seca por hectárea, aumentando el porcentaje de materia seca debido a la pérdida de humedad de la planta y del grano pero va perdiendo calidad nutricional (Elizondo y Boschini, 2001).

Con el avance de madurez se incrementan las fracciones fibrosas en hojas y tallos, y disminuye la digestibilidad de la fibra. Sin embargo, las concentraciones fibrosas en la materia seca de la planta entera disminuyen debido al efecto de dilución por el aumento en el contenido de grano; lo cual resulta, en un aumento en la energía neta para la etapa de lactancia en vacas lecheras que aporta el ensilado de maíz. Por otra parte, el efecto del estado de madurez en el porcentaje de materia seca es importante, ya que afecta la fermentación durante el ensilaje. La cosecha en etapas tempranas provoca que el forraje tenga un alto contenido de humedad; generándose pérdidas de nitrógeno y carbohidratos por escurrimiento, así como una fermentación de tipo butírico con pérdidas de materia seca, energía y menor consumo por el ganado. Por otra parte, el forraje cosechado en una etapa de madurez avanzada tiene un porcentaje bajo de humedad; lo que dificulta el apisonamiento en el ensilado para eliminar oxígeno, ocasionando daños por calentamiento y desarrollo de mohos (Núñez *et al.*, 2006).

Existen diferencias entre localidades para definir la etapa óptima de cosecha; así, en la Región Lagunera, para optimizar el rendimiento de materia

seca por hectárea y la calidad nutricional, la cosecha se puede realizar entre grano duro y de avance de la línea de leche en el grano de maíz (90 a 105 días después de la siembra). En Aguascalientes la etapa óptima de cosecha es cuando el avance de la línea de leche en el grano sea entre (130-140 días en híbridos intermedios y de 120-130 en híbridos precoces después de la siembra). La línea de leche se observa en los granos del elote y marca el avance de endurecimiento por la maduración, dividiendo las zonas de almidón líquido y sólido. El avance de esta línea va de la parte de afuera hacia el elote o centro de la mazorca. Lo anterior se puede observar en forma fácil, notoria y visual, sobre todo en los híbridos amarillos, y con más cuidado en maíces de grano blanco (Núñez *et al.*, 2006).

4.7.5. Aporte de agua. La cantidad, distribución y eficiencia del agua son factores importantes y el que más limita la producción de maíz en las zonas tropicales (Bonilla, 2009). La sequía durante la etapa de establecimiento del cultivo puede matar plantas jóvenes y reducir la densidad de población. Durante el período vegetativo la deficiencia de agua reduce el crecimiento de las hojas, de tal modo que el cultivo intercepta menos radiación solar (Lafitte, 1993).

En floración, dos semanas antes y hasta dos semanas después de la emisión de estigmas el maíz es muy sensible a estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante ese período ya que a menudo causa la desecación del tejido foliar y la formación deficiente del grano, además de reducir el tamaño de estos en la época de llenado de granos (Bonilla, 2009). En general, el maíz necesita de 500 a 700

mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo de cultivo (CEDAF, 1998). Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo a causa de la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande a causa de las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa (Lafitte, 1993).

El estrés hídrico varía de un año a otro y puede reducir el rendimiento en más del 20 % en un año de cada cuatro. Las causas del estrés por agua son: a) precipitación insuficiente o demanda ambiental muy grande provocada por altas temperaturas y baja humedad relativa, b) suelos poco profundos con poca capacidad de retener agua, c) crecimiento radical restringido por las propiedades químicas del suelo, d) pérdida de agua de lluvia por escurrimiento, e) las malezas o un cultivo intercalado utilizan el agua (Lafitte, 1993).

Las soluciones son: a) aumentar la retención de agua en suelo mediante una cubierta, curvas de nivel o surcos con represas para mejorar la infiltración, o efectuando una aradura profunda. b) usar labranza de conservación para reducir la pérdida de agua en suelo, c) reducir la demanda de agua utilizando una menor densidad de plantas, d) sembrar en un momento diferente del año para reducir el riesgo de sequía, o usar variedades precoces, e) encalar para que el pH favorezca el crecimiento radical, f) mejorar el control de malezas, g) cambiar la fecha de siembra para aprovechar el temporal (Lafitte, 1993).

El maíz es sensible al aniego por suelos saturados con agua. Desde la siembra a la etapa V6, la saturación hídrica por más de 24 horas puede matar el

cultivo 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 por períodos de hasta una semana, pero se reduce el rendimiento (Lafitte, 1993).

Las causas del aniego pueden ser: a) campos desnivelados, b) drenaje deficiente a causa de un horizonte endurecido, c) lluvias muy intensas o riego excesivo, d) uso inapropiado de curvas de nivel o surcos con represas. Entre las posibles soluciones se encuentran: a) nivelar el campo o no sembrar maíz en terrenos bajos, b) romper el horizonte endurecido mediante subsoleo o sembrando un cultivo de raíces profundas durante un ciclo, c) instalar canales de drenaje y, d) sembrar en camas anchas y elevadas o en surcos (Lafitte, 1993).

4.7.6. Variabilidad genética. Todas las variedades de maíz pueden cultivarse para forraje, pero las de mayor rendimiento son aquellas variedades de porte alto. Los híbridos por su porte bajo generalmente producen menos cantidad de forraje por unidad de área (Elizondo y Boschini, 2001).

Existe gran variabilidad genética en características agronómicas y de calidad nutricional entre híbridos de maíz para forraje. Las características agronómicas más variables son: altura de planta, días a cosecha, porcentaje de grano y rendimiento de materia seca por hectárea. Algunas de estas características pueden estar relacionadas entre sí. En ciertos híbridos, un mayor rendimiento de materia seca por hectárea está asociado a plantas altas y ciclos de cosecha más largos. Por otra parte, la digestibilidad se asocia a

híbridos de porte más bajo, con ciclos de cosecha más cortos y a mayor porcentaje de mazorca. Debido a que el rendimiento de materia seca por hectárea y la calidad nutricional no están consistentemente relacionados, se puede seleccionar híbridos de maíz con alto rendimiento y alta calidad nutricional (Núñez *et al.*, 2006).

4.7.6.1. Selección de híbridos de maíz para forraje. Se deberá seleccionar híbridos de maíz superiores en producción de forraje al menos durante dos años en la localidad de interés. La elección del tipo de híbrido en ocasiones obedece a la fecha de siembra. En zonas áridas semi-cálidas donde es posible tener dos ciclos (primavera y verano), se deben considerar híbridos precoces de origen templado para fechas tempranas en primavera, e híbridos intermedios para fechas tardías de primavera y para el ciclo de verano. En regiones semiáridas templadas, con un ciclo por año, se recomiendan híbridos intermedios del 1° de abril al 10 de mayo y precoces para siembras del 10 de mayo a mediados de junio (Núñez *et al.*, 2006). Para regiones montañosas, con altitud superior a 1000 msnm, se sugieren semillas criollas (Tinoco *et al.*, 2002).

Existe material genético (híbridos y variedades), con adaptación y potencial productivo en las principales regiones cálido-húmedas del país con altitudes de cero a 1000 msnm, con temperatura media anual de 25 °C, y precipitaciones entre 800 y 1600 mm (INIFAP, 2007). Los principales híbridos para temporadas de primavera-verano son: H-512, H-513, H-518, H-520, H-519C, H-553C. Variedades para primavera-verano se encuentran: V-530, VS-536, V-531, V-537C y V-556AC (INIFAP, 2007). Además los híbridos H-553C,

H-519C y la variedad V-537C son aptos para el ciclo otoño-invierno. En general estos híbridos presentan buen rendimiento de grano (6.3-8.5 t ha⁻¹), toleran el acame, tienen buena cobertura de mazorca, excelente a buena sanidad de planta, adaptación a ambientes húmedos, resisten enfermedades foliares y lluvias excesivas (Tinoco *et al.*, 2002).

4.7.6.2. Híbridos de maíz de alto rendimiento en forraje. Núñez *et al.* (2006) mencionaron que debido a que el potencial de producción de leche por hectárea es afectado tanto por el rendimiento como por la calidad nutricional del forraje, se debe considerar estas características en la selección de híbridos de maíz para forraje. Por ello estos híbridos deben presentar alto rendimiento de materia seca (mayor a 19 t ha⁻¹), alto porcentaje de mazorca (más de 45 %), concentración baja de fibra detergente neutro (menos de 55 %), alta digestibilidad *in vitro* (más de 73 %) y alta concentración de energía neta de lactancia (más de 1.4 Mcal kg⁻¹ de materia seca). Y es que en México los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia bajo (menos de 1.5 Mcal kg⁻¹ de materia seca) en comparación con ensilados de maíz en Estados Unidos de América y Europa (Chalupa, 1995). Esto se atribuye a que solo se ha hecho énfasis, principalmente en el rendimiento por hectárea en el maíz para forraje sin considerar su valor nutritivo para los ensilados, ya que no se disponía de información acerca de la importancia de este aspecto (Núñez *et al.*, 2003).

4.8. Componentes de crecimiento del cultivo de maíz

4.8.1. Altura de planta. Componente del crecimiento que sirve para determinar el tamaño de una planta y así poder estimar otras variables de crecimiento. Se mide desde el suelo hasta la base de la espiga (IBPGR, 1991).

4.8.2. Área foliar total. Define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Warnock *et al.*, 2006).

4.8.3. Índice de área foliar. El IAF, entendido como el área de las hojas del cultivo presente o concentrada en el área de un metro cuadrado de suelo, por tanto, no tiene unidades (Rincón *et al.*, 2007).

4.8.4. Diámetro de tallo. Variable que sirve de referencia para conocer la dinámica de crecimiento del maíz; el cual se mide desde el primer entrenudo tomado de la base (Betancourt *et al.*, 1998). Termunde *et al.*, (1963) y Aguila *et al.*, (1971), observaron que al aumentar la densidad de plantas disminuye el diámetro de tallo. En contraste Colville (1966), encontró que el diámetro de tallo aumenta a medida que se reduce la distancia entre hileras.

4.8.5. Días a floración masculina. Días hasta la antéesis, es el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas ha liberado el polen (IBPGR, 1991).

4.8.6. Días a floración femenina. Días hasta la emisión de estigmas, se corresponde con el número de días desde la siembra hasta que han emergido los estigmas del 50 % de las plantas (IBPGR, 1991).

4.9. Componentes de rendimiento del cultivo de maíz

El rendimiento en maíz queda determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. A su vez, el crecimiento de un cultivo depende de la radiación interceptada, de la capacidad de su área foliar para interceptarla “efecto de intercepción” y de la eficiencia con que el cultivo transforma la radiación en materia seca (efecto de conversión), (Marozzi *et al.*, 2005). Por su sistema fotosintético C4, el maíz es muy eficiente en comparación con trigo y soya para convertir la radiación en biomasa.

Una forma de expresar el rendimiento del maíz es conociendo la producción de materia seca (biomasa) y el índice de cosecha (relación kg granos/kg biomasa/aérea) del cultivar. Sin embargo, bajo ciertas condiciones este índice de cosecha puede variar (Marozzi *et al.*, 2005). Ante esto Turrent *et al.* (1999), mencionaron que el rendimiento es una variable biológica compleja en la que participan diversos factores: tierra, agua, clima, mano de obra, tecnología, capital, programas públicos de apoyo agrícola, e investigación científica.

4.9.1. Número de elotes por planta. El rendimiento de maíz se asocia con el número y tamaño de mazorcas (elote) por planta. Generalmente, una o más mazorcas que la planta de maíz desarrolla son normales (funcionales) y el resto fenecen; tales aspectos son función de variedad o híbrido, condiciones de cultivo y ambiente (Laverde-Peña *et al.*, 1986). Cuando a una planta de maíz se le remueven sus mazorcas funcionales se estimula el crecimiento de mazorcas no funcionales, este fenómeno se interpreta como un efecto de la mazorca funcional superior sobre el desarrollo de las más inferiores no funcionales (Harris, Moll 1976 citado por Laverde-Peña *et al.*, 1986).

Las principales diferencias entre las mazorcas funcionales y las no funcionales de algunos maíces son: que las no funcionales tienen más bajas concentraciones de agua, proteínas, sucrosa y bajo peso fresco y seco. Al remover las mazorcas funcionales se aumenta el contenido de minerales, proteínas, peso fresco y seco de las mazorcas no funcionales que se han transformado en funcionales (Laverde-Peña *et al.*, 1986).

4.9.2. Rendimiento forrajero. El maíz, es una excelente opción forrajera que por su productividad podría ser utilizado en zonas ecológicas en donde, ni aun los pastos más adaptados, permitirán maximizar la capacidad de carga animal por hectárea. El maíz ha mostrado excelente palatabilidad y en consecuencia un alto consumo por el ganado. Es uno de los mejores cultivos para ensilar, ya que reúne muy buenas condiciones de valor nutritivo, alto contenido de azúcares y alto rendimiento por unidad de área. Los rendimientos

que se puedan obtener varían según la variedad, fertilidad del suelo, edad de corte y densidad de siembra entre otros factores (Elizondo y Boschini, 2002).

Se sabe que para obtener mayores rendimientos de forraje por unidad de área, es necesario aumentar la densidad de siembra, sin que ello repercuta en el valor nutritivo de la hoja, el tallo o la planta entera (Elizondo y Boschini, 2002). Por su parte Peña *et al.* (2010) encontraron un aumento de la producción de materia seca del forraje, ya que al aumentar la densidad de plantas de 60,000 a 100,000 plantas ha⁻¹, se incremento la producción de materia seca total en 2.2 t ha⁻¹. Sin embargo, esto no influyó en la calidad de forraje y en la producción de leche como otros trabajos realizados sugieren.

Peña *et al.* (2010) trabajaron con fertilización química nitrogenada en maíz utilizando 180 a 240 unidades de N, obteniendo incrementos en materia seca de 3.3 t ha⁻¹, pero no tuvo efectos significativos en la calidad forrajera, ni en la producción de leche. Trejo *et al.* (2013) encontraron incrementos en materia verde de forraje al aplicar estiércol de ganado bovino durante diez años de estudio, con 80 Mg ha⁻¹ (megagramos por hectárea = 1,000 kilogramos) o más. Durante la mayoría de los años de estudio, los tratamientos de estiércol fueron superiores en rendimiento al testigo e iguales o superiores al tratamiento químico; esto demuestra la bondad del estiércol convirtiéndose en una excelente alternativa para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localidad de evaluación

La investigación se condujo en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, la cual se localiza a 18° 06' 25" LN y 95° 52' 50" LW a una altura de 25 msnm. El clima del lugar es Am que es un tropical lluvioso con abundantes lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío mayor de 18 °C (García, 2004). La precipitación y temperatura media anual son de 1,845 mm y 24.7 °C, respectivamente (Anónimo, 2005). Los suelos dominantes en el Municipio son: arenosoles cámbicos de textura gruesa y acrisoles húmico y órtico de textura fina, varios de los cuales presentan un pH ácido (Zetina *et al.*, 2002; Anónimo, 2005).

5.2. Material genético

De Noviembre de 2007 a Febrero de 2008 se estableció en campo el primer experimento (E₁), sembrando maíces adaptados a trópico, los genotipos en estudio fueron: H-520, HE-1A17, HE-2A15, V-556AC, VS-536, A7573, provenientes del Programa Maíz del Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Cotaxtla, Veracruz, México. También se incluyó un genotipo criollo colectado en Papantla, Veracruz, por presentar buen rendimiento en hoja y forraje. En 2009 se condujo un segundo experimento (E₂) estableciendo los genotipos indicados en el experimento uno, excepto los híbridos HE-1A17 y HE-2A15 por carecer de semilla suficiente, lo que motivó que el segundo ensayo se probara el híbrido H-564C (Cuadro 2).

Cuadro 2. Genotipos de maíz evaluados por su potencial forrajero en Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 y 2009.

Genotipo	Genealogía	Institución o Empresa	Genotipo
H-520	(LT154xLT155)x(LT156) [‡]	INIFAP-Cotaxtla	Híbrido Triple
HE-1A17	Híbrido experimental	INIFAP-Cotaxtla	Híbrido
HE-2A15	Híbrido experimental	INIFAP-Cotaxtla	Híbrido
V-556AC	Variedad Poliniz. Libre	INIFAP-Cotaxtla	Variedad
VS-536	Variedad sintética	INIFAP-Cotaxtla	Sintético
A7573	No disponible	Asgrow-Monsanto	Híbrido Triple
Criollo	Variedad Poliniz. Libre	Productores Papantla, Ver.	Criollo
H-564C	Híbrido experimental	INIFAP-Cotaxtla	Híbrido

[‡]LT154xLT155 formaron el H-513, LT156 es una línea con seis autofecundaciones formada en el Campo Cotaxtla, Veracruz, México (Sierra *et al.*, 2008).

5.3. Tratamientos, diseño y parcela experimental

El primer experimento comprendió del 12 de Noviembre de 2007 al 20 de Febrero de 2008. Los tratamientos en estudio fueron la combinación de siete genotipos (H-520, HE-1A17, HE-2A15, V-556AC, VS-536, A7573, criollo para hoja) y tres densidades de siembra (50,000, 62,500, 83,333 plantas ha⁻¹) que se distribuyeron en el terreno en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones lo que generó 84 parcelas experimentales. La parcela experimental de 16 m², constó de cuatro surcos (surcado a 0.80 m) de cinco metros de longitud. La parcela útil estuvo

conformada por dos surcos centrales de los que se tomaron diez plantas con competencia completa para hacer las estimaciones de componentes de crecimiento y rendimiento.

El segundo experimento abarcó del 21 de enero al 20 de Abril de 2009. Se trabajó con los genotipos: H-520, H-564C, V-556AC, VS-536, A7573 y criollo para hoja; utilizando las tres densidades indicadas en el primer experimento. El diseño experimental consideró bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela útil y experimental fue equivalente a lo declarado para el primer experimento.

5.4. Manejo de los experimentos

La preparación del terreno con maquinaria consistió en barbecho, rastreo, cruza y surcado, teniéndose una distancia de 0.80 m entre líneas. La siembra se efectuó manualmente el 12 de noviembre de 2007 (experimento uno) y el día 21 de enero de 2009 (experimento dos); depositando dos semillas por mata a distancias de 25, 20 y 15 cm. Cuando las plantas tenían una altura de 20 cm se raleó para ajustar las densidades a 50,000, 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹.

En la primera labor, a los 25 días después de siembra, se fertilizó con la fórmula 161-46-00 (INIFAP, 2007) aplicando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, con la segunda labor se incorporó el nitrógeno restante. Las malezas se eliminaron manualmente durante el ciclo vegetativo del cultivo y el control de plagas se realizó con paration metílico (50 % p/v 1 L ha⁻¹) y clorpirifós etil (480 g

de i.a. 0.75 L ha^{-1}). La cosecha se efectuó el día 20 de Febrero de 2008 y 20 de Abril de 2009, para el experimento uno y dos, respectivamente.

5.5. Variables registradas

5.5.1. Crecimiento. a) Se midió en diez plantas la altura (AP), considerando la distancia en cm desde la superficie del suelo al punto de crecimiento.

b) El área foliar total (AFT; cm^2); se estimó midiendo diez plantas considerando largo (cm) x ancho de la hoja (cm) x 0.75 (Tanaka y Yamaguchi, 1984).

c) El índice de área foliar (IAF), se estimó al dividir el área foliar total entre el área de suelo ocupada por la planta en plena fase de llenado de grano que en promedio ocurrió a los 90 días después de siembra (Díaz *et al.*, 2007). Debido a que las densidades de siembra fueron distintas, el divisor utilizado en el cálculo del IAF fue: (área de planta a $50,000 \text{ plantas ha}^{-1} = 25 \times 80 = 2,000$; $62,500 \text{ plantas ha}^{-1} = 20 \times 80 = 1,600$; $83,333 \text{ plantas ha}^{-1} = 15 \times 80 = 1,200$).

d) El diámetro de tallo (DTA) se estimó en cm con un vernier al momento de cosechar el forraje.

Haciendo todas las determinaciones a los 21, 35, 56, 71, 90 y 100 días después de siembra para el experimento uno y solo se hicieron cinco muestreos en el experimento dos que correspondieron a los 21, 35, 56 y 90 días.

e) Durante el desarrollo de la planta se contabilizó floración masculina (DFM) y femenina (DFF), considerando los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas derramaban polen.

5.5.2. Rendimiento. Se contabilizó el número de elotes completamente desarrollados por planta (ELO). A partir del peso total por planta (PPL, g) que consideró la suma en pesos de órganos vegetativos y reproductivos; se estimó el rendimiento de forraje (REN) en toneladas por hectárea. Para ello, se cosechó el forraje de dos surcos centrales de la parcela útil, no considerando las plantas que se encontraban a un metro del final de cada extremo del surco para evitar efecto de orilla y así tener plantas con competencia completa. Para su determinación se usó una báscula digital con capacidad para 40 kg.

5.5.3. Análisis estadístico. Se calcularon análisis de varianza en cada experimento para las distintas variables en estudio y la comparación de medias entre genotipos se hizo con la prueba de Tukey al nivel de significancia de 1 %. El análisis de varianza se efectuó haciendo uso del procedimiento GLM del Software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2010), teniendo como fuentes de variación a genotipos (G), densidades (D), repeticiones (R), la interacción GxD, además del error parcelar (E) e intraparcelar (W). Se realizó un análisis conjunto de la información en aquellos genotipos que se evaluaron en ambos ensayos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis de varianza. Este indicó que los genotipos en estudio presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) en altura de planta, diámetro de tallo, área foliar total por planta, índice de área foliar, días a floración masculina y femenina, peso total por planta y rendimiento total por planta de forraje por hectárea, tanto en el primero como en el segundo experimento (Cuadro 3). Existieron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) para densidades (D), repeticiones (R) e interacción de genotipos por densidades (GxD) para la mayoría de variables estudiadas en los dos experimentos realizados.

Se detectaron diferencias al 5 % de probabilidad para densidades, genotipos e interacción GxD. Nótese que no hubo diferencia estadística en dos variables para repeticiones (DTA, ELO) y en una variable en la interacción GxD en el segundo experimento (Cuadro 3). El comportamiento anterior indica diferencias entre genotipos y densidades, atribuido a que la temperatura y precipitación se comportaron de manera diferencial de un ciclo a otro. Los coeficientes de variación son aceptables (Cuadro 3), indicando una consistencia entre información y modelo estadístico utilizado.

Cuadro 3. Cuadrados medios de nueve caracteres en maíces forrajeros. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

Carácter	Fuente de variación								
	Media	C.V.	Repetición (R)	Densidad (D)	Genotipo (G)	GxD	E	W	
ALP	†191.5	10.5	4,339.7 **	5,093.4 **	85,202.3 **	1,643.6 **	3,414.3	404.9	
	ψ184.8	8.7	18,768.5 **	1,562.8 **	28,073.3 **	1,398.8 **	1,388.1	261.7	
DTA	6.2	13.9	16.4 **	18.6 **	7.7 **	2.6 **	2.4	0.7	
	7.4	12.1	2.0 ns	13.6 **	20.5 **	5.2 **	5.5	0.8	
DFM	66.7	0.2	198.5 **	73.5 **	1,761.2 **	70.8 **	121.6	0.1	
	67.3	0.2	105.7 **	22.4 **	695.3 **	26.2 **	15.9	0.2	
DFF	70.1	0.1	149.6 **	119.9 **	2,305.9 **	135.2 **	170.0	0.1	
	73.2	0.1	214.0 **	14.6 **	1,191.8 **	28.6 **	26.0	0.2	
AFT	4,257.0	18.9	29,508,038.6 **	13,467,657.0 **	69,731,542.1 **	3,690,705.0 **	615,949.5	65,393.0	
	4,674.7	12.9	7,615,938.6 **	5,317,978.9 **	189,911,832.9 **	3,599,902.0 **	2,762,493.0	364,430.0	
IAF	2.8	19.1	12.3 **	97.2 **	29.4 **	2.1 **	2.6	0.3	
	3.0	12.5	3.2 **	83.1 **	79.8 **	2.5 **	1.1	0.2	
ELO	1.0	14.0	0.2 **	0.3 **	0.3 **	0.2 *	0.1	0.2	
	1.0	18.9	0.1 ns	0.2 *	0.1 *	0.1 ns	0.1	0.1	
PPL	464.3	32.0	1,467,271.3 **	358,547.0 **	1,382,654.1 **	158,384.0 **	239,224.0	22,197.0	
	490.0	24.2	1,009,922.5 **	245,751.0 **	246,113.3 **	21,110.4 *	44,381.7	14,029.2	
REN	30.1	34.1	6,009.4 **	11,490.7 **	6,005.8 **	892.5 **	926.4	105.3	
	31.6	24.8	3,672.0 **	6,361.6 **	1,062.1 **	119.3 *	161.4	61.4	
GL			†3	2	6	12	60	756	
			ψ2	2	5	10	34	486	

†=Experimento uno (Noviembre de 2007 a Febrero de 2008), ψ=Experimento dos (Enero a Abril de 2009). *,**=Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y altamente significativas ($P \leq 0.01$), ns=no significativo, E=Error parcelar, W=Error intraparcular, C.V.=Coeficiente de variación (%), GL=Grados de libertad, ALP=Altura de planta, DTA=Diámetro de tallo, DFM=Días a floración masculina, DFF=Días a floración femenina, AFT=Área foliar total por planta, IAF=Índice de área foliar, ELO=Número de elotes por planta, PPL=Peso total por planta, REN=Rendimiento de forraje por hectárea.

6.2. Análisis de crecimiento. La altura de la planta al finalizar cada ciclo de producción fue estadísticamente superior ($P \leq 0.01$) en el genotipo criollo ($E_1=244$; $E_2=216$ cm), seguido de la variedad sintética VS-536 ($E_1=192$, $E_2=194$ cm); en comparación con los híbridos: HE-1A17, HE-2A15, H-520, H-564C y A7573 (Figuras 1A y B), situación que fue consistente de un ensayo a otro. Al inicio del ciclo y hasta el día 56 la altura de planta fue similar entre genotipos; de allí en adelante las alturas variaron notoriamente, toda vez que híbridos como el H-520 tuvieron una diferenciación floral rápida promediando 65 días a floración masculina (DFM) y 69 a floración femenina (DFF); mientras que el criollo promedió 72 y 78 días a floración masculina y femenina, respectivamente (Cuadro 4).

El sintético VS-536 acumuló 68 DFM y 73 DFF, lo que confirmó que las variedades fueron más tardías que los híbridos generando que las primeras registraran mayores alturas de planta (Cuadro 4). Esta información difiere de la encontrada por Tosquy *et al.* (1995), quienes contabilizaron 52 DFM para la variedad VS-536. Sierra *et al.* (2008) indicaron que en el sureste mexicano en primavera-verano el H-520 en 56 días llega a floración masculina y su madurez fisiológica ocurre entre 90 y 100 días, alcanzando alturas de planta de 228 cm y 139 cm a la mazorca. Tales resultados no concuerdan con los de este trabajo, debido a que los ensayos de campo se condujeron en temporal, en épocas donde la humedad del suelo fue limitante.

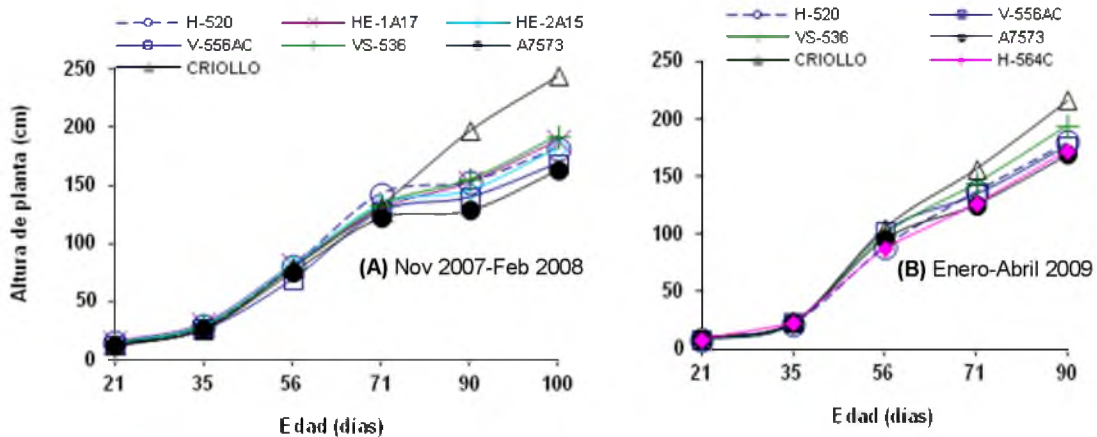


Figura 1. Altura de planta de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha^{-1}). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

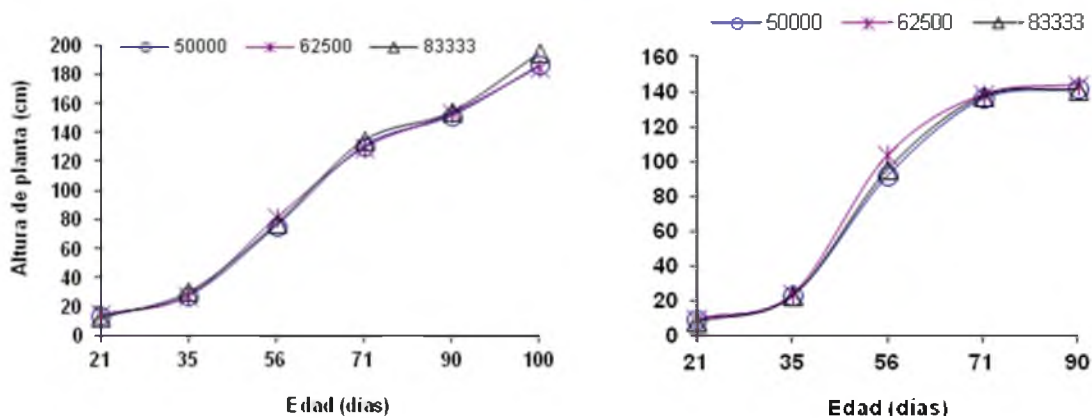


Figura 2. Altura de planta (cm) en tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha^{-1}) en promedio de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

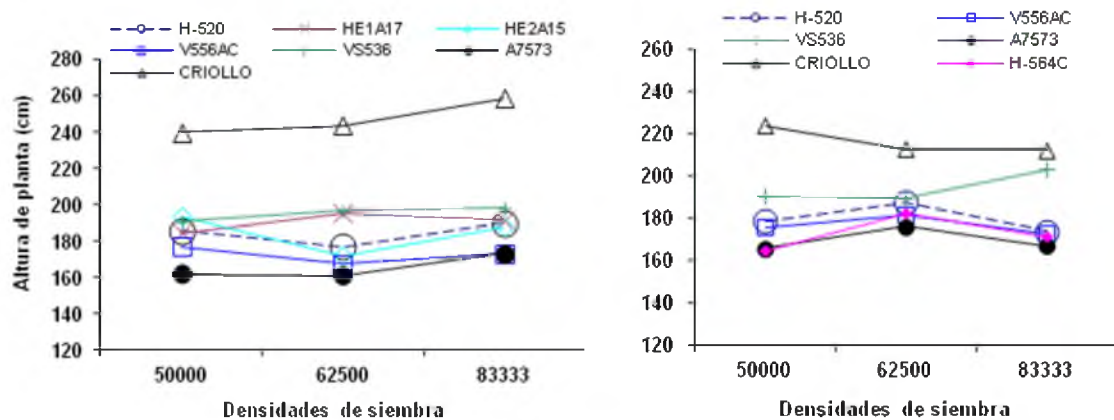


Figura 3. Altura de planta de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

En 2009, la lluvia de enero a abril fue escasa (Figura 4). Sin embargo, trabajar con escasez de humedad en estos meses fue necesario, ya que en trópico húmedo se cultivan tres millones de ha de maíz; donde 80 % de la superficie es de temporal (Cano *et al.*, 2001; Martín *et al.*, 2008), lo que justifica estudiar diferentes genotipos para aumentar su productividad por unidad de superficie y hacer más rentable el cultivo.

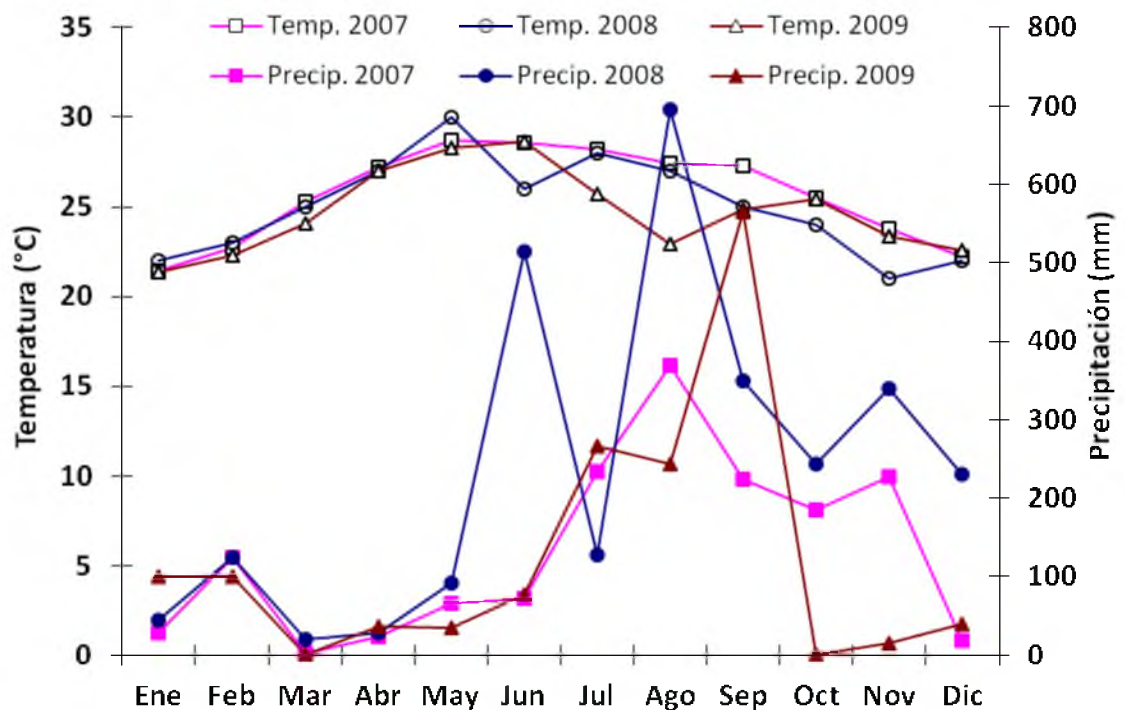


Figura 4. Comportamiento de la temperatura (°C) y precipitación (mm) en Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007, 2008 y 2009.

La altura de planta considerando densidades, en promedio de genotipos, tuvo un comportamiento similar (Figuras 2A y B), lo que en primera instancia sugiere que el número de plantas por hectárea no influyó en los componentes de rendimiento. Aunque, al analizar la interacción GxD se identificó que las

densidades de siembra tuvieron un efecto muy marcado sobre los genotipos en estudio lo que repercutió en que se detectaran alturas de planta estadísticamente diferentes (Figuras 3A y B).

Cuadro 4. Días a floración masculina y femenina en maíz forrajero para los experimentos uno, dos y el combinado. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

Genotipo	Floración masculina (Días)			Floración femenina (Días)		
	†Expt1	ψExpt2	∓Combinado	Expto.1	Expto.2	Combinado
H-520	64.0 b	65.7 d	64.9 d	67.3 c	70.7 e	69.0 d
HE-1A17	65.9 b	ND	65.9	70.1 bc	ND	70.1
HE-2A15	65.2 b	ND	65.2	68.8 bc	ND	68.8
V-556AC	65.7 b	65.4 e	65.6 c	69.0 bc	71.0 d	70.0 c
VS-536	69.0 ab	67.2 c	68.1 b	73.7 ab	72.8 c	73.3 b
A7573	64.3 b	64.3 f	64.3 e	66.7 c	69.8 f	68.3 e
Criollo	72.5 a	71.6 a	72.1 a	76.2 a	79.6 a	77.9 a
H-564C	ND	69.7 b	69.7	ND	75.0 b	75.0
MEDIA	66.7	67.3	67.0	70.3	73.2	71.7
DMS	5.1	0.3	0.4	6.0	0.2	0.6

†=Experimento uno (Noviembre de 2007 a Febrero de 2008), ψ=Experimento dos (Enero a Abril de 2009). ∓=Análisis conjunto de la información que consideró a los genotipos: H-520, V-556AC, VS-536, A7573 y criollo para hoja, ND=No disponible, DMS=Diferencia mínima significativa de Tukey al 0.05 de probabilidad.

El área foliar al final de cada experimento fue mayor en el genotipo criollo ($E_1=5,834 \text{ cm}^2$; $E_2=7,515 \text{ cm}^2$), seguido por el H-520 ($E_1=4,342$; $E_2=4,344 \text{ cm}^2$) y VS-536 ($E_1=4,028$; $E_2=4,368 \text{ cm}^2$) (Figuras 5A y B). La densidad que presentó

áreas foliares mayores fue la de 50,000 plantas ha^{-1} ($E_1=4,500$, $E_2=4,730$ cm^2), superando en el primer ciclo a la de 62,500 plantas ($E_1=4,191$, $E_2=4,812$ cm^2) y en las dos evaluaciones a la densidad de 83,333 ($E_1=4,078$, $E_2=4,482$ cm^2) (Figuras 6A y B), esto se atribuye a que las plantas que crecieron a densidades de población bajas tuvieron menor competencia por luz, agua y nutrientes, lo que repercutió en que se generaran doseles de planta más vigorosos.

Subedi *et al.* (2006), evaluaron durante dos años la respuesta de híbridos de maíz a densidades de población y fertilización nitrogenada. Encontraron que el AF decreció al incrementar la densidad de plantas de 60,000 ($E_1=4,800$; $E_2=5,700$ cm^2) hasta 75,000 ($E_1=4,400$; $E_2=5,500$ cm^2) y 90,000 plantas ha^{-1} ($E_1=4,100$; $E_2=5,400$ cm^2). Dwyer y Stewart (1986), reportaron AF totales por planta de 4,570 a 6,638 cm^2 , información concordante con la del presente estudio. Camacho *et al.* (1995), en nueve genotipos de maíz a 80 mil plantas ha^{-1} , cuantificaron áreas foliares de 5,327 a 8,411 cm^2 . Yang y Alley (2005), encontraron que el AF total por planta de maíz varió entre genotipos de 2,921 a 8,703 cm^2 , atribuido a que el número de hojas por planta osciló entre 14 y 23.

Al analizar el área foliar considerando la interacción entre genotipos y densidades de siembra, se encontró que la densidad de 50,000 y 62,500 plantas superó a aquella de 83,333 plantas ha^{-1} (Figuras 7A y B). En estos experimentos los genotipos criollo e híbridos H-520 y H-564C acumularon la mayor área foliar.

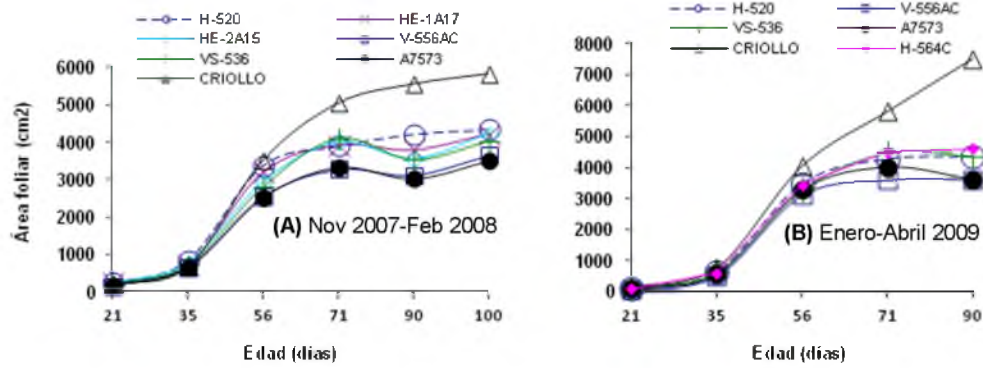


Figura 5. Área foliar (cm²) de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en promedio de tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

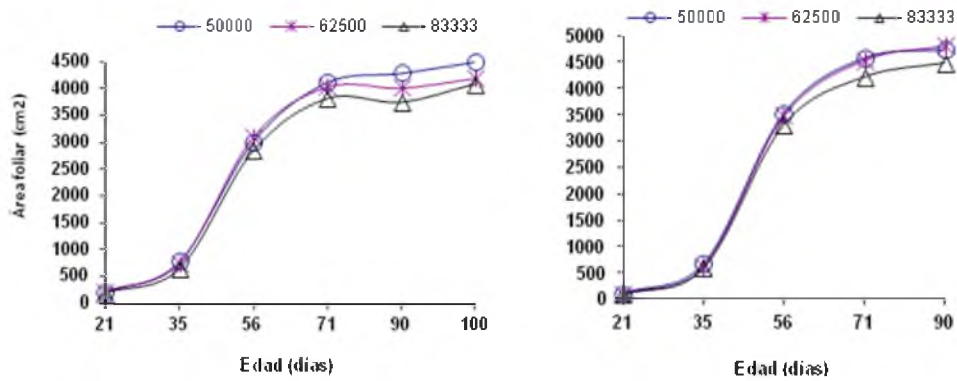


Figura 6. Área foliar (cm²) en tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹) en promedio de genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

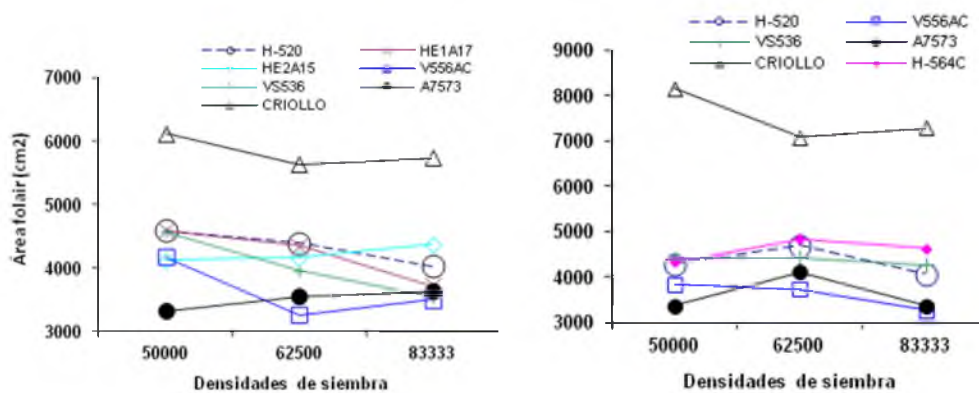


Figura 7. Área foliar (cm²) de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas ha⁻¹). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

El híbrido A7573 presentó las menores acumulaciones de área foliar ($E_1=3,025$; $E_2=3,611$ cm²); atribuido a que tuvo bajas alturas de planta ($E_1=163$, $E_2=169$ cm) (Figuras 2 y 4), afectado por temperaturas intensas afectándose el contenido de humedad en suelo, aire y planta. Rivera *et al.* (2009) estudiaron en maíz A7573 cuatro niveles de tensión de humedad en suelo (-5, -30, -55, -80 kPa) y tres niveles de fertilización (60, 80 y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅), encontraron que a -80 kPa la altura de planta promedió 183-221 cm, el diámetro de tallo osciló en 2.74 y 3.18 cm y su rendimiento en elote varió de 6.6 a 16.7 t ha⁻¹; así, al disminuir el contenido de agua en la planta el rendimiento del híbrido se afectó de manera negativa.

Los índices de área foliar (IAF) fueron mayores en el genotipo criollo ($E_1=3.8$; $E_2=4.9$) y los más bajos se registraron en el híbrido A7573 ($E_1=2.3$; $E_2=2.4$) (Figuras 8A y B). Tinoco *et al.* (2008), en trópico húmedo, estudiaron en floración el arreglo espacial sobre el IAF de híbridos de maíz para grano; encontrando que el IAF varió de 3.4 a 4.2. Amado y Ortiz *et al.* (1998), determinaron la respuesta del híbrido de maíz 7251 a humedad del suelo (30, 60 y 90 % de abatimiento), nitrógeno (100 a 550 kg N ha⁻¹) y densidad de población (45,000 a 125,000 plantas ha⁻¹), reportando un IAF de 2.2 a 4.8; corroborándose que con un IAF alto, se obtiene un mayor rendimiento en materia seca; por el contrario, los bajos índices de área foliar repercuten en menores cantidades de biomasa.

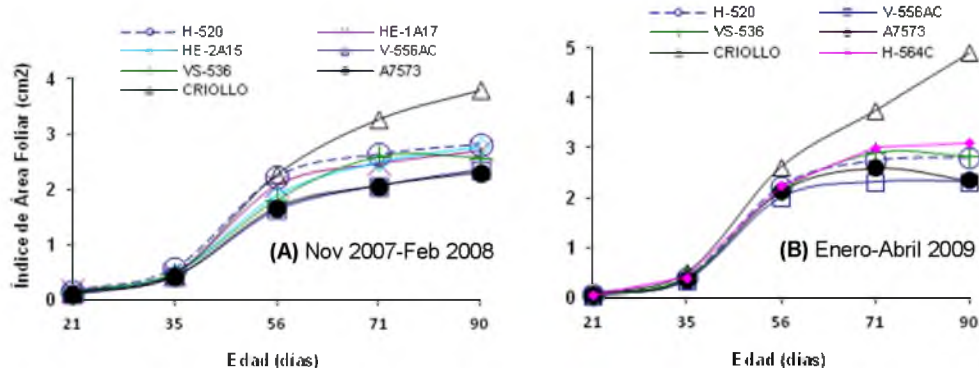


Figura 8. Índice de área foliar de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz en promedio de tres densidades de siembra. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

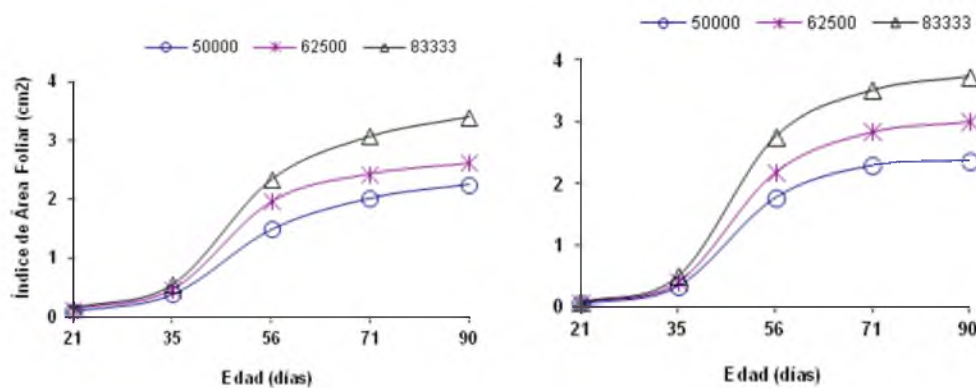


Figura 9. Índice de área foliar en tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas por hectárea) en promedio de genotipos de maíz. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

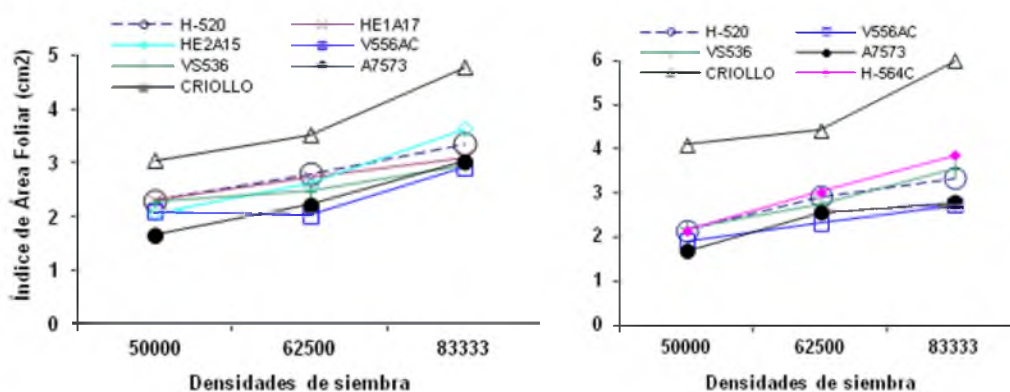


Figura 10. Índice de área foliar de siete (A) y seis (B) genotipos de maíz, en la interacción entre genotipos y densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

El IAF por densidad en promedio de genotipos fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) superando la densidad de 83,333 plantas ha^{-1} ($E_1=3.4$; $E_2=3.7$) a aquella de 62,500 plantas ($E_1=2.6$; $E_2=3.0$); y esta a su vez, sobresalió sobre la de 50,000 plantas ha^{-1} ($E_1=2.3$; $E_2=2.4$; Figuras 9A y B). De igual forma, Camacho *et al.* (1995) realizaron una caracterización de nueve genotipos de maíz, en relación con el área foliar, dichos autores encontraron que el IAF varió entre 4.3 y 6.6; por lo que concluyeron que el rendimiento de grano de maíz aumenta a medida que lo hace el índice de área foliar. Dichos autores también señalaron que el IAF es una consecuencia directa del área foliar total por planta.

Al analizar el IAF considerando la interacción entre genotipos y densidades de siembra, se observó que la densidad de 83,333 y 62,500 superaron claramente a la de 50,000 plantas ha^{-1} (Figuras 10A y B). En las tres densidades estudiadas el genotipo criollo y los híbridos H-520 y H-564C acumularon los índices de área foliar mayores. Los IAF menores en los dos experimentos para la interacción GxD se presentaron en el híbrido A7573 y en la variedad V-556AC, lo que fue consistente con lo observado en relación con la acumulación de área foliar.

6.3. Análisis de rendimiento. El rendimiento en forraje de genotipos en promedio de densidades varió entre ensayos (Figura 11). En el E_1 el criollo promedió 44.2 t ha^{-1} de materia verde, estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) en 26.5 % al testigo VS-536 (32.5 t ha^{-1}). El menor rendimiento lo tuvo A7573 (22.2 t ha^{-1}), en concordancia con su baja altura de planta y área foliar. Aun cuando el

criollo no se cosechó en etapa óptima, por ser tardío, por rendimiento superó a otras variedades e híbridos, situación similar a la reportada por Elizondo y Boschini (2002), quienes al estimar la producción de forraje, encontraron que el rendimiento a una misma edad de cosecha fue 30 % mayor en un genotipo criollo con relación a híbridos atribuido a que su altura de planta fue mayor.

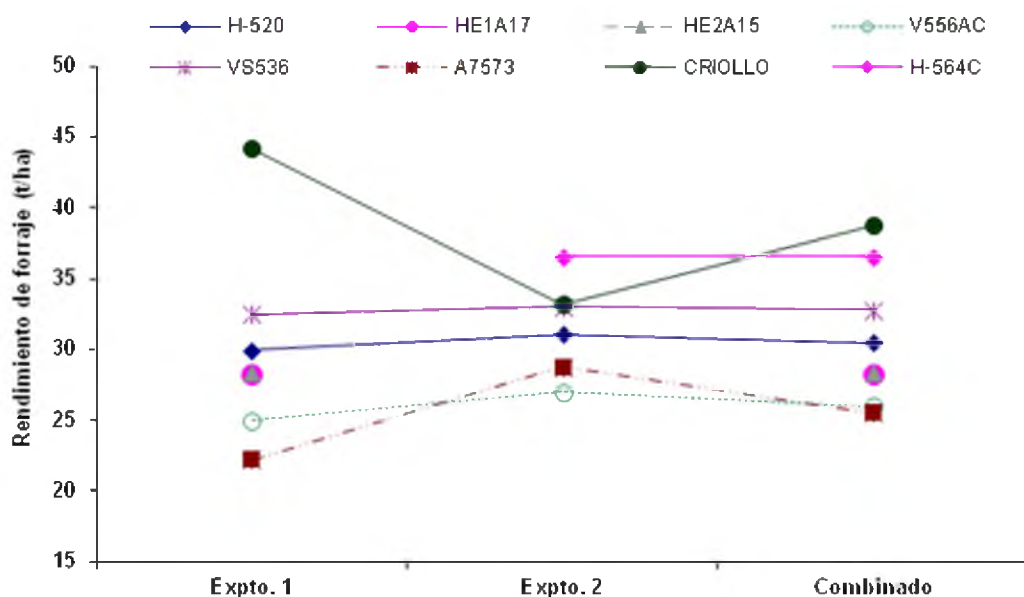


Figura 11. Rendimiento en forraje de genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000; 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

En el experimento dos el H-564C (36.6 t ha⁻¹), en promedio de densidades, superó al criollo (33.3 t ha⁻¹; Cuadro 5). Dicha respuesta es atribuible a que en el E₂ la sequía afectó el desempeño de genotipos, pero el H-564C fue más eficiente por reducir sus días a floración masculina y femenina, ya que el criollo fue tardío (Cuadro 4); el híbrido A7573 (28.8 t ha⁻¹) junto con V-556AC (27.0 t ha⁻¹) presentaron las menores acumulaciones en forraje (Cuadro 5). Elizondo y Boschini (2001), aseguraron que en maíz pueden cultivarse

diferentes genotipos para forraje, pero los de mayor rendimiento son aquellas variedades regionales de porte alto, argumentando que los híbridos por su porte pequeño, generalmente producen menos cantidad de forraje por unidad de área.

El análisis combinado de la información (Figura 11) indicó que el criollo en promedio de dos ciclos alcanzó 38.7 t ha⁻¹ de forraje, superando ($P \leq 0.01$) al H-564C (36.6 t ha⁻¹) y H-520 (30.5 t ha⁻¹), diseñados para mayor rendimiento de grano (Sierra *et al.*, 2008). El testigo VS-536 produjo más forraje (32.8 t ha⁻¹) que los híbridos H-520, HE-1A17 (28.2 t ha⁻¹), HE-2A15 (28.4 t ha⁻¹) y A7573 (25.5 t ha⁻¹). Este último junto con V-556AC (26 t ha⁻¹) acumularon poca biomasa (Figura 11). Los resultados del estudio son aceptables, ya que algunos genotipos superan el rendimiento estatal de 36.6 t ha⁻¹ de forraje (SIAP, 2010), donde la producción es de riego; en contraparte los ensayos realizados se condujeron en temporal, con una tecnología de producción similar a la que tradicionalmente utiliza el productor.

En el primer experimento se encontró que el rendimiento en forraje, en promedio de genotipos, en la densidad de 83,333 plantas (36 t ha⁻¹) fue estadísticamente superior ($P \leq 0.01$), a la de 62,500 (31.3 t ha⁻¹), y esta a su vez estuvo por arriba de la densidad de 50,000 plantas (23.2 t ha⁻¹). Es de destacar que el criollo establecido a 83,333 plantas produjo 57 t ha⁻¹ de materia verde, por arriba de la mayor producción observada en el híbrido H-520 que a 62,500 plantas aportó 36.4 t ha⁻¹ de forraje, superando al testigo VS-536 que en esa última densidad acumuló 36 t ha⁻¹ (Figura 12).

La segunda evaluación confirmó lo observado en E₁; así, en promedio de genotipos, la densidad de 83,333 plantas (37.3 t ha⁻¹) acumuló más forraje que la de 62,500 plantas (32.1 t ha⁻¹), siendo esta última superior que la densidad de 50,000 plantas por hectárea (25.5 t ha⁻¹) (Figura 13). A diferencia de lo obtenido en E₁, el H-564C a 83,333 plantas produjo 43.8 t ha⁻¹ de forraje, superando en esa densidad al testigo VS-536 (41.3 t ha⁻¹) y al criollo que rindió 37.7 toneladas. Los rendimientos de los diferentes genotipos fueron intermedios en la densidad de 62,500 plantas ha⁻¹ y los menores se tuvieron a 50,000 plantas; en esta densidad el elotero A7573 (21.6 t ha⁻¹) y V-556AC (22.9 t ha⁻¹) tuvieron los rendimientos más bajos en forraje (Figura 13).

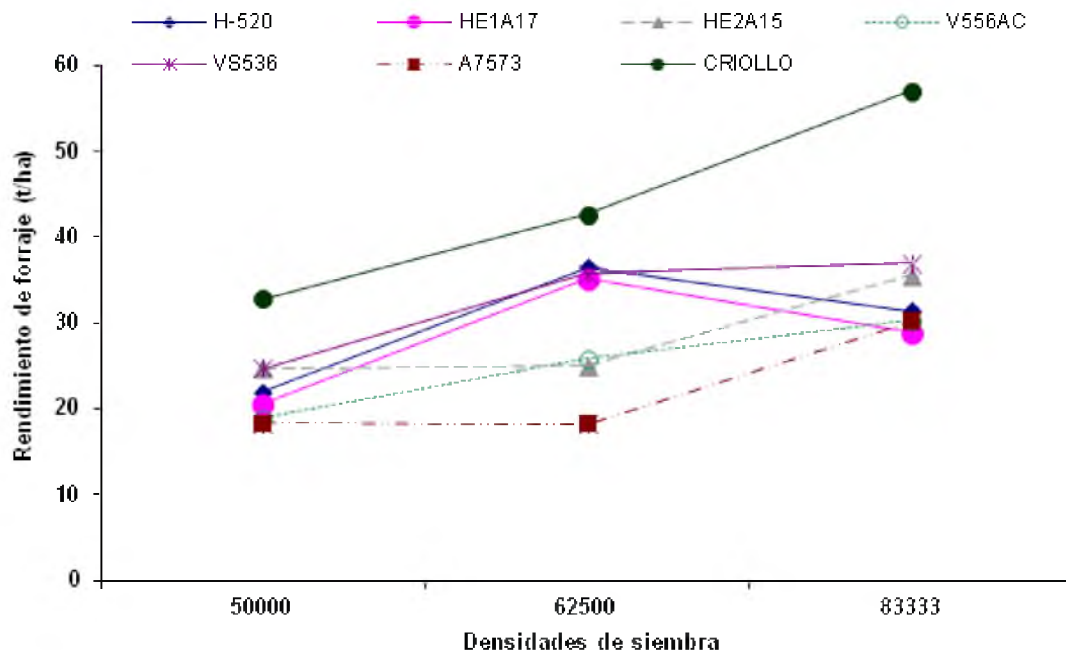


Figura 12. Rendimiento en forraje de diferentes genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Noviembre de 2007 a Febrero de 2008 (E₁).

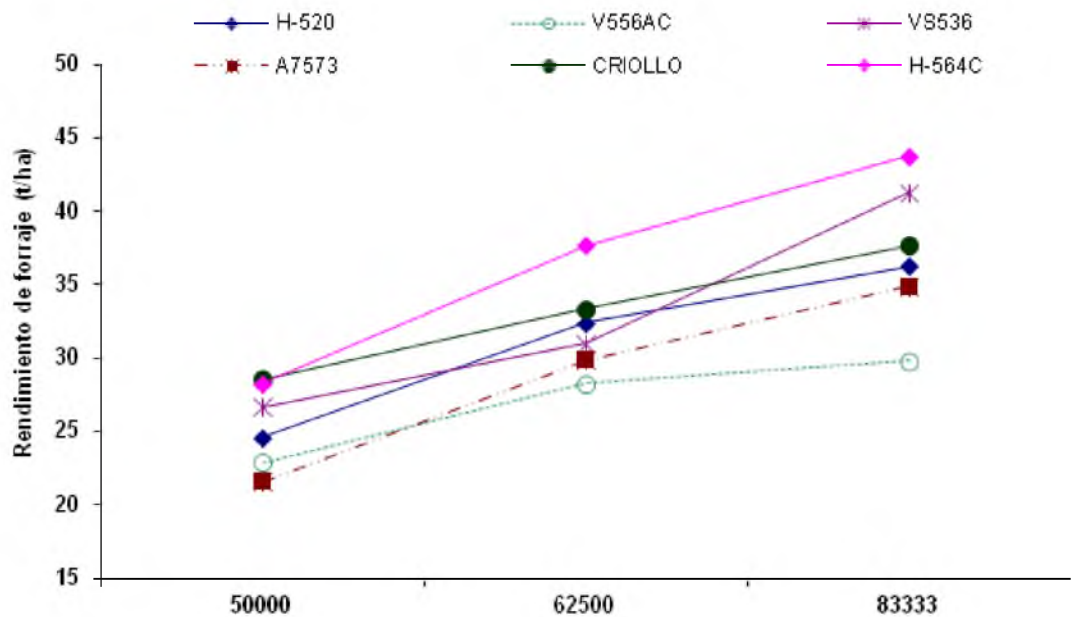


Figura 13. Rendimiento en forraje de diferentes genotipos de maíz, en promedio de tres densidades de siembra (50,000, 62,500 y 83,333 plantas por hectárea). Loma Bonita, Oaxaca, México. Enero de 2008 a Abril de 2009 (E₂).

La prueba de medias por Tukey ($P \leq 0.05$), indicó que la totalidad de variables en estudio fueron estadísticamente superiores en el genotipo criollo, excepto en rendimiento para el segundo ciclo donde fue superior el híbrido H-564C (Cuadro 5). Lo que se explica porque el número de días a floración masculina y femenina fue mayor en el criollo por ser una variedad tardía en relación con lo observado en los híbridos, que fueron precoces (Cuadro 4). El híbrido H-564C además de tener buen rendimiento por planta y por hectárea en el segundo ciclo; también destacó en número de elotes por planta, dado que es un material diseñado para mayor rendimiento de grano, aunque en precocidad fue superado por otros híbridos como el elotero A7573 y el H-520.

Cuadro 5. Prueba de comparación de medias de nueve caracteres en promedio de tres densidades de siembra para genotipos de maíz evaluados como forrajeros. Loma Bonita, Oaxaca, México. Años 2007 a 2009.

CARÁCTER	GENOTIPO								
	DMS	H520	HE-1A17	HE-2A15	H-564C	V-556AC	VS-536	A7573	Criollo
ALP	†7.7	184.3 c [‡]	190.4 bc	184.6 c	ND	172.7 d	195.3 b	165.6 d	247.4 a
	‡ 6.9	180.0 c	ND	ND	172.5 de	176.6 dc	194.2 b	169.4 e	216.3 a
DTA	0.3	6.2 b	6.1 bc	6.2 b	ND	5.9 c	6.2 b	5.8 c	6.6 a
	0.4	7.3 b	ND	ND	6.8 c	6.8 c	7.1 bc	7.2 bc	7.5 a
DFM	0.1	63.7 f	65.5 d	66.0 c	ND	65.3 e	69.0 b	63.2 g	75.0 a
	0.1	65.7 d	ND	ND	69.7 b	65.4 e	67.2 c	64.3 f	71.6 a
DFF	0.1	66.7 f	70.0 C	69.4 d	ND	67.8 e	73.0 b	65.6 g	79.0 a
	0.2	70.8 e	ND	ND	75.0 b	71.0 d	72.8 c	69.8 f	79.6 a
AFT	308.6	4,342.4 b	4,222.1 bc	4,221.1 bc	ND	3,649.1 d	4,028.1 c	3,502.7 d	5,833.6 a
	257.5	4,344.3 c	ND	ND	4,602.8 b	3,606.4 d	4,367.4 bc	3,611.9 d	7,515.7 a
IAF	0.2	2.8 b	2.7 bc	2.8 b	ND	2.3 d	2.6 c	2.3 d	3.8 a
	0.2	2.8 c	ND	ND	3.0 b	2.3 d	2.9 c	2.4 d	4.9 a
ELO	0.2	1.0 b	1.0 b	1.0 b	ND	1.0 b	1.0 b	1.0 b	1.1 a
	73.9	1.1 a	ND	ND	1.1 a	1.0 a	1.0 a	1.0 a	1.0 a
PPL	56.8	466.3 bc	440.6 cd	440.4 cd	ND	384.8 de	503.5 b	339.6 e	675.5 a
	50.5	481.7 bc	ND	ND	564.7 a	422.8 d	509.2 b	442.4 cd	519.6 ab
REN	3.9	30.0 bc	28.2 cd	28.4 cd	ND	25.0 de	32.5 b	22.2 e	44.3 a
	3.3	31.1 bc	ND	ND	36.6 a	27.0 d	33.0 b	28.8 cd	33.3 b

†=Experimento uno (Noviembre de 2007 a Febrero de 2008), ‡=Experimento dos (Enero a Abril de 2009). ALP=Altura de planta (cm), DTA=Diámetro de tallo (cm), DFM=Días a floración masculina, DFF=Días a floración femenina, AFT=Área foliar total por planta (cm²), IAF=Índice de área foliar, ELO=Número de elotes por planta, PPL=Peso total por planta (g), REN=Rendimiento de forraje (t ha⁻¹). ND=No disponible, DMS=Diferencia mínima significativa de Tukey (P≤0.05). ‡=Medias con la misma letra dentro de hileras no son significativamente diferentes a una P≤0.05.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

La variedad criolla en promedio de densidades presentó la mayor altura de planta, área foliar total, índice de área foliar, diámetro de tallo y rendimiento de forraje en el experimento uno y dos, sin embargo la variedad criolla presentó sus DFM y DFM mas tarde que los otros genotipos. En el segundo experimento el híbrido H-564C superó al testigo VS-536. Existieron diferencias en días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), área foliar total por planta (AFT), índice de área foliar (IAF), numero de elotes por planta (ELO) y peso total por planta (PPL).

En promedio de genotipos, la densidad de 83,333 plantas, superó en rendimiento de forraje a aquella de 62,500 y 50,000 plantas por hectárea.

El análisis combinado indicó que el criollo produjo más forraje que los híbridos, aunque fue tardío y susceptible al acame. El máximo rendimiento se tuvo con el criollo a 83,333 plantas con 57 t ha⁻¹ de materia verde, por arriba del H-520 que a 62,500 plantas aportó 36.4 t ha⁻¹ de forraje; el testigo VS-536 en esa última densidad acumuló 36 t ha⁻¹.

En promedio de densidades el mayor índice de área foliar se alcanzó con 83,333 plantas y el menor índice de área foliar se obtuvo con 50,000 plantas por hectárea.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda efectuar otros trabajos que den continuidad a este para evaluar la calidad nutritiva del forraje verde de maíz, haciendo énfasis en aquellos genotipos que resultaron aptos para producción de forraje bajo las condiciones ambientales de Loma Bonita, Oaxaca, México. Así mismo, hacer evaluaciones del forraje de forma directa con ganado rumiante, ya sea ovinos o bovinos, y determinar el aporte nutricional que tienen tales genotipos pudiendo ofrecerse como forraje verde o conservándolos en forma de ensilado.

8. LITERATURA CITADA

- Aguila C, A; Violic M, A; Gebauer B, JE. 1971. Efectos de población y distancia de siembra entre hileras, sobre rendimiento y otras características de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Técnica* 31(4):198-203.
- Amado A, JP; Ortíz, FP. 1998. Respuesta del maíz de riego a humedad del suelo, nitrógeno y densidad de población en Cuauhtémoc, Chihuahua. *Terra* 16:239-245.
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 2004. Cultivo del maíz. Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera. Guatemala. 17 p.
- Anónimo. 2005. Cuaderno Estadístico Municipal de Loma Bonita, Estado de Oaxaca. Aguascalientes, México. 170 p.
- Anónimo. 2011. Monografía del maíz. COVECA (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria). 21 p.
- Anónimo. 2008. Plan municipal de desarrollo. H. Ayuntamiento Constitucional de Loma Bonita, Oaxaca 2008-2010. 113 p.
- Antolín, DM; González, RM; Goñi, CS; Domínguez V, IA; Ariciaga, GC. 2009. Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Téc. Pecu. Méx.* 47(4):413-423.
- Aragón, CF; Taba, S; Castro G, HF; Hernández C, JM; Cabrera T, JM; Osorio, AL; Dillanés, RN. 2005. *In situ* conservation and use of local maize races in Oaxaca, Mexico: A participatory and decentralized approach. pp. 26-38. *In: Taba, S. (ed.). Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, In situ conservation, Core Subsets, and Prebreeding; Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, April 7-10, 2003. CIMMYT, Mexico, D. F.*

- Betancourt Y, P; González R, J; Figueroa S, B; González C, F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. TERRA. Volumen 16(3):231-237.
- Bonilla M, N. INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2009. Manual de recomendaciones del cultivo de maíz. San José, Costa Rica. 72 p.
- Camacho, RG; Garrido, O; Lima, MG. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. Sci. Agric. Piracicaba 52(2):294-298.
- Cano, O; Tosquy, OH; Sierra, M; Rodríguez, FA. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. Agronomía Mesoamericana 12(2):193-197.
- CEDAF (Centro Para el Desarrollo Agropecuario y Forestal). 1998. Guía Técnica. No. 33 Serie Cultivos. 1a edición. 51 p.
- Chalupa W. Requerimientos de forrajes en vacas lecheras. Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre nutrición y manejo. Gómez Palacio, Durango. LALA. 1995: 19-28.
- Colville W, L. 1996. Plant populations and row spacing. Proceedings of the Twenty-first Annual Hybrid Corn Industry-Research Conference. Washington, D. C., American Seed Trade Association, pp. 55-62.
- Cruz N, OF. 2013. El cultivo del maíz, Manual para el cultivo de maíz en Honduras. Programa Nacional de Maíz-DICTA, Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG). Tegucigalpa, Honduras. 21 p.
- Cuomo, JG; Redfearn, DD; Blouin, CD. 1998. Plant density effects on tropical corn forage mass, morphology, and nutritive value. Agronomy Journal 90:93-96.

- Damián H, MA; Ramírez V, B; Parra I, F; Paredes S, JA; Gil M, A; Cruz L, A; López O, JF. 2007. Apropriación de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica en México*. 33(2): 163-173.
- Damián H, MA; Ramírez V, B; Aragón G, A; Huerta L, M; Sangerman J, DM de J; Romero A, O. 2010. Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6:67-76.
- De la Cruz L, E; Córdova O, H; Estrada B, MA; Mendoza P, JD; Gómez V, A; Brito M, NP. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. 2009. *Universidad y Ciencia* 25:93-98.
- Díaz, VT; Pérez D, NW; Páez, OF; López, GA; Partidas, RL. 2007. Evaluación del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) en función de dos técnicas de riego y diferentes niveles de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16(4):84-87.
- Dwyer, LM; Stewart, DW. 1986. Leaf area development in field-grown maize. *Agron. J.* 78:334-343.
- Edalat, M; Kazemeine, SA; Bijanzadeh, E; Naderi, R. 2009. Impact of irrigation and nitrogen on determining the contribution of yield components and morphological traits on corn kernel yield. *Journal of agronomy* 8(2):84-88.
- Elizondo, J; Boschini, C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):181-187.
- Elizondo, J; Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana* 13:13-17.

- Flores G, J. 2009. Manual de recomendaciones técnicas del cultivo del maíz. Presentación. Ministerio de agricultura y ganadería. San José, Costa Rica. 72 p.
- Fuentes, J; Cruz, A; Castro, L; Gloria, G; Rodríguez, S; Ortiz, de la R, B. 2001. Evaluación de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para ensilado. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):193-197.
- Galeana, de la C, M; Trinidad S, A; García C, NE; Flores R, D. 1999. Labranza de conservación y fertilización en el rendimiento de maíz y su efecto en el suelo. *TERRA* 17(4):325-335.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- Gear, J.R.E. 2006. El cultivo del maíz en la Argentina. *Maizar*. Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición.
- González C, F; Peña R, A; Núñez H, G; Jiménez G, CA. 2005. Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4):393-397.
- González, HA; Vázquez G, LM; Sahagún, CJ; Rodríguez P, JE. 2008. Diversidad fenotípica en variedades e híbridos de maíz en el Valle de Toluca-Atlacomulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:67-76.
- Hernández A, JA; Ramiro C, A; Maya H, V; Jasso CH, C; Martínez G, MA. 2001. El cultivo de maíz para elote en la zona media de San Luis Potosí. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Palma de la Cruz. Folleto para productores Núm. 26. San Luis Potosí, México.
- IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City. 88 p.

- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2007. Paquetes tecnológicos para maíz de temporal. (Ciclo agrícola primavera-verano) para condiciones de alto, medio y bajo potencial productivo. 49 p. Disponible en: <http://www.inifap.gob.mx/productos/PAQUETES%20TECNOL%20MA%CDZ%20PV.pdf>. Consultado en Octubre de 2015.
- Keleman, A. 2010. Institutional support and in situ conservation in Mexico: biases against small-scale maize farmers in post-NAFTA agricultural policy. *Agric. Hum. Values* 27:13-28.
- Khalily, M; Moghaddam, M; Kanouni, H; Asheri, E. 2010. Dissection of drought stress as a grain production constrain of maize in Iran. *Asian Journal of Crop Science* 2:60-69.
- Lafitte, HR. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. México, D.F.: CIMMYT. 122 p.
- Laverde-Peña, H; de la Cruz, R; Rojas E. 1986. Formación de mazorcas en diferentes nudos del maíz. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Lesur, L. 2005. Manual del cultivo del maíz: una guía paso a paso. Trillas. México. 80 p.
- Madamombe, MI; Vibrans, H; López, ML. 2009. Diversity of coevolved weeds in smallholder maize fields of Mexico and Zimbabwe. *Biodivers. Conserv.* 18:1589-1610.
- Malvar, RA; Revilla, P; Moreno, GJ; Butron, A; Sotelo, J; Ordás, A. 2008. White maize: genetics of quality and agronomic performance. *Crop Science* 48:1373-1381.
- Marozzi, DG; Debortoli, GD; Méndez M; Currie H. 2005. Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo del maíz bajo dos

sistemas de riego. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Resumen: A-036.

Martín L, JG; Ron, PJ; Sánchez G, JJ; De la Cruz, LL; Morales R, MM; Carrera V, JA; Ortega, CA; Vidal M, VA; Guerrero H, MJ. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México. Rev. Fitotec. Mex. 31(4):331-340.

Martínez Gamiño, MA; Jasso Chaverria, C; Hernández Alatorre, JA. 2006. Producción de maíz elotero con un enfoque de agricultura de conservación en la zona media de San Luis Potosí. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. Folleto para productores No 42. San Luis Potosí, México. 21 p.

Mera O, LM. 2011. El maíz, aspectos generales. Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 8. Resultado de proyectos. 8-14 p.

Montemayor T, JA; Olaguer, RJ; Fortis, HM; Sam, BR; Leos R, JA; Salazar, SE, Castruita, LJ; Rodríguez R, JC; Chavaría G, JA. 2007. Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. Terra Latinoamericana 25(2):163-168.

Montes, HA. 2003. Situación actual y perspectivas económicas de la piña en la Cuenca del Papaloapan. División de Ciencias Económico Administrativas. Licenciado en Comercio Internacional de Productos Agropecuarios. Chapingo, México. 142 p.

Núñez H, G; González C, F; Faz C, R; Figueroa V, U; Nava C, U; Peña R, A; Reta S, DG; Jasso I, R; Maciel P, LH; Orozco H, G; Payán G, JA; Báez I, F. 2006. Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Folleto técnico Núm. 13. INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental La Laguna. Coahuila, México. 62 p.

- Ontiveros A, ME. 2010. Maíz forrajero: Patronato de investigación agropecuaria de La Laguna A.C. Fundación Produce, Coahuila. CONACYT-SAGARPA-COFUPRO-IICA. 59 p.
- Ortas, L. 2008. El cultivo del maíz: Fisiología y aspectos generales. Comercial de servicios AGRIGAN, S.A. boletín No. 7. 1 p.
- Pecina M, JA; Mendoza C, MC; López S, JA; Castillo, GF; Mendoza, RM. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43: 681:694.
- Peña, RA, González, CF; Núñez, HG; Jiménez, GC. 2004. Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:1-6.
- Peña RA; González CF; Robles EFJ. 2010. Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(1): 27-35.
- Piperno, RD; Ranere, JA; Holst, I; Iriarte, J; Dickau, R. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS* 106(13):5019-5024.
- Reta S, DG; Mascorro, GA; Carrillo A, JS. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:37-48.
- Reta S, DG; Cruz, CS; Palomo, GA; Serrato C, SJ; Cueto W, JA. 2010. Rendimiento y calidad de forraje de kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) en tres edades en comparación con maíz y sorgo x Sudán nevadura café. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(1):13-23.
- Reyes, C, P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT EDITOR S.A. México, D.F.
- Rincón, A; Ligarreto, GA; Sanjuanelo D. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en

suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana* 25(2):264-272.

Rivera, HB; Carrillo, AE; Obrador O, JJ; Juárez L, JF; Aceves, N, LA; García, LE. 2009. Soil moisture tension and phosphate fertilization on yield components of A-7573 sweet corn (*Zea mays* L.) hybrid, in Campeche, Mexico. *Agricultural water management* 96:1285-1292.

Rodríguez Z, C. 1997. Guía para el cultivo de maíz de riego en el estado de Hidalgo. Folleto para productores No. 1. INIFAP-CIR. Campo Experimental Pachuca. Pachuca, Hidalgo, México. 23 p.

Sánchez H, MA; Valenzuela J, N; Aguilar M, CU; Jiménez R, MC; Sánchez HC; Hernández BJ; Joaquín T, BM. 2008. Rendimiento de maíces forrajeros en Loma Bonita, Oaxaca, México. p198. XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética. Universidad Autónoma Chapingo. México. Chapingo, México.

Sánchez H, MA; Aguilar M, CU; Valenzuela J, N; Sánchez H, C; Jiménez R, MC; Villanueva V, C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 281-295.

SAS Institute Inc. 2010. SAS/STAT®9.22. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc., Cary NC, USA. 8444 p. Disponible en: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63347/PDF/default/statug.pdf>. Consultado en Noviembre de 2015.

SEP (Secretaría de Educación Pública). 2007. Cultivos básicos/basado en el trabajo de Johan D. Berlijn. Manuales para educación agropecuaria. Producción vegetal. México. 85 p.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Anuario Estadístico de la producción agrícola 2008. <http://www.siap.gob.mx> (22 de Marzo de 2010).

- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Situación actual y perspectivas del maíz en México, 1996-2012. <http://www.siap.gob.mx> (17 de octubre de 2014). 130 p.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Agricultura. Producción anual. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>. Consultado en Julio de 2016).
- Sierra M, M; Palafox C, A; Rodríguez M, F; Espinosa C, A; Gómez M, N; Caballero H, F; Barrón F, S; Zambada M, A; Vázquez C, G. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agríc. Téc. Méx.* 34(1):119-122.
- Sierra M, M; Palafox C, A; Rodríguez M, F; Espinosa C, A; Vázquez C, G; Gómez M, N; Barrón F, S. 2011. H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2(1): 71-84.
- Sierra M, M; Palafox C, A; Vázquez C, G; Rodríguez M, F; Espinosa C, A. 2010. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía mesoamericana* 21(1): 21-29.
- Sierra M, M; Rodríguez M, FA; Castillo G, R; Ortiz C, J; Barrón F, S; Tosquy V, OH; Romero M, J; Tinoco A, CA; Sandoval R, A. 1994. H-513 híbrido de maíz de cruza simple para el trópico mexicano. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Veracruz. México. 18 p. (Folleto técnico número 9).
- Skerman P, J; Riveros, F. 1992. Gramíneas tropicales. Roma. FAO. 849 p.
- Soltero D, L; Garay L, C; Ruiz C, JA. 2010. Respuesta en rendimientos de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 1(2): 149-158.

- Strieder, LM; Ferreira S, PR; Rambo, L; Sangoi, L; Alves, SA; Endrigo, PC; Batista, JD. 2008. Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 65(4):346-353.
- Subedi, KD; Ma, BL; Smith, DL. 2006. Response of a Leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. *Crop Sci.* 46:1860-1869.
- Tanaka, A; Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 120 p.
- Termunde D, E; Shank D, B; Dirks V, A. 1963. Effects of population levels and yield and maturity of maize hybrids grown of the Northern Greats Plains. *Agronomy Journal* 55 (6): 551-555.
- Tinoco A, CA; Ramírez, FA; Villareal, FE; Ruiz, CA. 2008. Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agric. Técnica en México* 34(3):271-278.
- Tinoco A, CA; Rodríguez M, FA; Sandoval R, JA; Barrón F, S; Palafox C, A; Esqueda E, VA; Sierra M, M; Romero M, J. 2002. Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 9. Veracruz, México. 113 p.
- Tosquy, O; Sierra, M; Rodríguez, F; Castillo, R; Ortiz, J; Tinoco, C; Sandoval, A; Uribe, S. 1995. Validación del híbrido de maíz (*Zea mays* L.) de cruza doble H-512 en el Estado de Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 6:93-97.
- Trejo E, HI; Salazar S, E; López M, JD; Vázquez V, C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(5): 727-738.

- Tucuch-Cauich, FM; Ku Naal, R; Estrada-Vivas, JD; Palacios-Pérez, A. 2007. Caracterización de la producción de maíz en la zona centro norte del estado de Campeche, México. *Agronomía mesoamericana* 18(2): 263-270.
- Turiján A, T; Damian H, MA; Ramírez V, B; Juárez S, P; Estrella C, N. 2012. Manejo Tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(6): 1085-1100.
- Turrent F, A; Camacho C, R; Francisco N, N; Uribe G, S; Cortes F, JI; Mendoza R, R. 1999. Posibilidades técnicas de lograr la soberanía alimentaria de origen vegetal en México. *Terra Latinoamérica* 17:59-76.
- Valentinuz, RO; Tollenaar, M. 2006. Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. *Agronomy Journal* 98:94-99.
- Vilaboa, AJ; Díaz, RP; Ruíz, RO; Platas R, DE; González, MS; Juárez, LF. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:53-62.
- Warburton, ML; Reif, JC; Frisch, M; Bohn, M; Bedoya, C; Xia, XC; Crossa, J; Franco, J; Hoisington, D; Pixley, K; Taba, S; Melchinger, AE. 2008. Genetic diversity in CIMMYT nontemperate maize germplasm: landraces, open pollinated varieties, and inbred lines. *Crop Sci.* 48:617-624.
- Warnock, R; Valenzuela, J; Trujillo, A; Madriz, P; Gutiérrez, M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota. *Agronomía Tropical* 51(1):21-42.
- Widdicombe, D; Thelen, DK. 2002. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agronomy Journal* 94:326-330.

Yang, J; Alley, M. 2005. A mechanistic model for describing corn plant leaf area distribution. *Agronomy Journal* 97:41-48.

Zetina, LR; Pastrana, LA; Romero M, JA; Jiménez C, JA. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. INIFAP. CIRGOC. Campos experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Libro técnico No. 10. México. 170 p.