



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS GRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**EFICIENCIA DE POLINIZACIÓN, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD  
DE SEMILLA, Y FORRAJE EN HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ**

**MARCO ANTONIO RIVAS JACOBO**

## **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2010

La presente tesis, titulada: **Eficiencia de polinización, productividad y calidad de semilla, y forraje en híbridos trilineales de maíz**, realizada por el alumno: **Marco Antonio Rivas Jacobo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. ADRIÁN RAYMUNDO QUERO CARRILLO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

Montecillo, Texcoco, México, 8 de febrero de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados, por el apoyo económico recibido y por la oportunidad otorgada para que fuera posible la realización de mis estudios de Doctorado.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo, por su acertada dirección de esta investigación, facilidades, conocimientos tan valiosos y gran dedicación para la realización de esta tesis, y por su gran amistad e influencia en mi formación profesional.

Al Dr. Adrian Raymundo Quero Carrillo, por haberme asesorado en la realización de la tesis, conocimientos, sugerencias valiosas, amistad e influencia en mi formación profesional.

Al Dr. Alfonso Hernández Garay, por haberme asesorado en la realización de la tesis, aporte de conocimientos y sugerencias acertadas, amistad e influencia en mi formación profesional.

Al Dr. Gabino García de los Santos, por haberme asesorado en la realización de la tesis y por haber formado parte de mi formación doctoral.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, por haberme asesorado en la realización de la tesis y por su orientación en mi formación doctoral.

A la FUPPUE, A. C., FUPRONAY, A, C, y a la SAGARPA por el financiamiento de dos proyectos que formaron parte de la investigación realizada en esta tesis.

A mis profesores, por sus valiosas enseñanzas; amigos y compañeros por su amistad.

A la M.C. Susana Prado Tasch e Ing. Eduardo Benítez Paulín, por todo su apoyo y facilidades brindadas a mi persona para finalizar la escritura de la tesis.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Luis Rivas Lomelí

y

Arcelia Jacobo Rubino

Por su apoyo de siempre

A mi esposa:

Irene, con todo cariño por ese sacrificio en los días difíciles

A mis hijos:

Erick Jacksiel, Efrain Charit, Maritza Arcelia, Diana Arlette y Thania Lisset,

Como una muestra de superación

## CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Objetivos generales.....	3
CAPITULO I. EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y APARIENCIA FORRAJERA DE LINEAS ELITE DE MAÍZ.....	4
1.1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos .....	5
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
1.2.1. Situación del uso de semillas mejoradas en México.....	6
1.2.2. Importancia del maíz forrajero.....	7
1.2.3. Mejoramiento genético del maíz para forraje.....	9
1.2.4. Criterios de selección.....	14
1.2.5. Aspectos agronómicos en la selección de líneas para la formación de híbridos forrajeros.....	15
1.2.6. Calidad nutritiva.....	16
1.2.7. Eficiencia de utilización del forraje por el animal.....	21
1.2.8. Resultados del mejoramiento genético en variables con cualidades forrajeras.....	22
1.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
1.3.1. Localización.....	25
1.3.2. Material genético.....	25
1.3.3. Conducción del experimento en campo.....	25
1.3.4. Variables evaluadas.....	26
1.3.5. Análisis de datos.....	28
1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
1.4.1. Aspecto físico de la hoja.....	29
1.4.2. Calidad forrajera.....	30
1.4.3. Hojas por planta .....	31
1.4.4. Altura de planta .....	31

1.4.5. Diámetro del tallo .....	32
1.4.6. Mazorcas por planta .....	32
1.4.7. Rendimiento de grano .....	33
1.4.8. Rendimiento de materia seca de planta completa.....	33
1.5. CONCLUSIONES .....	36
1.6. LITERATURA CITADA.....	37
CAPITULO II. EFICIENCIA DE POLINIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE MAÍZ Y SU EFECTO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	43
2.1. INTRODUCCIÓN.....	43
2.1.1. Objetivos.....	44
2.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	45
2.2.1. Dispersión de polen.....	45
2.2.2. Viabilidad del polen.....	46
2.2.3. Exposición y receptividad de estigmas.....	47
2.2.4. Densidad de población.....	48
2.2.5. Distancia de la fuente de polen.....	49
2.2.6. Relación hembra:macho y rendimiento .....	49
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
2.3.1. Localización.....	51
2.3.2. Material genético.....	51
2.3.3. Conducción del experimento en campo.....	52
2.3.4. Variables evaluadas.....	57
2.3.5. Análisis de datos.....	59
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
2.4.1. Por genotipo.....	61
2.4.1.1. Número de mazorcas.....	61
2.4.1.2. Hileras por mazorca.....	62
2.4.1.3. Granos por hilera.....	62
2.4.1.4. Largo de mazorca.....	63
2.4.1.5. Diámetro de mazorca.....	63

2.4.1.6. Punta podrida.....	64
2.4.1.7. Porcentaje de granos no formados.....	65
2.4.1.8. Rendimiento de semilla.....	65
2.4.1.9. Altura de planta.....	66
2.4.2. Por la distancia de las parcelas a los bordos (Fuente de Polen).....	69
2.4.2.1. Mazorcas por planta.....	69
2.4.2.2. Porcentaje de granos no formados.....	69
2.4.2.3. Rendimiento de semilla.....	70
2.4.3. Por la distancia del surco a la fuente polinizadora dentro de la parcela.....	71
2.4.3.1. Mazorcas por planta.....	71
2.4.3.2. Porcentaje de granos no formados.....	71
2.4.3.3. Rendimiento de semilla.....	72
2.4.4. Análisis multivariado.....	73
2.4.5. Coeficientes de correlación.....	75
2.4.6. Calidad de la semilla.....	76
2.4.6.1. Porcentaje de germinación.....	76
2.4.6.2. Peso de Cien Semillas.....	77
2.4.6.3. Peso Volumétrico.....	77
2.5. CONCLUSIONES.....	79
2.6. LITERATURA CITADA.....	80
CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y DE SEMILLA DE HIBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ PARA FORRAJE.....	
	84
3.1. INTRODUCCIÓN.....	84
3.1.1. Objetivos.....	86
3.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	87
3.2.1. Composición de la planta.....	87
3.2.2. Composición de los subproductos.....	87
3.2.3. Importancia del ensilado de maíz.....	88
3.2.4. Calidad nutritiva del maíz como forraje.....	89
3.2.5. Calidad proteica del maíz.....	90

3.2.6. Digestibilidad y fibra.....	93
3.2.7. Momento óptimo de cosecha.....	99
3.2.8. Rendimiento de forraje verde y seco.....	100
3.2.9. Componentes morfológicos.....	102
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	104
3.3.1. Localización.....	104
3.3.2. Material genético.....	104
3.3.3. Conducción del experimento.....	105
3.3.3.1. Conducción del trabajo de campo.....	105
3.3.3.1.1. Región Subtropical. Uzeta, Ahuacatlán, Nay.....	105
3.3.3.1.2. Región Valles Altos. San Salvador El Seco, Pue.....	105
3.3.4. Variables evaluadas .....	107
3.3.4.1. Variables medidas en campo.....	107
3.3.4.2. Variables medidas en laboratorio.....	108
3.3.5. Análisis de datos.....	109
3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	111
3.4.1. Región Subtropical.....	111
3.4.1.1. Rendimiento de materia seca y componentes morfológicos.....	111
3.4.1.1.1. Rendimiento de materia seca de planta completa.....	111
3.4.1.1.2. Rendimiento de materia seca de hoja.....	112
3.4.1.1.3. Rendimiento de materia seca de elote.....	112
3.4.1.1.4. Rendimiento de materia seca de tallo.....	113
3.4.2. Región Valles Altos.....	114
3.4.2.1. Rendimiento de materia verde, seca y de ensilado.....	114
3.4.2.1.1. Rendimiento de materia verde de la planta completa.....	114
3.4.2.1.2. Rendimiento de materia seca de la planta completa.....	115
3.4.2.1.3. Rendimiento de materia seca de ensilado.....	116
3.4.2.2. Relaciones del rendimiento de materia seca de los componentes morfológicos.....	117
3.4.2.2.1. Relación hoja:planta.....	117
3.4.2.2.2. Relación tallo:planta.....	117



3.4.2.2.3. Relación elote:planta.....	118
3.4.2.3. Número de hojas por planta.....	120
3.4.2.4. Número de elotes por planta.....	120
3.4.2.5. Altura de planta.....	120
3.4.2.6. Diámetro de tallo.....	121
3.4.2.7. Correlación de las variables estudiadas.....	122
3.4.2.8. Calidad nutritiva de los híbridos trilineales.....	123
3.4.2.8.1. Fibra Detergente Acida .....	123
3.4.2.8.2. Fibra Detergente Neutra.....	126
3.4.2.8.3. Proteína.....	129
3.5. CONCLUSIONES.....	132
3.6. LITERATURA CITADA.....	134

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Promedios estimados de varianza aditiva, varianza de dominancia y heredabilidad de caracteres estudiados en maíz.....	11
2. Correlaciones entre caracteres de planta y mazorca y con el rendimiento obtenido.....	12
3. Aspecto físico de la hoja y cualidad forrajera de 44 líneas elite. Montecillo, Texcoco, México. 2005.....	30
4. Comparación de medias en caracteres de 44 líneas elite de maíz para seleccionar genotipos con calidad forrajera. Montecillo, Texcoco, México. 2005.....	35
5. Listado de cruzas simples utilizadas en el estudio.....	52
6. Programa de la siembra diferencial de cruzas simple hembra y la línea macho.....	53
7. Comparación de medias en caracteres agronómicos de 12 hembras cruza simples de maíz evaluadas en la producción de semilla en una relación 8:2 con una línea de porte alto como progenitor. Montecillo, Texcoco, México. 2006.....	68
8. Comparación de medias del número de mazorcas por planta, granos no formados y rendimiento de semilla por efecto de la distancia a la fuente polinizadora. Montecillo, Texcoco, México. 2006.....	70
9. Comparación de medias en mazorcas por planta, granos no formados y rendimiento de semilla por efecto de la distancia del surco a la fuente polinizadora. Montecillo, Texcoco, México. 2006.....	73
10. Coeficientes de correlación en 10 caracteres de 12 cruza simples de maíz forrajero. Montecillo, Texcoco, México. 2006.....	76
11. Germinación, Peso de Cien Semillas y Peso Volumétrico de 12 Cruza Simple. Montecillo, Texcoco, México. 2006.....	78
12. Híbridos trilineales utilizados como tratamientos.....	104
13. Comparación de medias del rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) de materia seca de la	

planta entera, hoja, elote y tallo de trece genotipos de maíz para fines forrajeros. Uzeta, Municipio de Ahuacatlán, Nayarit. 2007.....	113
14. Comparación de medias de número de hojas, rendimiento de materia verde, seca y ensilado; relaciones de componentes morfológicos y número de elotes de 14 variedades de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	119
15. Comparación de medias de número de hojas, número de elotes, altura y diámetro de tallo de 14 genotipos de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	121
16. Correlación de variables estudiadas en 14 híbridos trilineales de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	123
17. Media y desviación estándar de la variable Fibra Detergente Acida, de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	126
18. Media y desviación estándar de la variable Fibra Detergente Neutra, de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	129
19. Media y desviación estándar de la variable Proteína Cruda de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.....	131

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Croquis de Localización de las líneas elite evaluadas.....	26
2. Croquis de localización de unidades experimentales.....	56
3. Grupos de genotipos determinados con el análisis multivariado del componente tratamiento (cruza simple).....	74
4. Distribución en campo de híbridos trilineales evaluados.....	106

## EFICIENCIA DE POLINIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE SEMILLA, Y FORRAJE EN HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ

Marco Antonio Rivas Jacobo, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

El objetivo fue evaluar y seleccionar líneas elite de maíz; formar y evaluar híbridos trilineales, por su calidad forrajera, considerando calidad de semilla. La investigación se realizó en, Montecillo, Texcoco, Méx., Región Subtropical y Valles Altos. Las variables principales fueron: Aspecto físico de la hoja (AFH), Calidad Forrajera (CF), Hojas por planta (HPP), Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Mazorcas por planta (MAZP), Rendimiento de grano (RENGR), Hileras por mazorca (HPM), Granos por hilera (GPH), Largo de mazorca (LMZ), Diámetro de mazorca (DMZ), Porcentaje de Granos No Formados (PGNF), Peso de Cien Semillas (PCS), Peso Volumétrico (PV), Porcentaje de Germinación (PG), Rendimiento de, semilla (RS), materia seca de la planta completa (RMS) y materia seca de ensilado (RMSSENS) y sus componentes, relaciones, tallo:planta (RTP), hoja:planta (RHP), elote:planta (REP), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutra (FDN) y Ácida (FDA). Las mejores líneas por AFH, RMS y RENG fueron L38, L7, L37, L26, L36, L14, L12, L27, L21, L42, L41 y L35. Las cruizas simples CL12 x CL11 y CL4 x CL1 con valores más altos de AP (238 y 239 cm, respectivamente) y de RS (237 y 251 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente) observaron mayor MPP (172 para ambas) y PGNF (1.7 y 2.0 %, respectivamente). Se observó una  $r = 0.72$  entre LMZ y GPH; para DMZ y HPM una  $r = 0.45$  y, entre GPH y PGNF una  $r = -0.48$ . DMZ y HPM mostraron una  $r = 0.45$  y, para GPH y PGNF una  $r = -0.48$ . La RTP mostró una  $r = -0.93$  con REP y, un  $r = -0.52$  con NUMELOTES. La REP presentó una  $r = 0.53$  con NUMELOTES. Para RMS en la región subtropical mostró una media de 26.0 t ha<sup>-1</sup>, siendo HT-5, HT-4, HT-12 y HT-10 los de mayor comportamiento productivo; en Valles Altos fue de 40.5 t ha<sup>-1</sup>, siendo HT-1, HT-12, HT-6, HT-8, HT-2 y el HS-2 los de mayor comportamiento productivo, por lo que deben validarse a nivel más amplio. El Criollo mostró menor FDN (55.7%) y FDA (25.8%) y, el HT-6 mayor PC (8.5%).

**Palabras claves:** *Zea mays* L., polinización, forraje, materia seca, ensilado, semilla.

## EFFICIENCY OF POLLINATION, PRODUCTION AND QUALITY OF SEED, AND FORAGE IN HYBRIDS TRILINEAR CORN

Marco Antonio Rivas Jacobo, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2010

The objective was to evaluate and to select to lines corn elite; to form and to evaluate trilinear hybrids, by its forage quality, considering quality of seed. The investigation was conducted in, Montecillo, Texcoco, Méx., Subtropical Region and High Valleys. The main variables were: physical aspect of the leaf (AFH), forage quality (CF), leaves by plant (HPP), height of plant (AP), diameter of stem (DT), ears by plant (MAZP), grain yield (RENGR), rows by ear (HPM), grains by row (GPH), length of ear (LMZ), diameter of ear (DMZ), percentage of grains no create (PGNF), weight of one hundred seeds (PCS), volumetric weight (PV), percentage of germination (PG), yield of seed (RS), dry matter of plant complete (RMS) and dry matter of silage (RMSSENS) and his components, relations: stem:plant (RTP), leaf:plant (RHP), ear:plant (REP), crude protein (PC), neutral detergent fiber (FDN) and acid (FDA). The best lines by AFH, RMS and RENG were L38, L7, L37, L26, L36, L14, L12, L27, L21, L42, L41 and L35. The cross simple CL12 x CL11 and CL4 x CL1 with higher values of AP (238 and 239 cm, respectively) and of RS (237 and 251 g per plants, respectively) observed greater MPP (172 for both) and PGNF (1.7 and 2.0%, respectively). An  $r = 0.72$  was observed between LMZ and GPH; for DMZ and HPM an  $r = 0.45$  and, between GPH and PGNF an  $r = -0.48$ . DMZ and HPM showed an  $r = 0.45$  and, for GPH and PGNF an  $r = -0.48$ . The RTP showed an  $r = -0.93$  with REP and,  $r = -0.52$  with number ears. The REP showed an  $r = 0.53$  with number ears. For RMS in the subtropical region showed an average of 26.0 t per hectare, being HT-5, HT-4, HT-12 and HT-10 those of greater productive behavior; in High Valleys was 40.5 t per hectare, being HT-1, HT-12, HT-6, HT-8, HT-2 and HS-2, those of greater productive behavior, reason why they must be validated at ampler level. The Criollo showed minor FDN (55.7%) and FDA (25.8%) and, HT-6 greater PC (8.5%).

**Key words:** *Zea mays* L., pollination, forage, dry matter, silage, seed.

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Entre las numerosas especies de plantas cultivadas, útiles al hombre, tres son altamente importantes por su superficie mundial cultivada y volumen de producción: trigo, arroz y maíz. La producción promedio anual de maíz, en los años 1980–1982, alcanzó un volumen mundial de 380 millones de toneladas, producidas en 122 millones de hectáreas de tierra que representó el 11.4% del área total mundial cultivada; de los cuales, en los países en desarrollo, se destinaron para la ganadería el 17% y para los humanos el 20%, en cambio en países desarrollados el 56 % se fue para los animales y el 26.6% para los humanos (CIMMYT, 1984).

En México, la producción de maíz para ensilado se caracteriza porque los rendimientos de materia seca por hectárea y contenido de grano son bajos; similarmente, por contenidos altos de fibra que ocasionan que la digestibilidad y energía del forraje sean bajas. La situación se debe en parte, al empleo de híbridos considerados como “forrajeros”, por su porte alto y gran capacidad para producir forraje, así como a un manejo para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea (Núñez *et al.*, 2003).

En México, para los ciclos PV2008 y OI2008/2009 bajo condiciones de temporal y riego, se sembraron 7.34 millones de hectáreas de maíz para grano, con un rendimiento promedio de 3.32 t ha<sup>-1</sup>. Por otra parte 484,000 ha, con un rendimiento de 26.46 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde (FV), de las cuales, 116,120 ha de riego mostraron un rendimiento promedio de 46.37 t ha<sup>-1</sup> FV y, para temporal, 367,880 ha con un rendimiento promedio de 20.16 t ha<sup>-1</sup> FV (SIAP, 2008).

El creciente aumento en la producción de maíz forrajero en las cuencas lecheras del país, plantea la necesidad de definir estrategias de trabajo que permitan identificar fuentes de germoplasma y aprovechar el potencial genético existente a través de programas de mejoramiento genético. A la fecha, ninguno de los híbridos de maíz usados para forraje en México han sido desarrollados en programas de

mejoramiento genético para mayor producción y calidad forrajera, sino que fueron seleccionados por rendimiento de grano (Peña *et al.*, 2004).

El término “maíz forrajero” abarca conceptos básicos para la nutrición animal y no sólo rendimiento de forraje verde: rendimiento de materia seca y calidad nutritiva, que incluye proteína, energía, fibra detergente neutra y ácida, principalmente. Parámetros que son determinados por los componentes morfológicos de la planta: hoja, tallo y elote, en combinación con su madurez; y otras características importantes como acame, incidencia de enfermedades, presencia de royas, altura de planta, número, ancho y largo de la hoja, número de elotes, apetencia para rumiantes, entre otros. Estos aspectos tendrán incidencia en el rendimiento de materia seca, calidad nutritiva y aceptación del forraje por el animal (Paliwal, 2001a).

Considerando los conceptos anteriores para definir y formar un híbrido de maíz forrajero, se debe seguir un programa de mejoramiento bien definido para este fin, de tal forma que desde la formación de las líneas la selección se haga considerando caracteres con fines forrajeros, como los mencionados.

Una vez obtenidos, los híbridos de maíz forrajero, estos deben evaluarse en diferentes ambientes para conocer su expresión y potencial productivo por efectos del clima y del manejo. Asimismo debe evaluarse la calidad nutritiva, a fin de que se seleccionen aquellos híbridos con un potencial productivo y calidad nutritiva acorde al fin forrajero, esto es: en verde, ensilado y en seco, y para un ambiente en particular; aspectos que asegurarán que llegue al productor un híbrido de maíz realmente forrajero con características acorde a sus necesidades, a su tipo de explotación pecuaria y a su ambiente particular.



Con el fin de dar respuesta a la necesidad de desarrollar híbridos para forraje se establecieron los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivos Generales.**

- Evaluar el comportamiento productivo, para atributos forrajeros, de 44 líneas elite de maíz.
  
- Seleccionar las mejores líneas de maíz con aptitud para la producción.
  
- Formar híbridos trilineales de maíz con hembras de cruza simple, que en su formación, incluyan líneas con características sobresalientes para forraje y, por su comportamiento en caracteres agronómicos deseables.
  
- Evaluar el comportamiento productivo de híbridos trilineales de maíz para forraje, bajo dos condiciones de campo en dos ambientes contrastantes.

## **CAPITULO I**

### **EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y APARIENCIA FORRAJERA DE LINEAS ELITE DE MAÍZ**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La producción de híbridos de maíz para un fin específico debe estar bien definida: (grano, forraje, hoja para tamal, grano con alta proteína, elote, grano pozolero, etc), para que, en el proceso de derivación y selección de líneas se tomen en cuenta los caracteres deseables.

Chávez (1995), menciona que para la formación de líneas autofecundadas, es necesario partir de poblaciones previamente seleccionadas con base en amplia variabilidad genética. Por lo regular, estas poblaciones son las mejores variedades criollas de la región para la cual se va a producir el híbrido. Este procedimiento no es sencillo, pues requiere gran inversión de tiempo, trabajo y experiencia. Similarmente, indica que desde que Shull y East sugirieron utilizar híbridos a escala comercial, se han obtenido millones de líneas autofecundadas; sin embargo, muy pocas de ellas han sido sobresalientes para intervenir como progenitores de híbridos; de tal forma que el problema no es la obtención de líneas de determinado cultivo alógamo, sino la evaluación y la selección de las sobresalientes.

Los caracteres que se deben considerar en la evaluación y selección de líneas para fines forrajeros es la cantidad de hoja, tallo, elote y su relación, así como, en relación a la planta completa; características que incidirán en el contenido de proteína, energía metabolizable, fibra detergente neutra y ácida.

### **1.1.1. Objetivos.**

- Evaluar el rendimiento de grano y materia seca de 44 líneas elite de maíz, previamente formadas y seleccionadas.
- Caracterizar las líneas en los caracteres altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y número de mazorcas.
- Calificar visualmente las líneas, en base al aspecto físico de la hoja y la morfología forrajera de la planta.

## **1.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1.2.1. Situación del uso de semillas mejoradas en México.**

En los ambientes templados casi el 100% del área sembrada con maíz está cubierta con semillas de híbridos. Estos se basan en varias combinaciones tales como dobles cruzas, cruzas de tres vías o cruzas simples. En contraste con esta uniformidad de los tipos de semillas que son requeridos en los ambientes templados, los agricultores en los climas tropicales utilizan una gran diversidad genética; esto hace que los sistemas de producción de maíz en los trópicos sean más complejos (Sharanjit y Douglas, 1992).

De los 7.34 millones de hectáreas de maíz que se siembran en México, aproximadamente el 25% de la superficie es con semillas híbridas o variedades mejoradas de polinización libre y, el resto (75%), con variedades criollas locales (Nadal, 2000).

Los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo conforman la parte principal de los Valles Altos Centrales de México, con 3.5 millones de hectáreas sembradas de maíz, donde las razas a las que pertenecen la mayoría de los maíces cultivados son: Arrocillo Amarillo, Cónico, Cacahuacintle, Chalqueño y Palomero Toluqueño (Eagles y Lothrop, 1994).

La situación en los Valles Altos Centrales refleja la necesidad de formar variedades mejoradas de maíz para lograr mayores rendimientos de grano y forraje, ya que, en lo que se refiere a éste último insumo, se desconoce el volumen de semilla mejorada que se emplea para la producción de forraje verde y ensilado, debido a que los ganaderos utilizan en gran medida, maíces criollos de alta producción de forraje en verde, desconociendo la calidad del mismo; en tanto que las empresas semilleras comercializan maíces para grano con buenas características de planta para rendimiento de forraje, a los que se les denomina maíces de doble propósito (Paliwal, 2001a).

Tomando en cuenta la superficie que se destina para la siembra de maíces forrajeros en México y considerando una densidad de población de 90,000 plantas ha<sup>-1</sup>, se estima una necesidad de 14,000 toneladas de semilla especializada para la producción de forraje, que asegure altos rendimientos y excelente calidad nutritiva.

Dentro de las necesidades de variedades mejoradas en México, también se tiene a los amarillos, ya que su demanda es de 12.6 millones de t, pero la producción nacional es de apenas 1.0 millón de t, y el resto, es importado como grano entero y/o quebrado, ocasionando dependencia alimentaria y fuga de divisas (Ramírez, *et al.*, 2004).

### **1.2.2. Importancia del maíz forrajero.**

El creciente aumento en la producción de maíz forrajero en las cuencas lecheras del país, plantea la necesidad de definir estrategias de trabajo que permitan identificar fuentes de germoplasma y aprovechar el potencial genético existente a través de programas de mejoramiento genético. A la fecha, ninguno de los híbridos de maíz usados para forraje en México ha sido desarrollados en programas de mejoramiento genético para mayor producción y calidad forrajera, sino que fueron seleccionados por rendimiento de grano (Peña *et al.*, 2004).

De acuerdo con Guaita y Fernández (2003), en los sistemas de producción de leche del ganado bovino se ha visto la necesidad de incorporar ensilados como suplemento para cubrir déficits estacionales e incrementar la producción animal, pero se hace necesario conocer la calidad nutricional de éstos.

Es ampliamente reconocida la importancia que tiene el ensilado de maíz en la producción lechera. El papel principal está dado por la facilidad que presenta el cultivo para obtener un ensilado de calidad. El papel del ensilado de maíz en la dieta de vacas lecheras es como fuente de energía para suministrar al hato durante otoño e invierno (Bianco *et al.*, 2003).

El uso de maíz para forraje, ya sea como planta en verde, en pié o ensilado es una práctica común en los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción forrajera frente a requerimientos de relativa constancia en el ganado. El cultivo de maíz se adapta para la alimentación del ganado debido a tres características principales:

- a.- Alto volumen de producción.
- b.- Alto contenido de hidratos de carbono.
- c.- Amplitud del período de aprovechamiento.

La mayor parte de la semilla de maíces forrajeros que se comercializa en varios países comprende a híbridos seleccionados como graníferos y que se han manifestado como buenos productores de materia seca (Bertoia, 2004).

El maíz tiene múltiples usos que se pueden agrupar en los siguientes rubros:

1. Grano: alimentación humana, alimentación del ganado, materia prima en la industria y semilla.
2. Planta: forraje verde, ensilado, rastrojo, forraje tosco y materia orgánica al suelo.
3. Mazorca: elote, alimento humano y olote (combustible).

Perry (1998), menciona que la planta de maíz es un excelente forraje para el ganado, produce, en promedio, más materia seca y nutrimentos digestibles por unidad de superficie que otros forrajes. Por otro lado, en los trópicos la planta de maíz es usada como forraje en varios estados del desarrollo. Una práctica común es quitar las hojas inferiores en medida que la planta crece y alimentar con ellas el ganado. Muy a menudo, el maíz es considerado un cultivo de doble propósito, para forraje y para grano, utilizándose varias partes de la planta o la planta entera como forraje. Entre las variantes de uso forrajero cabe mencionar las siguientes: las hojas verdes se van quitando a partir de la base a medida que la planta crece, en otros casos, la parte superior de la planta se corta (despunte) después que el grano llega a su madurez fisiológica; una vez que se cosecha la mazorca, los restos de la planta

(rastrojo) se usan como forraje; las hojas de la mazorca (totomoxtle), en algunas regiones se usan para alimentar a ciertas especies animales; también se cultiva con el objetivo de utilizar la planta entera como forraje verde, para lo cual se cosecha después de la floración pero mucho antes de la madurez (Paliwal, 2001a).

Las estadísticas sobre el área de maíz sembrado y usado como forraje no se encuentran fácilmente, situación que puede deberse, al menos en parte, al hecho que muy a menudo el maíz es sembrado con el doble propósito de forraje y grano. En algunos países de Asia y en Egipto, los agricultores siembran maíz a muy altas densidades y progresivamente, ralean el cultivo usando las plantas como forraje; en algunos casos, se arrancan sólo las hojas inferiores con ese propósito, si bien ambas prácticas pueden conducir a una reducción de los rendimientos. En México y en América Central se cortan los tallos por encima de las mazorcas, cuando éstas están bastante desarrolladas, para alimentar el ganado. Los tallos verdes que quedan después de la cosecha del maíz también son usados como forraje (Reyes, 1990).

### **1.2.3. Mejoramiento genético del maíz para forraje.**

El mejoramiento de la planta del maíz se inició colectando variedades y posteriormente, mediante la selección masal practicada por los agricultores; continuó por medio de la selección en surcos por mazorca y las cruces intravarietales realizada por investigadores en el año 1880, con programas sistemáticos y organizados de mejoramiento en la Estación Experimental de Michigan. En 1896 los primeros aspectos que se tomaron en cuenta para mejorar las variedades de maíces fueron contenido de aceite y de proteína, rendimiento de grano, adaptabilidad, uso humano e industrial; de 1921 a 1924 el mejoramiento enfatizó a resolver problemas específicos, como resistencia (acame, sequía, insectos, etc), adaptación a mejores condiciones agronómicas; conforme se fue avanzando otros enfoques fueron el mejor aprovechamiento en la industria, calidad de semilla, almacenamiento, arqueotipos para su mejor manejo y valor nutritivo (desarrollado por varios investigadores, desde 1969 a 1983); posteriormente de la

década de 1980 se ha agregado tolerancia a sequía, resistencia a hongos, tolerancia a acidez y toxicidad de aluminio, tipos de madurez temprana, variedades para nuevas fronteras (áreas desforestadas). Cabe destacar que los grandes logros en el mejoramiento de plantas ha tenido como base, la explotación comercial de la endogamia y la heterosis (Miranda, 1985; Reyes, 1990).

Geiger *et al.* (1992), señalan que los principales objetivos en el mejoramiento de maíz para forraje, son incrementar el rendimiento de energía metabolizable por unidad de superficie cultivada y mejorar el contenido de energía del mismo. Sugieren que la selección para alto rendimiento de materia seca es la forma más eficiente de mejorar indirectamente el rendimiento de energía metabolizable. Dentro un mismo grupo de madurez, la proporción de mazorca en el total de materia seca y el contenido de energía metabolizable de los restos de la planta, son las principales características de calidad que deben ser consideradas conjuntamente en el proceso de selección. La respuesta de los genotipos de maíz forrajero a la densidad de plantas y consecuentemente, al rendimiento, no es tan clara como en híbridos usados para la producción de grano.

El incremento de la digestibilidad mejora la calidad de la materia seca, y es un buen objetivo en programas de mejoramiento de forrajes (Buxton y Casler, 1993). Para el mejoramiento genético de maíces, Gutiérrez *et al.* (2004) mencionan que existe alta correlación fenotípica entre altura de planta y altura de mazorca y, entre rendimiento de forraje verde y materia seca Cuadro 1; Cuadro 2).

Es importante que en un plan de mejoramiento genético para alto rendimiento de materia seca y calidad nutritiva, se tomen en cuenta los materiales y la amplia variabilidad de los mismos, para permitir en mayor grado el flujo y selección de características deseables. Sobre este planteamiento se han realizado estudios como el de los efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) en ocho líneas de maíz con alta calidad y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruza directas; así, De la Cruz-Lázaro *et al.* (2005) observaron diferencias estadísticas para ACE en producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST) y



porcentaje de mazorca (PM). Los efectos genéticos aditivos predominaron para digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS), en tanto que los de dominancia fueron de mayor importancia en la expresión de PFV, PM y MST; resultados que indican que existe amplia variación genética entre las líneas evaluadas, y por lo tanto que pueden usarse en forma inmediata para iniciar programas de mejoramiento genético para forraje.

Cuadro 1. Promedios estimados de varianza aditiva, varianza de dominancia y heredabilidad de caracteres estudiados en maíz.

<b>Carácter</b>	<b>Varianza Aditiva</b>	<b>Varianza de Dominancia</b>	<b>Índice de Herencia (<math>h^2</math>) %</b>
Rendimiento, g (planta)	469.1	174.3	18.7
Altura de planta, cm	212.9	51.6	56.9
Altura de mazorca, cm	152.7	35.5	66.2
Número de mazorcas ( $\times 10^3$ )	45.9	13.2	39.0
Longitud de mazorca, cm ( $\times 10^2$ )	152.4	37.8	38.1
Diámetro de mazorca, cm ( $\times 10^2$ )	4.6	1.1	36.1
Número de hileras de grano ( $\times 10^2$ )	189.0	45.5	57.0
Peso del grano, g	34.9	8.5	41.8
Días a floración	4.0	0.9	57.9
Humedad del grano, %	7.2	1.7	62.0
Aceite, % ( $\times 10^2$ )	82.2	15.6	76.7
Numero de tallos ( $\times 10^2$ )	26.9	6.0	71.9
Profundidad de grano ( $\times 10^3$ )	18.7	4.2	29.2
Diámetro de elote ( $\times 10^3$ )	16.6	2.8	37.0
Extensión del totomoxtle ( $\times 10^2$ )	54.8	10.4	49.5
Deshojado del totomoxtle ( $\times 10^2$ )	65.2	1.0	35.9

Fuente: Hallauer y Miranda (1981).

Cuadro 2. Correlaciones entre caracteres de planta y mazorca y con el rendimiento obtenido.

Caracter	Caracteres							
	Rendimiento	Altura		Mazorca por planta	Mazorca		Núm. de Hileras	Granos por hilera
		Planta	Mazorca		Longitud	Diámetro		
Altura de planta	0.26	---	---	---	---	---	---	---
Altura de mazorca	0.31	0.81	---	---	---	---	---	---
Mazorcas/planta	0.43	0.12	0.14	---	---	---	---	---
Longitud de mazorca	0.38	0.22	0.08	0.03	---	---	---	---
Diámetro de mazorca	0.41	0.03	0.08	-0.08	-0.01	---	---	---
Diámetro de elote	0.10	0.14	0.12	---	0.03	0.67	---	---
Profundidad de grano	0.51	- 0.11	-0.05	---	-0.18	0.72	0.61	0.66
Num. Hileras de grano	0.24	0.00	0.25	-0.23	-0.16	0.57	---	---
Granos por hilera	0.45	0.25	0.22	0.15	---	0.57	---	---
Peso de grano	0.25	0.05	0.05	0.05	-0.03	0.21	-0.33	0.27
Días a floración	0.14	0.32	0.42	-0.02	-0.15	---	---	---
Núm. de tallos	0.06	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Hallauer y Miranda (1981).

En cambio, Espinoza *et al.* (2004a) observaron en maíces forrajeros que los efectos genéticos más importantes fueron los no aditivos con una magnitud del 29.72% para rendimiento de forraje verde y 11.2% para materia seca.

En otro estudio realizado con el mismo propósito de estimar aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera Peña *et al.* (2004), observaron que no hubo diferencias significativas entre probadores, en ninguna de las variables de producción y calidad nutritiva, pero sí permitieron la expresión de una amplia variación genética en MS, PC, FDN, FDA y DIV, a través de localidades. La mayoría de las cruzas tuvo producciones de MS superiores a 20 t ha<sup>-1</sup> y, una sola con 27 t ha<sup>-1</sup>, en las dos localidades. Las mejores cuatro cruzas en producción de leche rindieron entre 15 y 18 t ha<sup>-1</sup>, en Pabellón de Arteaga, Ags., y entre 17 y 22 t ha<sup>-1</sup>, en Torreón, Coah. Estas mismas cruzas tuvieron la mayor

calidad nutricional con bajos contenidos de fibra y alta digestibilidad, en las dos localidades, y superaron significativamente al testigo en Torreón.

Una forma de avanzar en el mejoramiento genético de maíces se basa en la identificación de patrones heteróticos, que son efectivos para la formación de híbridos y el aprovechamiento de la heterosis se maximiza a medida que se avanza en el proceso de selección; si se maneja en la modalidad de selección recurrente recíproca, se aprovecha tanto la varianza genética aditiva como la de dominancia. Además, en el corto plazo, la cruce entre las dos poblaciones mejoradas podría explotarse comercialmente con éxito (Ramírez *et al.*, 2004).

Algo importante en el mejoramiento de maíces forrajeros es el costo de los tratamientos; para ello Utz *et al.* (1994) proponen calcular índices de selección para la mejora simultánea de tratamientos relevantes de maíz forrajero, basados en tratamientos principales de rendimiento (REM), contenido de energía metabolizable (CEM) y de proteína cruda (CPC). Se requieren matrices de covarianza fenotípica y genotípica. Los índices base, índice de herencia e índice óptimo, solo mostraron diferencias menores con las ganancias esperadas en el incremento de los equivalentes totales ( $\Delta H$ ). El CPC fue el tratamiento menos importante en la selección para rendimiento de grano, el tratamiento secundario más adecuado resultó en mayor  $\Delta H$ . El corte de la planta entera y la subsiguiente determinación de CEM por NIRS, fue el procedimiento de selección más económica (Bertoia, 2004).

En lo que respecta al mejoramiento genético de la calidad del forraje, existe un gen recesivo conocido como *bm3* que reduce el contenido de lignina en el tallo de maíz. En general, los materiales con este gen, tienden a ser menos vigorosos y con menor producción de materia seca; sin embargo, el nivel de reducción varía en diferentes grupos genéticos de variedades elite de maíz. Con la presencia de *bm3*, se reduce el contenido de lignina (1 – 2%) e incrementa el contenido de proteína 1% (Singh, 1985; Brandolini y Salamini, 1985). Dicho de otra forma, el gen *brown*

*mid-rib-3 (bm3)* es conocido por reducir el contenido de lignina de la planta, lo cual es una característica deseable pero que está asociada con bajo contenido de materia orgánica (Buxton y Casler, 1993), aspecto que debe considerarse para mejorar la calidad nutritiva.

#### **1.2.4. Criterios de selección.**

Los criterios de selección de materiales forrajeros se orientan hacia dos conceptos fundamentales:

- Calidad técnica: se basa en la aptitud que tiene un maíz para ser ensilado, es decir, la capacidad para producir un excelente proceso de conservación. Tal valor se alcanza cuando las pérdidas en calidad y cantidad durante esta etapa son mínimas.

Esta aptitud depende principalmente del contenido de materia seca al momento del picado y de la concentración de azúcares solubles que sirven de sustrato a las bacterias que intervienen en el proceso de fermentación, principalmente láctica.

- Calidad biológica: se refiere a la eficiencia de utilización; aspecto que es importante al finalizar la selección de un maíz forrajero, de tal forma que asegure buen desempeño de los animales (Bertoia, 2004).

Los criterios de selección a considerar para elegir líneas elite para la formación de híbridos forrajeros, son: plantas que presenten alta relación hoja tallo, alta relación elote:planta, alto rendimiento de materia seca, buena calidad nutritiva, plantas con cero de enfermedades foliares y cero acame; pues son aspectos que influirán en genotipos con altos rendimientos de materia seca y con buena calidad nutritiva.

### **1.2.5. Aspectos agronómicos en la selección de líneas para la formación de híbridos forrajeros.**

Los aspectos agronómicos como, capacidad de producir grano a alta densidad de plantas, buena cantidad de biomasa vegetal, resistencia a enfermedades y resistencia al acame, deben de considerarse también en la selección de líneas y en la formación de híbridos de maíces forrajeros, ya que de estos aspectos va a depender el rendimiento de grano y de forraje verde.

Por ejemplo, para resistencia al acame, es necesario conocer como se combina la lignina con el resto de los hidratos de carbono estructurales, ya que en algunos estudios, se han observado diferencias genéticas significativas entre híbridos para FDA, FDN y proteína cruda (PC). Por efecto de la selección, los híbridos para grano poseen mayor contenido de FDA, LDA, constituyentes de la pared celular (CPC) y menor digestibilidad *In Vitro* de la materia seca (DIVMS), que muchas variedades sin proceso de selección para grano. Por lo tanto, se plantea la posibilidad de que la selección para rendimiento de grano y resistencia al acame puede disminuir la calidad del forraje (Bertoia, 2004).

Según Di Marco y Aello (2003), es muy poco lo que se puede lograr en mejorar la digestibilidad de la MS del ensilado a través de la calidad del resto de la planta (hoja, tallo y totomoxtle), ya que en la medida que los híbridos han sido seleccionados por características agronómicas asociadas al rendimiento de grano, las hojas y tallos desarrollaron tejidos más resistentes a la degradación rúminal. Por lo tanto, hay que seleccionar los híbridos y prácticas de manejo que den una alta proporción de mazorcas, lo cual no significa estrictamente mayor producción de grano por hectárea, porque ello también se puede lograr con plantas muy desarrolladas y mediana proporción de mazorcas; también, mencionan que el aumento de la densidad disminuye el peso de la espiga y aumenta el de hojas y tallos, lo cual no es conveniente para ensilado. Estos investigadores obtuvieron mejor proporción mazorcas y mayor relación espiga:tallos con 50 mil plantas por hectárea que con 80 mil. Por otro, observaron que en Uruguay el retraso de la

fecha de siembra de mitad de octubre a mitad de noviembre disminuye el tamaño de la mazorca y aumenta el peso del tallo. Sin embargo, también reportan que en años con un verano seco los híbridos de ciclo corto sembrados en noviembre tienen mejor aspecto que los sembrados en octubre, en los cuales la planta se secó antes.

Paliwal (2001a), menciona que los parámetros útiles para un buen forraje de maíz son: las proteínas crudas, el contenido de fibra, la materia seca digestible total, los nutrimentos digestibles totales y un bajo contenido de lignina. El germoplasma del maíz forrajero debería presentar un crecimiento rápido, resistencia a enfermedades foliares, tolerancia a las siembras con altas densidades y alta capacidad de producción de biomasa.

La densidad de plantas necesaria para el máximo rendimiento forrajero debe ser mayor que para la producción de grano; sin embargo, no se conoce con precisión la respuesta de estos maíces a las altas densidades y su efecto sobre el rendimiento y el valor nutricional (Pinter *et al.*, 1990, 1994).

Con el desarrollo de nuevas técnicas como la espectroscopía de reflexión casi infrarroja para predecir la calidad de la planta (Albanell *et al.*, 1995), la selección de germoplasma superior de maíces forrajeros podría hacer progresos rápidos a plazo breve.

#### **1.2.6. Calidad nutritiva.**

En general, el maíz tiene alto valor nutritivo como fuente de energía, por su alto contenido de carbohidratos, pero no posee suficientes proteínas, tanto en cantidad como en calidad, por ser incompleto en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano; además, es insuficiente en niacina y minerales, excepto en calcio por la forma de industrializar la harina nixtamalizada (Reyes, 1990).

La planta del maíz es un excelente forraje al consumirse verde, ensilado, henificado o aun como rastrojo. En 10 variedades de maíz, el análisis químico proximal,

mostró que la proporción de tallo en la planta en promedio es del 44% con 5.8% de proteína, 0.47% de grasa, 36.0% de fibra, 7.1% de cenizas y 41.9% de E.L.N.; mientras que la hoja representa en promedio el 26.0% de la planta con 11.5% de Proteína, 1.1% de grasa, 27.4% de fibra, 11.9% de cenizas y 49.6% de E.L.N., en tanto que el elote representa en promedio el 30 % de la planta con 9.4% de proteína, 1.1% de grasa, 18.1% de fibra, 2.6% de cenizas y 59.0% de E.L.N. Los valores indican que el maíz es un forraje verde de alto valor nutritivo como fuente de energía, dada por los carbohidratos. Son deseables variedades de maíz con bajos porcentajes de tallo y altos porcentajes de hoja y elote por sus contenidos de carbohidratos y proteínas (Reyes, 1990).

Los porcentajes de cada uno de los componentes de la planta de maíz varían (Cuadro 11); los tallos representan la proporción más alta, seguidos de hojas y en menor porcentaje, el olote (Peñuñuri *et al.*, 1980), aspecto que tendrá mucha influencia en la calidad nutritiva de la planta.

Un cultivo de maíz para ensilar es un conjunto de mazorcas, hojas, tallos y totomoxtle. La mazorca contiene el grano, el cual es de alto valor nutritivo para los animales, mientras que el del resto de la planta puede asimilarse al de un forraje de mediana a baja calidad. La mazorca es el componente de la planta de mayor valor nutritivo debido a que el grano, constituido fundamentalmente por almidón, es altamente utilizado por los rumiantes. Se estima que los animales digieren más del 90% de los granos, aunque hay variaciones debidas al procesamiento de ellos, madurez del cultivo y a la variedad. El otro componente de la mazorca es el olote que representa aproximadamente el 17% del peso de la misma. El resto de la planta de maíz forma el subproducto llamado rastrojo cuando se secan, el cual está conformado por 45-50% de hojas, 40-45% de tallos y el resto (10-15%) por el totomoxtle. Estos componentes son todos de mediana a baja, o muy baja, calidad. Por ejemplo, las hojas que incluyen la lámina y vaina, tiene una calidad similar al totomoxtle. Cuando este material se expone a 24 horas de degradación en el rumen, que es el tiempo en que los ensilados son retenidos, se observa que solamente se degrada alrededor de un 45% (Di Marco y Aello, 2003).

El maíz amarillo es mejor materia prima para el ensilado, pues es más rico en azúcares solubles que los hace más apetecibles, además presenta alto contenido de carotenos en el grano, que permite obtener leche con mayor contenido de vitamina A; pero al ser un forraje más dulce, lo hace también más apetitoso para las plagas (SDA, 2005).

En general, en Uruguay, las evaluaciones agronómicas se concentran en determinar la producción total de forraje. Hoy en día esa situación ha cambiado debido en parte, a que un incremento significativo de materiales híbridos en el mercado que poseen menor contenido de lignina, lo cual se ve reflejado en un aumento en la digestibilidad de la planta. Tal caso se observa al comparar un maíz con el gen *bm<sub>3</sub>*, que tiene la capacidad de disminuir el contenido de fibra de la planta, de tal forma, que presenta un 25.2% de hemicelulosa, 21.3% de celulosa, 3.54% de lignina y una digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de 67.5%; en cambio un maíz normal presenta 23.7%, 20.5%, 5.68% y 59.0%, respectivamente, para los mismos parámetros (Pasturas América, 2003); de tal forma que debe preferirse un forraje con menor lignina presente mayor valor nutritivo por presentar mayor digestibilidad.

Otro aspecto importante a considerar dentro del valor nutritivo de un buen ensilado es la proteína, aunque cabe señalar que este carácter ha sido poco mejorado y aún es bajo en este tipo de alimentos. Además, no existe mayor información sobre el uso del maíz con proteínas de calidad como cultivo forrajero; tal vez, pudiera tener ventajas para hacer ensilados para ganado lechero. El ensilado de mazorcas verdes de maíz con proteínas de calidad se está difundiendo en el norte de Europa donde el maíz difícilmente llega a la madurez (Paliwal, 2001b).

En Illinois han trabajado en el mejoramiento genético para proteína en cantidad y calidad, a través de genes mutantes conocidos, por ejemplo *opaco-2(o2)*, *opaco-6(o6)*, *opaco-7(o7)*, *floury-2(fl2)*, *floury-3(fl3)*, *De-B30*, *mucronate(Mc)*, que afectan la deposición y el nivel de zeinas en el endospermo, reduciéndolas e



incrementando el gluten, albúmina y globulina. Además, los genes *o2* y *fl2* convierten el maíz normal a genotipos con alto contenido de lisina y triptófano, mejorando así, la calidad y valor nutritivo del grano. Sin embargo, un gran problema en estos programas de mejoramiento, es que, el rendimiento de grano y la calidad y cantidad de proteína presentan una correlación negativa, lo que incrementa la dificultad de seleccionar plantas de maíz con una combinación favorable de genes que afecten ambos caracteres (Lorenzoni y Motto, 1985; Duvick, 1985; Brandolini y Salamini, 1985; Singh, 1985).

La transferencia del gen *o2* al maíz normal es relativamente simple; esta transferencia se lleva a cabo cruzando un maíz normal con un mutante *opaco-2* y seleccionando fenotípicamente granos opacos. El maíz *opaco-2* muestra un incremento significativo en contenido de lisina y triptófano y, por lo tanto, mejora la calidad nutricional. Sin embargo, el gen *o2* trae consigo varias deficiencias fenotípicas inherentes: textura blanda del endospermo y apariencia opaca del grano; además mayor susceptibilidad a los hongos de la pudrición de la mazorca y al daño de insectos en campo y en el almacenamiento; pericarpio más grueso y baja germinación de semilla y, sobre todo, rendimientos más pobres (Paliwal, 2001a).

El maíz forrajero conservado como ensilado, es un componente de alta energía para dietas de rumiantes (Lundvall *et al.*, 1994). La digestibilidad del forraje afecta el consumo animal, tasa de crecimiento y producción de leche. Los productores de maíz forrajero usualmente aconsejan plantas híbridas con alto potencial de rendimiento de grano, porque el grano es altamente digestible. El rendimiento y calidad del forraje de maíz, sin embargo, pueden ser sacrificados cuando se tiene mayor énfasis en alta producción de grano, porque la cantidad de grano representa cerca de la mitad del total de rendimiento de la materia seca cosechada (Irlbeck *et al.*, 1993), pero a la vez el contenido de grano, es una de las características principales de los híbridos de maíz asociados con el valor energético del forraje (Allen *et al.*, 1991).

También es importante mencionar que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de tallos está más asociada con la concentración de fibra detergente neutra del tallo, con una correlación de  $r = -0.74$ , en cortes tempranos y  $r = -0.82$ , en cosechas tardías; mientras que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la hoja está más asociada con la concentración de lignina de la hoja ( $r = -0.61$ ). Por otra parte, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del tallo cosechado temprano, no está asociado con la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de hoja ( $r = 0.31$ ) o la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del tallo cosechado más tarde ( $r = 0.40$ ), lo que conlleva a que, una selección efectiva para mejorar la DIVMS del ensilado de maíz, puede requerirse un muestreo total cerca de la madurez fisiológica (Lundvall *et al.*, 1994).

La concentración de lignina está usualmente correlacionada en forma negativa con la digestibilidad de las paredes celulares del forraje y ésta ha sido identificada como la mejor variable independiente para predecir digestibilidad de ensilados de maíz (Zimmer y Wermke, 1986).

Núñez *et al.* (2005), mencionan que la digestibilidad del maíz forrajero depende de que la calidad nutricional de hojas y tallos no disminuya drásticamente, como para afectar el aumento del valor nutricional; dado que, la digestibilidad *in vitro* está determinada principalmente por la concentración de fibra detergente neutro ( $r^2 = 0.54$ ). Rivas *et al.* (2005), estudiaron seis genotipos de maíz, que fueron cosechados en dos estados de madurez del elote y observaron que la menor fibra detergente neutra (FDN) la presentó el híbrido 41x47, en tanto que la menor fibra detergente ácida (FDA) se obtuvo en los híbridos 47x32, 41x47 y en el criollo, en la cosecha del elote en estado masoso-lechoso. En el estado masoso-pastoso, los valores de FDN y FDA fueron mayores, por lo que se atribuye menor calidad en este estado.

### **1.2.7. Eficiencia de utilización del forraje por el animal.**

Algo importante al formar híbridos de maíz forrajero, es conocer la eficiencia de utilización de estos maíces por los animales. Para poder hacerlo, se debe tener en cuenta la respuesta del animal al producto (producción de carne, leche o lana). Es prácticamente imposible la utilización del animal como prueba, ya que el número de híbridos a evaluar es tan grande que se hace económicamente inalcanzable trabajar con grupos de animales homogéneos entre sí (edad similar, peso, constitución genética, estado sanitario, etc.), por lo que se puede decir que la mayor calidad biológica se logra cuando el contenido de energía, de digestibilidad y la tasa de ingesta de la materia ensilada son máximos y se alcance el valor de conversión más elevado (Bertoia, 2004).

Bianco *et al.* (2003) realizaron estudios de evaluación de ensilados de maíz de ciclo medio y largo, en vacas holandesas, donde observaron que en la producción de leche, contenido y producción total de proteína, producción total de grasa y peso vivo no hubo diferencias significativas, sin embargo para contenido graso de la leche si las hubo. Por lo anterior, puede decirse que esta última variable hoy en día, es importante, ya que las compañías comercializadoras de productos lácteos pagan a los productores la producción de leche por contenido de grasa.

Entonces, se puede concluir que, para formar buenos híbridos de maíz para forraje, se deben de evaluar las líneas, considerando los atributos valiosos para producción y calidad de forraje y fijarlos en cada línea progenitora para la formación de los híbridos.

Por ejemplo, existe variación en la digestibilidad de ensilados entre maíces híbridos y pocos investigadores han evaluado este parámetro entre líneas avanzadas genéticamente (Lundvall *et al.*, 1994). Similarmente, señalan que existe variación significativa entre líneas o materiales de maíz para digestibilidad *in vitro* de la

materia seca y en los componentes de la pared celular, y que la variación es mayor en tallos cosechados muy tarde y mínimo en vainas.

### **1.2.8. Resultados del mejoramiento genético en variables con cualidades forrajeras.**

Núñez *et al.* (2005), obtuvieron resultados de rendimiento promedio de forraje verde y seco, de tres estado de madurez, de 57.8 t ha<sup>-1</sup> y 20 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El contenido de materia seca a la cosecha fue de 35.4 %. Además, observaron que con respecto al efecto del estado de madurez, la producción de forraje verde por hectárea disminuyó de 71.3 a 57.1 y 45 t ha<sup>-1</sup>, para los estados masoso, avance de 1/4 y 1/3 de la línea de leche en el grano a la cosecha, respectivamente. Sin embargo, la producción de forraje seco por hectárea fue similar (20 t ha<sup>-1</sup>) para los tres estados de madurez evaluados. El aumento en contenido de materia seca se debe tanto a la pérdida de humedad de las plantas al avanzar el estado de madurez, como al mayor contenido de grano, ya que este contiene menor humedad respecto a hojas y tallos. Los contenidos de materia seca de 26, 31, 35 y 39% fueron para los estados correspondientes a grano dentado, 1/2, 3/4 y madurez fisiológica (aparición de la capa negra; Nuñez *et al.*, 2005).

La producción de hojas y tallos se detiene primero que la producción de grano, por lo cual el porcentaje de mazorca (contenido de grano) aumenta con el avance del estado de madurez, parámetro que es importante, debido a que el grano es la parte energética del maíz, y a que tiene un efecto de dilución de la fibra detergente neutra, la cual contiene sustancias menos digestibles del forraje. La concentración de fibra detergente neutra aumenta principalmente en hojas y tallos y su digestibilidad disminuye al avanzar el estado de madurez (Jonson *et al.*, 1999).

En híbridos de maíz, observó que existe variabilidad fenológica, fenotípica y productiva de grano y forraje (Martínez *et al.*, 2004).

En un estudio de densidad de siembra en dos variedades de maíz, donde se observaron rendimientos de forraje verde de 31.81, 36.57, 37.38, 38.46 y 37.84 t ha<sup>-1</sup> para las densidades de 45, 60, 75, 90 y 105 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Reyes, 1990).

Enríquez *et al.* (2003), realizaron estudios en 14 genotipos (10 QPM y 4 normales) con 70,000 plantas ha<sup>-1</sup> y 160-60-60 de fertilización, obteniendo los siguientes resultados: Pionner 3028 W alcanzó los más altos rendimientos de materia verde y seca con 37.82 y 13.34 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre los materiales QPM sobresalen: H-553 C, H-551 C, CML176XCML186XCML142, y la variedad Tornado, de maíz normal, que rebasaron las 31 y 10 t ha<sup>-1</sup> de materia verde y seca, respectivamente. La proporción de hoja, tallo y mazorca tuvieron valores promedio de 17, 33 y 50%, respectivamente, con valores semejantes entre genotipos, con excepción de H -512 que mostró una alta proporción de tallos (45%).

Rivas *et al.* (2005), estudiaron el rendimiento de materia seca, componentes morfológicos y la calidad nutritiva en seis genotipos de maíz, donde observaron diferencias significativas entre genotipos y la materia verde acumulada fue mayor para la cruza doble 41x47, CP-Promesa, la cruza simple CL1xCL13 y criollo; y que ésta fue influenciada por la cantidad de tallo y elote, además de que algunos presentaron los mayores rendimientos de materia seca del ensilado. En lo que respecta a calidad, la menor fibra detergente neutra (FDN) la presentó la 41x47 y la menor fibra detergente ácida (FDA) 47x32, 41x47 y criollo, habiendo realizado la cosecha de forraje cuando el elote estaba en estado masoso-lechoso. En el estado masoso-pastoso, los valores de FDN y FDA fueron mayores, por lo que se atribuye una menor calidad en este estado.

Tinoco y Pérez (2005), observaron que existe variabilidad genética en genotipos para componentes morfológicos, siendo H-520, VS-536 y Nutria los que presentaron los mejores rendimientos de grano con un 49 a 54% de grano, en cambio, todos los materiales fluctuaron entre 18 a 20% de hoja y 29 a 33% de tallo.

Otro aspecto importante dentro de los componentes morfológicos de la materia seca es el número de mazorcas por planta, Espinoza *et al.* (2004b) estudiaron el ahijamiento y la densidad de población (30,000 y 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>) para este carácter. Observaron que el número de hijos productores por planta y el número de mazorcas en el tallo principal disminuyó al incrementar la densidad. El área foliar total por planta se redujo debido a un decremento en el número de hijos. Al incrementar el número de hijos en las poblaciones, se redujo el área foliar del tallo principal, pero se incrementó el área foliar por planta y el índice de área foliar.

López *et al.* (1999), estudiaron ocho razas de maíz en Argentina, por medio de cruzamientos entre ellas, para entender el comportamiento de la digestibilidad y el rendimiento de la materia seca; y observaron que hubo diferencias estadísticas en algunos materiales para rendimiento de materia seca, por lo que sugieren que, para esta variable, son importantes los efectos aditivos de acuerdo al control del tratamiento; en cambio, para digestibilidad de materia seca, no se presentaron diferencias, por lo que para esta variable es importante observar los efectos aditivos y los no aditivos. En conclusión, mencionan que los parientes de las poblaciones fueron mejoradas y que las estrategias de cruzamiento son importantes, dependiendo de las características de las plantas que se desean seleccionar.

## **1.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.3.1. Localización.**

El presente estudio se condujo en condiciones de campo en Montecillo, Estado de México, localizado a 19° 29' latitud norte y 98° 53 ' longitud oeste y con una altitud de 2250 msnm. Su tipo de clima se clasifica como templado sub-húmedo, con verano fresco largo, lluvias en verano y con una precipitación promedio anual de 645 mm; la temperatura media anual es de 15 °C, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5 %; con temperaturas medias del mes más frío de -3°C y temperaturas del mes más caliente mayor de 10 °C, con poca oscilación térmica, por lo que corresponde a una fórmula climática Cb(wo)(w)(i') (García, 1988).

### **1.3.2. Material genético.**

Se utilizaron 44 líneas elite del Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa en Producción de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados.

### **1.3.3. Conducción del experimento en campo.**

Las líneas se sembraron el 8 de mayo de 2005 en surcos separados a 80 cm, depositando dos semillas cada 40 cm.

Se dieron riegos de inicio para lograr la emergencia de la semilla, y posteriormente cada quince días hasta que se establecieron las lluvias.

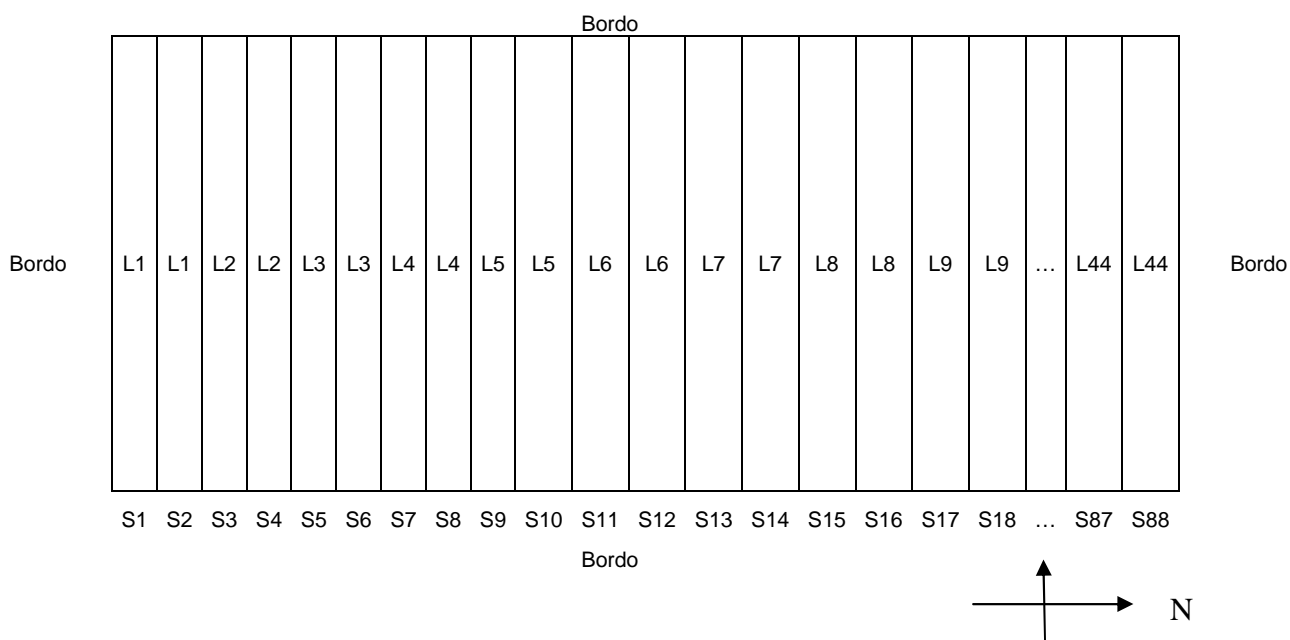
La fertilización fue de 160 kg de Nitrógeno, 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 40 kg de k<sub>2</sub>O, aplicando la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y el potasio en la siembra y el resto del nitrógeno a los dos meses después de la siembra.

Para mantener limpio el cultivo se aplicó herbicida preemergente y postemergente, además de complementar el control de malezas en forma manual y con azadón en dos ocasiones cuando la planta tenía un mes y medio de edad.

La cosecha se realizó de octubre a noviembre acorde a la maduración de las líneas.

La unidad experimental consto de dos surcos de 4 m de largo (Fig. 1), en la cual se marcaron tres plantas seleccionadas al azar para realizar las mediciones necesarias de cada variable medida.

Figura 1. Croquis de Localización de las líneas elite evaluadas.



#### 1.3.4. Variables evaluadas.

- 1) **Aspecto físico de la hoja (AFH).** Para evaluar esta variable se observó la condición de la hoja y se determinó la presencia de daño foliar cuando la planta mostró presencia de elote con grano masoso-pastoso. Para ello se consideraron los siguientes parámetros: E = Excelente, MB = Muy buena, B = Buena y R = Regular, donde la E corresponde aquellas hojas que no presentaron ningún daño o enfermedad y R para las que mostraron daños y presencia de enfermedades.



- 2) **Cualidad forrajera (CF).** Esta variable fue evaluada de acuerdo al aspecto general de la planta, en cuanto a apariencia física para ser buen forraje cuando la planta mostró presencia de elote con grano masoso-pastoso; para ello se estableció la siguiente escala: E = Excelente, MB = Muy buena, B = Buena y R = Regular; donde E correspondió a plantas que de manera visual mostraron mejor apariencia física para ser un buen forraje por su altura, sanidad, cantidad y aspecto de la hojas, presencia y cantidad de elotes.
- 3) **Hojas por planta (HPP).** Esta variable consistió en contar el número de hojas por planta cuando la planta mostró presencia de elote con grano masoso-pastoso, y fue registrado en forma individual para tres plantas en competencia completa tomadas al azar.
- 4) **Altura de planta (AP).** Esta variable se obtuvo midiendo (m) con una cinta métrica, desde la base del tallo a la base de inserción de la lámina con la vaina de la última hoja en las plantas seleccionadas al azar cuando la planta mostró presencia de elote con grano masoso-pastoso.
- 5) **Diámetro de tallo (DT).** Se midió (cm) con cinta métrica flexible el perímetro del tallo en la parte basal del mismo, para después usar la fórmula del Perímetro:  $P = \pi \cdot D$ , de la cual se despejó a diámetro  $D = P/\pi$ ; donde  $\pi = 3.1416$ . Datos que fueron obtenidos para las tres plantas seleccionadas al azar de cada unidad experimental cuando la planta mostró presencia de elote con grano masoso-pastoso.
- 6) **Mazorcas por planta (MAZP).** Para este caso, en las mismas plantas seleccionadas, se contaron las mazorcas presentes en cada planta.
- 7) **Rendimiento de grano (RENGR).** Se cosecharon las mazorcas de cada planta seleccionada cuando estaban completamente secas, se depositaron en bolsas de papel estraza para continuar con su secado dentro de un invernadero para posteriormente desgranarlas en forma manual.

Se pesó el grano y el olote en forma separada en una balanza CS200 marca Ohaus con una aproximación a 0.1 g.

- 8) Rendimiento de materia seca de la planta completa (RMS).** Se cosecharon los tallos completos con hojas de cada planta seleccionada cuando estaban completamente secas, se fraccionaron en pedazos para tomar una submuestra de 200 g de tallo, se depositó en bolsas de papel estraza, se llevaron a una estufa a 110°C y se determinó la materia seca. Se pesó el tallo y la submuestra en balanza CS200 marca Ohaus con una aproximación a 0.1 g.

### 1.3.5. Análisis de datos.

Los datos obtenidos para cada variable, se les realizó un análisis de varianza utilizando el modelo de efectos de una vía de clasificación para un diseño completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 44; \quad j = 1, 2, 3$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable de respuesta.

$\mu$  = Media general.

$G_j$  = Efecto de la Línea al nivel  $i = 1, 2, 3 \dots 44$

$E_{ij}$  = Error experimental.

Para las variables en las que hubo diferencias estadísticas entre tratamientos se realizaron las pruebas comparativas de medias, mediante Tukey al 0.05 de probabilidad de error.

Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el programa computacional SAS (2007), Ver. 9.0.

## 1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.4.1. Aspecto físico de la hoja.

El aspecto físico de la hoja (AFH), consideró que éstas se mostraran sanas y enteras, siendo L-2 y L-12 las que mostraron un excelente aspecto seguidas de las líneas L-1, L-3, L-4, L-5, L-6, L-7, L-8, L-18, L-19, L-22, L-24, L-26, L-27, L-28, L-29, L-30, L-31, L-35, L-36, L-38, L-39, L-40, L-42, L-43 y L-44; en cambio, L-21 mostró más daño, con hojas enfermas y deterioradas (Cuadro 3).

De acuerdo a lo observado se tiene una amplia variabilidad en este sentido, lo que influirá en el rendimiento y calidad del forraje, tal y como lo observaron De la Cruz-Lázaro *et al.* (2005), quienes haciendo uso de estudios sobre efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) en ocho líneas de maíz de alta calidad proteica y la aptitud combinatoria específica (ACE) de cruza directa, observaron diferencias estadísticas para ACE en producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST) y porcentaje de mazorca, determinando una amplia variación genética entre las líneas evaluadas, que pueden usarse en forma inmediata para iniciar programas de mejoramiento genético para forraje.

Un excelente aspecto físico de la hoja influye positivamente en el rendimiento y calidad del forraje, tal y como lo menciona Bertoia (2004), al considerarlo dentro de los criterios de selección para elegir líneas para la formación de híbridos forrajeros; precisando que se deben buscar plantas con cero enfermedades foliares y cero acame, aspectos que influirán en genotipos con altos rendimientos de materia seca y con buena calidad nutritiva. Además, es importante tomar en cuenta lo que mencionan Núñez *et al.* (2005), en el sentido de que la digestibilidad del maíz forrajero depende de que la calidad nutricional de hojas y tallos no disminuya drásticamente, como para contrarrestar el aumento del contenido y valor nutricional.

El énfasis que debe darse al aspecto físico de la hoja, se debe a que este es un componente importante en el rendimiento de materia seca, que influye mucho en la calidad de la misma, por ser el componente de la planta más digestible.

Cuadro 3. Aspecto físico de hoja y calidad forrajera de 44 líneas elite. Montecillo, Texcoco, México. 2005.

Línea	Aspecto Físico de la hoja	Cualidad Forrajera	Línea	Aspecto Físico de la hoja	Cualidad Forrajera
L-1	MB	E	L-23	B	MB
L-2	E	E	L-24	MB	MB
L-3	MB	B	L-25	B	B
L-4	MB	B	L-26	MB	E
L-5	MB	E	L-27	MB	MB
L-6	MB	B	L-28	MB	B
L-7	MB	MB	L-29	MB	B
L-8	MB	MB	L-30	MB	R
L-9	B	MB	L-31	MB	MB
L-10	B	B	L-32	B	B
L-11	B	R	L-33	B	B
L-12	E	E	L-34	B	MB
L-13	B	B	L-35	MB	B
L-14	B	MB	L-36	MB	MB
L-15	B	B	L-37	B	MB
L-16	B	MB	L-38	MB	MB
L-17	B	R	L-39	MB	E
L-18	MB	MB	L-40	MB	MB
L-19	MB	E	L-41	B	E
L-20	B	MB	L-42	MB	MB
L-21	R	B	L-43	MB	MB
L-22	MB	MB	L-44	MB	MB

E= Excelente, MB= Muy buena, B= Buena, R= Regular.

#### 1.4.2. Calidad forrajera.

La calidad forrajera (CF) se calificó en forma visual, observando el aspecto de la planta completa considerando sanidad, altura, grosor, cantidad y tamaño de hojas, y presencia y tamaño de elotes, siendo las líneas L-1, L-2, L-5, L-12, L-19, L-26, 39 y 41 las que mostraron calificación excelente para calidad forrajera, seguidas de las líneas, L-7, L-8, L-9, L-14, L-16, L-18, L-20, L-22, L-23, L-24, L-27, L-31, L-34, L-36, L-37, L-38, L-39, L-40, L-42, L-43 y L-44, en cambio L-11, L-17 y L-30 mostraron la menor calidad forrajera (Cuadro 3).

La calidad forrajera de la planta completa es importante porque incluye componentes que definen el arquetipo de la planta que debe buscarse para

asegurar un forraje excelente y con rendimientos sustanciales que le permita ser un insumo redituable en la alimentación del ganado lechero en beneficio de la rentabilidad económica del sistema productivo; aspectos que han sido estudiados ampliamente por Bertoia (2004), quien menciona que los aspectos agronómicos como capacidad de producir grano a alta densidad de plantas, buena cantidad de biomasa vegetal, resistencia a enfermedades y al acame, deben considerarse también en la selección de líneas y en la formación de híbridos de maíces forrajeros..

#### **1.4.3. Hojas por planta.**

Se observaron diferencias significativas entre líneas, para número de hojas por planta (HPP). Las líneas 7, 38, 3, 36, 44, 14, 12, 21, 26, 32, 41, 43, 1, 2, 27 y 35 mostraron el mayor número de hojas con valores de 15.1, 14.4, 13.5, 13.5, 13.5, 13.3, 13.2, 13.2, 13.0, 13.0, 13.0, 13.0, 12.8, 12.8, 12.7 y 12.7 hojas planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 4).

Los datos de hojas por planta obtenidos en esta investigación entran dentro del rango (10 a 19.67 hojas planta<sup>-1</sup>) observado por Andrio *et al.* (2008), para 12 variedades criollas.

#### **1.4.4. Altura de planta.**

Para altura de planta (AP), se observaron diferencias significativas entre las líneas estudiadas, siendo las líneas 7 y 38, las que mostraron el mayor valor de altura con 2.7 y 2.57 m, respectivamente; le siguieron las líneas 16, 14, 27, 20, 1, 15, 37, 36, 25, 43 y 44 con valores de 2.2, 2.12, 1.92, 1.91, 1.9, 1.89, 1.89, 1.87, 1.86, 1.84 y 1.84 m, respectivamente (Cuadro 4). Datos que muestran variabilidad entre las líneas, observándose valores que pueden considerarse para un programa para la formación de híbridos forrajeros. Estos valores fueron mayores a los observados por Cervantes-Santana, *et al.*, (2002), ya que los mayores fueron de 2.13 y 2.10 m

para líneas endogámicas de maíz irradiado; similarmente para diez genotipos de Valles Altos (cruzas y líneas) con valores desde 1.8 a 2.3 m (Hernández y Esquivel, 2004) y a los de Valdivia y Arellano (1990), con valores de 1.79 a 1.91 m.

#### **1.4.5. Diámetro de tallo.**

La variable diámetro de tallo (DT) mostró diferencias significativas entre líneas; mostrando los genotipos 35, 41, 36, 40, 37, 38, 27, 7, 39, 14, 44, 15 y 23 los seguimientos valores de 2.95, 2.89, 2.87, 2.83, 2.82, 2.82, 2.71, 2.68, 2.68, 2.59, 2.58, 2.57 y 2.48 cm, respectivamente (Cuadro 4). Estos valores son menores a los reportados por Hernández y Esquivel (2004), quienes observaron diámetros de 4.9 a 5.8 cm en diez genotipos de Valles Altos.

#### **1.4.6. Mazorcas por planta.**

Para mazorcas por planta (MAZP) no se observaron diferencias significativas, aunque hubo una tendencia a presentar un valor mayor con respecto a la media general de todas las líneas (2.9 mazorcas planta<sup>-1</sup>), en los genotipos 15, 44, 24, 26, 10, 19, 35, 38, 40, 43 y 23 con valores de 4.33, 4.33, 4.0, 4.0, 3.67, 3.67, 3.67, 3.67, 3.67, 3.67 y 3.67 mazorcas planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 4).

Es muy importante considerar este carácter en la selección de líneas, en un programa de mejoramiento genético para maíces forrajeros, ya que la relación elote:planta o cantidad de elotes, definen en gran medida la digestibilidad de la materia seca por el contenido de carbohidratos y asegura buena fermentación del ensilado, además de que tiene influencia en el rendimiento de materia seca (Reyes, 1990). En este sentido, todas las líneas presentan buena capacidad para esta variable, por lo que pueden utilizarse como progenitores en programas de producción de semillas o mejoramiento, para formar híbridos de maíz con calidad forrajera.

#### **1.4.7. Rendimiento de grano.**

El rendimiento de grano (RENGR) mostró diferencias significativas entre líneas, siendo los genotipos 38, 36, 27, 24, 7, 37, 26, 14, 40, 31, 12, 2 y 41 los que mostraron los valores más altos con 295.4, 246.37, 223.5, 226.77, 222.27, 209.8, 200.83, 186.17, 185.47, 181.3, 177.47, 176.33 y 173.17 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 4). Estos son mayores a los obtenidos por Tosquy *et al.* (1998), para 45 líneas endocriadas evaluadas en el Campo Experimental de Cotaxtla, Veracruz con un promedio de 114 g planta<sup>-1</sup>, y a los de Cervantes-Santana, *et al.* (2002), con un promedio de 79 g planta<sup>-1</sup>, en líneas irradiadas y aún mayores a los resultados obtenidos por Valdivia y Arellano (1990), para 30 líneas endogámicas, con valores de 36 a 55 g planta<sup>-1</sup>; en el mismo sentido son los datos reportados por Arellano y Virgen quienes obtuvieron de 18.5 a 80 g planta<sup>-1</sup> para líneas de origen templado subtropical y de Valles Altos, respectivamente; en tanto que Vázquez *et al.* (1990) documentaron una escasa producción de semilla en 111 líneas al rendir, en promedio, 40 g planta<sup>-1</sup>; lo anterior pone de manifiesto que dentro de este grupo de 44 líneas estudiadas, existen buenos materiales para ser usados en programas de mejoramiento genético por su buen comportamiento en el rendimiento de semilla o grano haciendo rentable su uso como progenitores femeninos.

#### **1.4.8. Rendimiento de materia seca de planta completa.**

Para rendimiento de materia seca de la planta completa (RMS), se observaron diferencias significativas entre líneas estudiadas, siendo los genotipos 38 y 7 los que mostraron los valores más altos con 244.65 y 206.57 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. A estas le siguieron las líneas 26, 37, 14, 36, 44, 43, 27, 41 y 42 con valores de 168.69, 143.68, 138.51, 135.74, 133.69, 133.10, 133.05, 118.64 y 115.22 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 4). Estos valores que fueron menores a los observados por Navarro *et al.* (2008), en cinco híbridos sobresalientes evaluados en la Comarca Lagunera, con un promedio de 304.6 g planta<sup>-1</sup>, sin embargo, los mejores valores (244.65 y 206.57 g planta<sup>-1</sup>) obtenidos en el estudio

son aceptables si se considera que son líneas endogámicas, que al ser utilizadas como progenitores se esperaría un mayor rendimiento por efecto de heterosis en los híbridos, siendo posible su inclusión en un programa de mejoramiento genético orientado a producir híbridos con calidad forrajera.



Cuadro 4. Comparación de medias en caracteres de 44 líneas elite de maíz para seleccionar genotipos con calidad forrajera. Montecillo, Texcoco, México. 2005.

LINEA	HOJAS POR PLANTA	ALTURA DE PLANTA (m)	DIAMETRO DEL TALLO (cm)	MAZORCAS POR PLANTA	RENDIMIENTO DE GRANO (g/pl)	RMSP (g/pl)
1	12.83 abcde	1.90 cdefg	2.06 hijkm	3.33 a	87.27 bcde	90.40 defghi
2	12.83 abcde	1.34 lnop	2.00 lklm	2.67 a	176.33 abcde	66.07 fghi
3	13.50 abc	1.71 efghijkl	2.12 ghijklm	3.33 a	117.87 bcde	83.80 defghi
4	12.00 cdef	1.55 efghijklmno	1.91 ijklm	2.00 a	21.03 e	80.95 defghi
5	12.00 cdef	1.50 ghijklmno	2.14 fghijklm	2.00 a	149.37 abcde	76.06 defghi
6	12.33 bcdef	1.47 ijklmno	1.83 klm	2.33 a	104.03 bcde	83.05 defghi
7	15.12 a	2.70 a	2.68 abcdef	3.33 a	222.27 abc	206.57 ab
8	11.33 cdef	1.53 efghijklmno	1.96 ijklm	2.33 a	60.20 cde	75.20 defghi
9	12.00 cdef	1.59 efghijklmn	1.95 ijklm	3.00 a	125.13 abcde	71.96 efghi
10	11.50 cdef	1.46 jklmno	2.09 hijklm	3.67 a	93.63 bcde	84.12 defghi
11	12.50 bcdef	1.50 ghijklmno	1.96 ijklm	2.67 a	16.03 e	86.89 defghi
12	13.17 abcde	1.65 efghijklm	2.13 fghijklm	2.00 a	177.47 abcde	107.49 cdefghi
13	12.33 bcdef	1.17 opq	2.23 efghijklm	2.67 a	85.37 bcde	62.25 ghi
14	13.30 abcd	2.12 od	2.59 abcdefgh	3.33 a	186.17 abcde	138.51 bcde
15	11.17 cdef	1.89 cdefgh	2.57 abcdefgh	4.33 a	130.37 abcde	108.01 cdefghi
16	12.33 bcdef	2.20 bc	2.29 cdefghijkl	2.00 a	151.67 abcde	107.55 cdefghi
17	11.33 cdef	1.32 lnop	1.92 ijklm	2.00 a	34.07 de	66.85 efghi
18	11.00 cdef	0.88 q	1.69 m	2.67 a	54.63 cde	39.48 i
19	11.50 cdef	1.35 lnop	1.89 jklm	3.67 a	102.77 bcde	81.36 defghi
20	10.83 def	1.91 cdef	2.35 bcdefghijk	3.00 a	159.97 abcde	109.98 cdefghi
21	13.17 abcde	1.65 efghijklm	2.11 hijklm	2.67 a	106.00 bcde	112.36 cdefgh
22	10.00 f	0.99 pq	2.05 hijklm	2.00 a	100.57 bcde	57.60 hi
23	10.83 def	1.48 hijklmno	2.48 abcdefgh	3.67 a	170.13 abcde	89.77 defghi
24	12.33 bcdef	1.79 defghijk	2.47 abcdefghi	4.00 a	226.77 abc	86.35 defghi
25	12.50 bcdef	1.86 cdefghij	2.23 efghijklm	2.33 a	132.13 abcde	87.98 defghi
26	13.00 abcde	1.68 efghijklm	2.45 abcdefghij	4.00 a	200.83 abcd	168.69 bc
27	12.67 abcde	1.92 ode	2.71 abcde	3.33 a	223.50 abc	133.05 cdefg
28	12.17 cdef	1.55 efghijklmno	2.04 hijklm	3.00 a	78.07 bcde	66.74 fghi
29	12.33 bcdef	1.56 efghijklmno	2.14 fghijklm	2.67 a	145.10 abcde	87.86 defghi
30	10.67 ef	1.29 mnop	1.78 lm	3.33 a	53.03 cde	56.13 hi
31	12.50 bcdef	1.43 jklmno	2.32 bcdefghijkl	3.33 a	181.30 abcde	79.77 defghi
32	13.00 abcde	1.58 efghijklm	2.11 hijklm	3.00 a	120.70 abcde	75.68 defghi
33	10.67 ef	1.51 fghijklmno	2.38 abcdefghijk	3.33 a	151.30 abcde	96.03 defghi
34	12.33 bcdef	1.57 efghijklmno	2.31 cdefghijkl	3.00 a	160.97 abcde	86.34 defghi
35	12.67 abcde	1.68 efghijklm	2.95 a	3.67 a	166.77 abcde	108.37 cdefghi
36	13.50 abc	1.87 cdefghi	2.87 abc	2.33 a	246.37 ab	135.74 bcdef
37	12.50 bcdef	1.89 cdefgh	2.82 abcd	3.00 a	209.80 abcd	143.68 bcd
38	14.38 ab	2.57 ab	2.82 abcd	3.67 a	295.40 a	244.65 a
39	12.33 bcdef	1.38 lnop	2.68 abcdefg	2.67 a	108.50 bcde	96.12 defghi
40	12.17 cdef	1.23 nopq	2.83 abcd	3.67 a	185.47 abcde	90.32 defghi
41	13.00 abcde	1.22 nopq	2.89 ab	3.33 a	173.17 abcde	118.64 cdefghi
42	12.17 cdef	1.51 fghijklmno	2.38 abcdefghijk	3.33 a	170.50 abcde	115.22 cdefghi
43	13.00 abcde	1.84 cdefghij	2.45 abcdefghij	3.67 a	117.10 bcde	133.10 cdefg
44	13.50 abc	1.84 cdefghij	2.58 abcdefgh	4.33 a	150.20 abcde	133.69 cdefg
<b>MEDIA</b>	12.33	1.63	2.3	3.03	139.3	100.69
<b>DHS</b>	2.513	0.4065	0.5646	2.9085	176.39	71.67
<b>SIGN</b>	*	*	*	NS	*	*

RMSP= Rendimiento de materia seca de la planta; DHS=Diferencia significativa honesta; SIGN=Significativo.

## 1.5. CONCLUSIONES

Las variables estudiadas permitieron identificar algunas líneas con aptitud forrajera.

Las mejores líneas por aspecto físico de hoja y aptitud forrajera fueron L-1, L-2, L-5, L-12, L-19, L-26, L39 y L41.

Las mejores líneas por rendimiento de materia seca, peso de grano, altura y número de hojas por planta fueron; L38, L36, L27, L24, L7, L37, L26, L14, L40, L31, L12, L2 y L41.

Las mejores líneas elite combinando el aspecto físico y los rendimientos de materia seca y grano son: L38, L7, L37, L26, L36, L14, L12, L27, L21, L42, L41 y L35.

La selección por apariencia física permite identificar y seleccionar líneas para aptitud forrajera en forma rápida y factible de corroborarse con datos analíticos, siendo ambos complementarios para una buena selección.

Aún cuando no fueron derivadas con fines forrajeros, los datos obtenidos indican que es factible utilizarlas para realizar un programa de mejoramiento genético para la formación y producción de semilla de híbridos de maíz con aptitud forrajera.

## 1.6. LITERATURA CITADA

- Andrio E., E., S. A. Rodríguez H., A. Palomo, M. Mendoza, A. Espinoza B., J. G. Rivera R., E. Cortez B., O. Antuna G., y J. G. Ramírez P. 2008. Calidad de la semilla de variedades criollas de maíz. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 41.
- Allen M., K. A. O'Neil, D. G. Main, and J. Beck. 1991. Relationship among yield and quality traits of corn hybrids for silage. *J. Dairy Sci.* 74 (Supl1):221.
- Arellano V., J. L. y J. Virgen V. 2008. Rendimiento, caracteres agronómicos y tamaño de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz de Valles Altos. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, México. 27 al 29 de octubre. Pag. 31.
- Bertoia, L. M. 2004. Algunos Conceptos sobre ensilado. Consideraciones generales sobre maíces para silaje y su cultivo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Verificado en marzo de 2006. <http://mejorpasto.com.ar/UNLZ/2004/TX3.htm>
- Bianco, A.; L. Astigarraga, F. Hernández, N. Nuñez y R. Mello. 2003. Evaluación de ensilados de maíz (ciclo medio y ciclo largo). II. Rendimiento, relación grano-planta, producción y composición de la leche en vacas Holando. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. pp. 2363 – 2367.
- Brandolini, A. and F. Salamini. 1985. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 458 p.
- Buxton, D. R. and M. D. Casler. 1993. Environmental and genetic effects on cell-wall composition and digestibility. *In*: Jung, H. G. et. al. (eds). Forage cell wall structure and digestibility. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. pp. 685-714.
- Cervantes-Santana, T., M. A. Oropeza-Rosas y D. Reyes-López. 2002. Selección para rendimiento y heterosis de líneas endogámicas de maíz irradiado. *Agrociencia* 36: 421:431.
- Chávez A., J. L. 1995. Mejoramiento de Plantas 1. segunda Edición. Ed. Trillas. México. 136 p.

- De la Cruz-Lazáro, E., S. A. Rodríguez-Herrera, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios y N. P. Brito-Manzano. 2005. Análisis dialéctico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Universidad y Ciencia*. 21:19-26.
- Di Marco, O. N. y M. S. Aello. 2003. Calidad Nutritiva de la Planta de Maíz para Silaje. Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEA Balcarce). Verificado en marzo de 2006.  
<http://www.elsitioagricola.com/articulos/dimarco/calidad%20nutritiva%20de%20la%20planta%20de%20maiz%20para%20silaje%20-%20200200.asp>
- Duvick, D. N. 1985. State of temperate maize breeding programs. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini (eds). *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics*. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. pp. 293-310.
- Eagles H. A., and J. E. Lothrop (1994) Highland maize from central Mexico. Its Origin, characteristic and use in breeding programs. *Crop Sci*. 34:11-19.
- Enríquez, J. F., J. Romero, M. del R. Tovar. 2003. Productividad forrajera de maíces de alta calidad proteínica y normales, en Isla, Veracruz. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. pp. 119-122.
- Espinoza B., A., E. Gutierrez Del R., A. Palomo G., J. J. Lozano G. y M. E. González C. 2004a. Estimación de los efectos genéticos en híbridos varietales de maíz forrajero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.
- Espinoza T., E., M. C. Mendoza C. y J. Ortiz C. 2004b. Producción de mazorcas por planta en poblaciones ahijadoras de maíz en dos densidades de población. *Rev. Fitotec. Méx*. 27:19-21.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Geiger, H. H., G. Seitz, A. E. Melchinger, & G. A. Schmidt. 1992. Genotypic correlations in forage maize. I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica*, 37: 95-99.
- Guaita, M. S. y H. H. Fernández. 2002. Caracterización del tamaño de partícula del silaje de maíz en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. 20 de enero de 2003. pp. 165-167.

- Gutiérrez del R., E., A. Espinoza B., A. Palomo G., J. J. Lozano G. y O. Antuna G. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Rev. Fitotec. Méx.* 27:7-11.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press/Ames. 468 p.
- Hernández C., J. M. y G. Esquivel E.. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Méx.* 27(1):27-31.
- Irlbeck. N, A., J. R. Russell, A. R. Hallauer, and D. R. Buxton 1993. Nutritive value and ensiling characteristics of maize stover as influenced by hybrid maturity and generation, plant density and harvest date. *Anim. Feed Sci. Tech.* 41:515-522.
- Jones, M. D. and L. C. Newell. 1948. Longevity of pollen and stigmas of grasses: Buffalo-grass, *Buchloe dactiloides* (Nutt) Engelm and corn, *Zea mays* L. *Agron. J.* 49; 195-204.
- Jonson L., J. H. Harrison, H. Hunt, K. Shinnors, C. G. Doggett and D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity. *J. Dairy Sci.* 82:2813-2825.
- Knowlton, H. E. 1922. *Studies in pollen, with especial reference to longevity*. New York Agric. Exptal. Sta. Mem. 52: 751-793.
- López, C. G., L. M. Bertoia, and R. Burak. 1999. General and specific combining ability in forage maize aptitude. Congreso de Praderas. Canada. Memorias. pp 139-140.
- Lorenzoni, C. and M. Motto. 1985. Breeding methodologies for Maize quality improvement. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. pp. 277-292.
- Lundvall, J. P., D. R. Buxton, A. R. Hallauer and J. R. George. 1994. Forage quality variation among maize inbreds: *In Vitro* digestibility and cell wall components. *Crop Sci.* 34:1672-1678.
- Ma, B. L., Subedi, K. D. and Reid, L.M. 2004. Extent of cross-fertilization in maize by pollen from neighbouring transgenic hybrids. *Crop Sci.* 44:1273-1282.
- Martínez G., M. I., R. Gaytán B., L. Reyes M., M. Luna F., J. S. Padilla R. y N. Mayek P. 2004. Rendimiento de grano y forraje de maíces híbridos de riego en Aguascalientes y Zacatecas, México. *Agricultura Técnica en México.* 30:53-61.

- Miranda F., J. B. 1985. Breeding methodologies for tropical maize. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. pp. 177- 206.
- Nadal, A. 2000. El Caso del maíz mexicano en el NAFTA: Variabilidad genética y liberalización comercial. *Biodiversidad* 24: 3-12.
- Nava P., F. y J. A. Mejía C. 2002. Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. II. Divergencia Genética. *Rev. Fitotec. Méx.* 25:187-192.
- Navarro O., E. F., S. A. Rodríguez H., A. Palomo G., A. Espinoza B., F. A. Camacho I., E. Andrio E., y O. Antuna G. 2008. Evaluación de híbridos de maíz QPM para la producción de forraje en la Comarca Lagunera. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, México. 27 al 29 de octubre. Pag. 22.
- Núñez H., G., E. F. Contreras G. y R. Faz C. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pecu. Méx.* 41:37-48.
- Núñez H., G., R. Faz C., F. González C. y A. Peña R. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43:69-78.
- Paliwal, R. L. 2001a. Mejoramiento del maíz con objetivos especiales. *In*: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. (eds). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Departamento Agrícola. FAO. Roma, Italia.
- Paliwal, R. L. 2001b. Usos del maíz. *In*: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. (eds). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Departamento Agrícola. FAO. Roma, Italia.
- Perry, T.W. 1988. Corn as a livestock feed. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. Corn and corn improvement, 3rd ed., p. 941-963. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Pasturas América. 2005. Maíz: Utilización en forma de ensilado en la producción de leche. Verificada en noviembre de 2005.  
[http://www.pasturasdeamerica.com/conservacion/maiz\\_leche.doc](http://www.pasturasdeamerica.com/conservacion/maiz_leche.doc)
- Peña R., A., F. González C., G. Núñez H. y C. Jiménez G. 2004. Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:1-6.

- Peñuñuri M., F. J., R. Zambrano G. y A. Aguayo A. 1980. Comparación de la producción de forraje, valor nutritivo y comportamiento de bovinos alimentados con ensilado de sorgo y maíz. Resumen de avances de investigación del centro de investigaciones pecuarias del estado de Sonora. A.C. Clave F80003. Septiembre 1980. Verificada en abril de 2006. <http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/forrajes/F80003.html>
- Pinter L., Schmidt J., Jozsa S., Szabo J. and Kelemen G. 1990. Effect of plant density on the value of forage maize. *Maydica*. 35:73-79.
- Pinter, L., Z. Alföldi, Z. Burucs, and E. Paldi. 1994. Feed value of forage maize hybrids varying in tolerance to plant density. *Agron. J.* 86:799-804.
- Ramírez D., J. L., M. Chuela B., L. Soltero D., J. F. Moreno, A. Morfín V., V. A. Vidal M., H. L. Vallejo D., F. Caballero H., H. Delgado M., R. Valdivia B. y J. Ron P. 2004. Patrón heterótico de maíz amarillo para la región Centro-Occidente de México. *Rev. Fitotec. Méx.* 27:13-17.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. A.G.T. Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Rivas J., M. A., A. Carballo C., J. Pérez P., G. González J. y A. García Z. 2005. Rendimiento y calidad de ensilado de seis genotipos de maíz cosechados en dos estados de madurez. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2005. 17 y 18 de Noviembre. Boca del Río, Ver. Pp. 463-470. (Mesa Pecuaria: Extenso: PeEx18). Memoria en CD.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SDA). 2005. Alternativas forrajeras para Guanajuato. Forrajes para el Ciclo Primavera-Verano. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Guanajuato. Bajado de la Red en 2005. Verificada en marzo de 2006. <http://www.guanajuato.gob.mx/sda/articulos/alternativas/primavera-ver.htm>
- Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA). 2008. Avances de siembra y cosechas primavera-verano y otoño-invierno de 2008. Verificada en enero de 2010. (En línea). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Singh, J. 1985. Current status of maize improvement in sub-tropical areas of Indian sub-continent. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. pp. 311 – 328.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2007. The SAS® System for Windows® (Ver. 9). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

- Tinoco A., C. A. y A. Pérez P. 2005. Características forrajeras y de producción de grano en genotipos comerciales de maíz en Acayucan, Veracruz. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2005. 17 y 18 de Noviembre. Boca del Río, Ver. Pp. 554. Memoria en CD (Mesa Pecuaria).
- Tosquy V., O. H., G. Castañón N., M. Sierra M., y F. A. Rodríguez M. 1998. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz usando como probadores cruzas simples en el estado de Veracruz. *Agric. Téc. Méx.* 24 (1): 3 – 10.
- Valdivia B., R. y J. Arellano V. 1990. Evaluación de líneas endogámicas de maíz de Valles Altos en su capacidad de producción de semilla. *In: Kato Y., T. A., Livera M., M. y González H., V. A. (eds). XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih. 3 al 7 de septiembre. P. 358.*
- Vázquez H., A., A. Espinosa C. y R. Valdivia B. 1990. Comparación y selección de líneas experimentales de maíz por su vigor, productividad y calidad de semilla. *En: Kato Y., T. A., Livera M., M. y González H., V. A. XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih. 3 al 7 de septiembre. P. 74.*
- Utz, H. F., A. E. Melchinger, G. Seitz, M. Mistele and Zeddies. 1994. Economic aspects of breeding for yield and quality traits in forage maize. II. Derivation and evaluation of selection indices. *Plan Breeding.* 112:110-119.
- Zimmer; E., and M. Wernke. 1986. Improving the nutritive value of maize. P. 90-100. *In: O. Dolstra and P. Miedema (eds). Breeding of silage maize. Proc. 13th Cong. Maize and Sorghum section of EUCARPIA, Wageningen. 9-12 Sep. Centre For Agric. Publ. And Documentation, Wageningen, Netherlands.*



## CAPITULO II

### EFICIENCIA DE POLINIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE MAÍZ Y SU EFECTO EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

La tecnología en producción de semillas de híbridos de maíz, considera principalmente los factores densidad de población, fertilización, relación hembra:macho y ajustes por asincronía de floración, entre otros aspectos. Ésta se realiza en lotes aislados de desespigamiento, donde la relación hembra:macho juega un papel muy importante, puesto que en base a ello se obtiene cantidad variable de semilla de la hembra (Cervantes *et al.*, 1990); no obstante que se reconoce este objetivo, aún sigue siendo problema el bajo rendimiento de semilla mejorada, que en gran parte se debe a la relación de hembra:macho que comúnmente son de 4:2 y 6:2, que respectivamente, representan  $\frac{2}{3}$  y  $\frac{3}{4}$  en superficie destinada a hembras, lo que acarrea altos costos por baja productividad y baja eficiencia en la utilización de la superficie del suelo.

La producción de maíces forrajeros a nivel nacional ha tomado importancia por la necesidad de abaratar costos de producción en la alimentación animal, específicamente para los bovinos productores de leche, para los que se utilizan grandes cantidades de forraje proveniente del maíz, ya sea en forma de ensilado o en verde picado y en algunas regiones en pastoreo. Una gran ventaja del maíz es su porte alto y rendimiento de materia seca, pero hay pocos estudios relevantes en la formación de híbridos especializados para forraje.

De aquí entonces la importancia de hacer mejoramiento dirigido a productividad y calidad de forraje; y a la vez realizar estudios sobre la producción de semillas contemplando de manera amplia, la evaluación de caracteres de la mazorca y planta, que permitan explicar de una manera confiable los resultados obtenidos y

posibilita la planeación de manejo adecuado del cultivo para mejorar el rendimiento de semilla.

### **2.1. 1. Objetivos.**

- Determinar la eficiencia de la polinización por efecto de la distancia de las hembras receptoras de polen con relación al progenitor macho.
  
- Optimizar la producción de semilla, mediante el incremento del rendimiento de semillas de calidad, y la reducción de costos.
  
- Evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla producida.

## 2.2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.2.1. Dispersión del polen.

Klein *et al.* (2003), mencionan que para conocer los factores que influyen en la dispersión del polen en la producción de semilla de maíz, se deben considerar varios factores modelo, de biología integrada (diferencias de altura entre las flores masculinas y femeninas), y de parámetros aerodinámicos (velocidad de propagación, velocidad del viento y la turbulencia del aire); otro factor a considerar es el tamaño geométrico de los granos de polen, el cual se ve afectado por el tiempo transcurrido después de haberse liberado de la antera, como efecto de la deshidratación; asimismo, la densidad del polen de maíz se reduce con el tiempo, de tal manera que polen recién colectado presenta valores de 1.25 g cm<sup>3</sup>, y de 1.45 g cm<sup>3</sup> cuando están secos (Aylor, 2002).

En lo que respecta al efecto del tamaño del polen en la dispersión Raynor *et al.* (1972), mostraron que el polen de maíz no es transportado a grandes distancias por el viento, como el polen pequeño de otras plantas; éste, no se dispersa tan ampliamente en cualquier dirección horizontal o vertical y la deposición al suelo es rápida (efecto de la gravedad); esto es, que la dispersión del polen de maíz está influenciado por su tamaño y tasa rápida de deposición.

Ortiz (1993), reporta que la dispersión de polen en maíz sigue una distribución normal; siendo mayor su concentración en las proximidades de la fuente de polen y menor con el aumento en la distancia; en tanto que, acorde a Di-Giovanni y Kevan (1991) los factores biológicos que influyen, son la densidad y radio del polen, y la velocidad de sedimentación.

### **2.2.2. Viabilidad del polen.**

Un aspecto importante durante la polinización es la viabilidad del polen, se debe tomar en cuenta que las temperaturas superiores a 35° C, durante el período de polinización, causan la muerte al polen. Considerando el gran número de granos de polen producido, la producción de semilla normalmente no resulta afectada si sobrevive el 10% de éstos (Poehlman y Allen, 2003). La viabilidad normal del polen es de 18 a 24 horas bajo condiciones favorables (baja temperatura y alta humedad relativa); sin embargo, las altas temperaturas influyen drásticamente en su viabilidad; de tal manera que cuando el polen es expuesto a una temperatura de 40° C por 45 minutos solo permanece viable el 5 %, o bien, cuando se poliniza en el día a una temperatura de 36° C, el polen permanece viable sólo por tres horas (Luna, 1978; Jones y Newell, 1948). Para determinar la vitalidad del polen de maíz, Ñopo y Carrillo (1977) determinaron en laboratorio que un medio de pH 7.3, permite mayor germinación de polen, siendo gradualmente menor en los medios de pH 6.8 y 5.6; además observaron que una temperatura óptima de 30° C y la oscuridad son las mejores condiciones de incubación.

El polen es un vector importante para el flujo de genes en maíz, se mantiene viable de 1 a 2 h después de la dehiscencia, dependiendo del potencial de agua en la atmósfera. En teoría, el polen podría ser de hasta 32 km, asumiendo que es transportado linealmente con el promedio máximo de velocidad del viento. Reportan que la polinización cruzada ocurrió hasta una distancia máxima de 200 m de la fuente de plantación y solamente un número limitado de polinizaciones cruzadas ocurrieron en distancias más cortas (100 m; Luna *et al.*, 2001).

Los aspectos importantes a tomar en cuenta en la dispersión y viabilidad del polen son; 1) las características del polen, el cual tiene un tamaño que va de 90 a 125 por 85 micrones, el volumen es de  $700 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-3}$ , peso de  $247 \times 10^{-9}$  gramos, período de viabilidad de 3 horas a 8 días (24 h promedio), número de granos de polen por antera de 2000 a 7500, número de granos de polen por planta de 14 a 50 millones y peso de polen por hectárea de 170 kg o más; 2) Velocidad del viento; a una

velocidad de 2 a 4 m s<sup>-2</sup>, a estabilidad atmosférica, el porcentaje de concentración de polen de la parcela productora a la receptora será: a 60 m el 2%, a 200 m el 1.1 % y a 500 m de 0.75 – 0.5 %. Cuando se tiene inestabilidad atmosférica, se presenta un ascenso vertical y desplazamiento de polen a grandes distancias y esto ocurre cuando hay convección, turbulencia y frentes climáticos (CERV, 2002).

Con respecto a la importancia que tiene la humedad relativa en la conservación del polen, Knowlton (1922), menciona que el polen guardado a la sombra bajo un rango de 25 a 30° C, con humedad relativa de 60 %, permanece viable por 36 h y con 90 %, hasta 48 h. Otros factores tales como temperaturas altas pueden afectar negativamente la viabilidad del polen (Roy *et al.*, 1995).

### **2.2.3. Exposición y receptividad de estigmas.**

Es importante señalar que la formación del grano es afectada por la eficiencia de la polinización, la cual depende, bajo condiciones óptimas del medio ambiente, de que los estigmas estén receptivos al momento en que el polen está disponible. Una sincronización deficiente entre la aparición del polen y la receptividad de estigmas, puede ocasionar la formación de mazorcas con hileras de granos incompletas (Ramírez y Andrade, 1974).

De esta manera, la asincronía también refleja una baja formación de grano, la cual es afectada por las densidades de siembra utilizadas para la producción de grano y semilla. Otahola-Gómez y Rodríguez (2001), observaron que la sincronización entre la floración masculina y femenina en maíz dulce, cultivado en condiciones agroecológicas de sabana, fue afectada por la distancia de siembra entre hileras, con tendencia a aumentar el período a medida que se aumenta la distancia entre las hileras, de tal forma que el mayor número de mazorcas efectivas por planta se obtuvo con la distancia de 0,30 metros entre plantas, no siendo afectado este carácter por el factor distancia de siembra entre hileras. El mayor número de mazorcas comerciales por hectárea se obtuvo con la mayor densidad de siembra (0,70 m entre hileras por 0,20 m entre plantas).

En un estudio realizado por Cárcova y Otegui (2001), sobre el momento de polinización y la exposición de los estigmas en el llenado del grano, observaron que cuando esta se realizó 2, 4 y 6 días después de la aparición de los estigmas, se promovieron diferencias más grandes en número de granos por mazorca (73% de variación) que en el número estigmas expuestos cinco días después de la floración femenina (6% de variación). De esta manera, una alta cantidad de granos por mazorca está asociada a la coincidencia entre los periodos de liberación de polen y los de emisión de estigmas (Bassetti y Westgate, 1994). Esto implica un riesgo adicional en los sistemas de producción de semilla, ya que es necesaria la sincronía floral entre plantas genéticamente heterogéneas (Marcantonio, 2004).

La humedad también es un factor importante durante la polinización; en este sentido Ramírez y Andrade (1974), encontraron que los componentes de rendimiento, tales como: número de hileras de grano por mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de mazorca y peso de grano por mazorca, no variaron o fueron prácticamente iguales al comparar los obtenidos en plantas de polinización no controlada (PNC) y polinización controlada (PC), dentro de la época de riego ( R ) o de secano ( S ). Sin embargo, cuando se comparan los datos obtenidos para riego con los de secano para PNC y PC, respectivamente, se observan grandes diferencias a favor del maíz de riego, con excepción del número de hileras de grano por mazorca que fue mayor en el maíz de secano y para la longitud promedio del ápice sin grano fue igual para plantas de R-PNC, R-PC, S-PNC y S-PC.

#### **2.2.4. Densidad de población.**

Una alternativa reciente en la producción de semilla híbrida de maíz es el incremento de la densidad de siembra en las plantas polinizadoras como estrategia para incrementar la oferta de polen por unidad de superficie durante el período de floración (Marcantonio, 2004). Por otra parte, la producción de polen por planta es afectada negativamente por un aumento de densidad, ya que el incremento en la densidad de plantas (2 vs 12.5 plantas m<sup>-2</sup>), promovió un incremento en el

intervalo de antesis y la aparición de los estigmas, así como una reducción en el número de granos de polen producidos por la antera (Uribe Larrea *et al.*, 2002).

#### **2.2.5. Distancia de la fuente de polen.**

La distancia entre la fuente de polen y la receptora influyen en el rendimiento de semilla. Sauthier y Castaño (2004), observaron que el número promedio de granos por mazorca disminuyó a medida que aumentaba la distancia entre la fuente polinizadora y la receptora; en este sentido, fue posible observar una reducción del número de granos promedio por mazorca, en forma proporcional desde los 47 a 97 m de distancia, entre la fuente polinizadora y la receptora; lo anterior en comparación a 7 m de distancia con valores significativamente superiores, en relación a los valores estimados en las demás distancias en ambas orientaciones (Poniente y Oriente).

En un estudio de flujo de genes por el polen de maíz Messeguer *et al.*, (2006), observaron que, en condiciones reales de coexistencia y en áreas de cultivo con campos pequeños, los factores principales que determinaron la polinización cruzada fueron la coincidencia de la floración y las distancias entre los campos donantes y receptor.

#### **2.2.6. Relación hembra:macho y rendimiento.**

La relación hembra:macho utilizada en un lote de producción de semilla, tiene mucha importancia por la cantidad de polen producido y la cobertura que el genotipo utilizado como macho tiene hacia los genotipos utilizados como hembras, aspecto que impactará en el rendimiento de semilla por superficie útil y en la utilidad económica del productor de semilla. Para conocer la relación hembra:macho más eficiente y que permita tener más ingreso, Casiano y Espinosa (1990), observaron que la relación 4:1 propició mayor rendimiento de semilla total con 4182 kg ha<sup>-1</sup>. Tomando en cuenta que la relación 4:1 es semejante a la

relación 8:2, ya que ambas representan una proporción de 80% de hembras, cabría esperar un comportamiento similar; sin embargo, mencionan que 4:1 produce 38.7% más semilla total que 8:2, con 3014 kg ha<sup>-1</sup>; en contraste, la relación 4:2 representa el 66% de hembras y su rendimiento total fue semejante a 4:1, siendo estas dos relaciones las mejores.

Los componentes del rendimiento toman importancia en la evaluación de híbridos, y líneas endogámicas, lo que permite identificar los que tienen mayor influencia en la mejor expresión del rendimiento de semilla, para seleccionar los progenitores con bastante acierto en un programa de producción de semillas. Wong *et al.*, (2007), observaron que para la cruce 1x16, el rendimiento dependió del número de granos por hilera y del peso de mil semillas; mientras que, para la cruce 5x17 fueron los componentes de longitud de mazorca y granos por hilera, en tanto que para la cruce 6x12, dependió principalmente del número de hileras por mazorca y peso de mil semillas. Cervantes *et al.* (1990), obtuvieron mayores rendimientos proporcionales a la superficie de hembra, al formar híbridos de cruce doble, con promedios de 5.2, 4.7, 5.1, 5.2, 4.9, 5.2, t ha<sup>-1</sup>, para las siguientes relaciones hembra:macho: 4:1, 4:2, 6:2, 8:2, 10:2 y 12:2, respectivamente; en cambio, en la formación de híbridos de cruce simple, los rendimientos promedio fueron del orden de 2.1, 2.3, 3.7, 2.3, 2.5 y 3.0 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente para las mismas relaciones hembra:macho. Es importante considerar que los rendimientos de semilla de las hembras usadas en la formación de los híbridos aseguren altos rendimientos de semilla y de esta forma el negocio sea rentable; es por ello que se prefieren cruces simples como progenitores femeninos, toda vez que la mayoría de las líneas con endogamia avanzada presentan bajo rendimiento, aunado al tamaño pequeño y escaso vigor de emergencia que hace incosteable su aprovechamiento en híbridos simples (Vázquez *et al.*, 1990).



## **2.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.3.1. Localización.**

La investigación se realizó en el campo experimental y laboratorios del Colegio de Postgraduados, localizados en Montecillo, Edo. de México, situado a 19° 29' LN y 98° 53' LO y a 2250 msnm. El tipo del clima se clasifica como templado sub-húmedo, con verano fresco largo, lluvias en verano y con precipitación promedio anual de 645 mm; la temperatura media anual es de 15 °C, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5 %; temperaturas medias del mes más frío de -3°C y temperaturas del mes más caliente mayor de 10 °C, con poca oscilación térmica, por lo que corresponde a una fórmula climática  $Cb(w_o)(w)(i')$  (García, 1988).

### **2.3.2. Material genético.**

Se utilizaron como hembras, 12 cruzas simples con diferente precocidad, altura y estructura de planta, y una línea sobresaliente por su fenotipo, ajustado a lo deseable desde el punto de vista forrajero, como el progenitor masculino (CL7 SFr); materiales que pertenecen al Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Colegio de Postgraduados; salvo las cruzas CMS929001 y CMS929083 liberadas por el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo; Cuadro 5).

Cuadro 5. Listado de cruzas simples utilizadas en el estudio.

<b>CRUZA SIMPLE</b>	<b>GENEALOGIA</b>
<b>CS-1</b>	CL11 X CL12
<b>CS-2</b>	CL4 X CL1
<b>CS-3</b>	CMS 929083
<b>CS-4</b>	CMS 929001
<b>CS-5</b>	CL22 X CL23
<b>CS-6</b>	CL12 X CL13
<b>CS-7</b>	CL13 X CL1
<b>CS-8</b>	CL21 X CL13
<b>CS-9</b>	AE5/F2-54-7 X 1920F2F46-10-3-7
<b>CS-10</b>	AE5/F2-54-7 X (56-1 X KKUA) -1-20
<b>CS-11</b>	1112F2FHC-4-5-2 X 1920F2F46-10-3-2
<b>CS-12</b>	CML-241-2 X 1920F2F46-10-3-2

### 2.3.3. Conducción del experimento.

La siembra se realizó en parcelas de 8 surcos (hembras), los cuales midieron un ancho de 0.80 m y 6 m de largo. Se sembraron dos surcos intercalados entre cada parcela con la línea macho. Se hicieron cuatro bloques, conteniendo cada uno a las doce cruzas simples evaluadas distribuidas al azar (Fig.2).

Actividades realizadas en la segunda fase de campo (Primavera- verano 2006):

- 1. Preparación del terreno.** Se realizó de abril a mayo, mediante un barbecho, un paso de rastra, nivelación y surcado.
- 2. Preparación de las unidades experimentales.** Con ayuda de rafia, estacas y una cinta métrica se trazaron las parcelas experimentales, quedando aleatorizadas de la manera en que se ilustra en la Fig. 2.

**3. Siembra.** Se realizó en forma diferida o escalonada del 16 de mayo al 8 de junio del 2006 (Cuadro 6), en surcos separados a 0.80 m, depositando dos semillas por golpe cada 40 cm para el macho y una semilla cada 25 cm para las hembras.

Cuadro 6. Programa de la siembra diferencial de cruza simple hembra y la línea macho.

MES	DIA	SEXO	MATERIAL	GENEALOGÍA
Mayo	16	Macho	36 #	CL7 SFr
Mayo	17	Hembra	6 X 5	CL22 X CL23
Mayo	22	Hembra	16 x 15	CL12 X CL13
Mayo	22	Hembra	14 x 13	CL13 X CL1
Mayo	22	Hembra	8 x 7	CL21 X CL13
Mayo	27	Hembra	Lote 1 Hembra	CL11 X CL12
Mayo	27	Hembra	Lote 2 Hembra	CL4 X CL1
Mayo	29	Hembra	26 x 25	AE5/F2-54-7 X 1920F2F46-10-3-7
Mayo	29	Hembra	2 x 1	CML-241-2 X 1920F2F46-10-3-2
Junio	1	Hembra	28 x 27	AE5/F2-54-7 X (56-1 X KKUA) -1-20
Junio	8	Hembra	BA-04 2190	CMS929083
Junio	8	Hembra	BA-01 2143	CMS 929001
Junio	8	Hembra	34 x 33	1112F2FHC-4-5-2 X 1920F2F46-10-3-2

**4. Fertilización.** Se aplicó fertilizante al momento del surcado, utilizando una dosis por hectárea de 80 k g de nitrógeno (N) y 60 kg de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Se realizó una segunda aplicación de fertilizante nitrogenado a base de urea para aplicar una dosis de 80 kg de N cuando las primeras plantas tenían 45 de edad y al momento del aporque.

La superficie destinada al experimento fue de 100 m x 33.6 m, lo que equivale a 3360 m<sup>2</sup>, por lo que para cubrir la necesidad de fertilizante en las dos etapas se aplicaron las siguientes fuentes:

Primera fertilización: 62 kg de urea y 46 kg de superfosfato de calcio triple.

Segunda fertilización: 62 kg de urea.

A los dos meses y medio de edad de la planta se aplicó un producto foliar (Nutriplan®) para ayudar al desarrollo del cultivo.

5. **Riegos.** Los riegos se realizaron a la siembra en forma lenta para evitar destrucción de surcos y arrastre de semillas, procurando que quedara bien húmedo el suelo; el segundo riego se dio a los diez días para facilitar la emergencia de las primeras plántulas y para ayudar en la imbibición de las últimas semillas sembradas; los demás riegos se dieron cuando las lluvias del temporal fueron escasas.

6. **Deshierbes.** Se aplicó herbicida pre-emergente (Primagram®) para evitar la nascencia de malezas durante la emergencia del cultivo y se afectara el desarrollo del cultivo de interés. Posteriormente se aplicaron herbicidas post-emergentes (Gesaprin®, Marvel®) en dos ocasiones cuando se observó la presencia de malezas, que no rebasaran los 5 – 10 cm de altura. También se hicieron deshierbes manuales y con azadón, cuando existió la presencia de malezas que no eran exterminadas por los herbicidas o en las labores de cultivo.

7. **Labores de cultivo.** Se realizó un paso de cultivadora cuando la planta tenía 30 días de nacida, y una segunda labor de aporque a los quince días después de la primera labor, en la cual se aplicó la segunda fertilización, aprovechando el aporque para tapar el fertilizante, arropar a las plantas y destruir la presencia de malezas.

8. **Combate de plagas y enfermedades.** Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo se realizaron inspecciones muy continuas para detectar la presencia de alguna plaga como gusanos trozadores, cogolleros, trips, pulgones, frailecillos, arañas, etc; se detectaron algunas de estas plagas pero fueron insignificantes en forma económica para el cultivo por lo que no se aplicó ningún producto químico para su combate.

9. **Desespigue.** Se realizó a partir de mediados de agosto cuando se observaron las primeras espigas en las hembras y hasta a finales del mismo mes cada vez que se detectaba la aparición de éstas en las diferentes hembras.

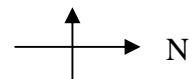
**10. Floración.** Se tomó el dato en forma visual, cuando más del 50 % de las plantas se encontraban con estigmas expuestos en floración.

**11. Cosecha.** La semilla se cosechó cuando se presentó la madurez fisiológica (aparición de la capa negra), la cual se realizó en el mes de noviembre, para ello se cortó (ron) la(s) mazorca(s) de cada planta marcada en forma individual, se colocaron en bolsas de papel estraza y se pusieron a secar en un invernadero con ventilación natural.

Figura 2. Croquis de localización de unidades experimentales.

BORDO de macho 4 m								
	48 Lote 2 H		47 8x7		46 2x1		45 BA-04 2190	
Pasillo de 1.0 m								
	34x33 41		16x15 42		26x25 43		6x5 44	
Pasillo de 1.5 m								
	40 BA-01 2143		39 28X27		38 Lote 1 H		37 14x13	
Pasillo de 1.0 m								
	Lote 1 H 33		16x15 34		28x27 35		34x33 36	
Pasillo de 1.5 m								
	32 8x7		31 Lote 2 H		30 BA-01 2143		29 6x5	
Pasillo de 1.0 m								
	2x1 25		BA-04 2190 26		26x25 27		14x13 28	
Pasillo de 1.5 m								
	24 Lote 2 H		23 2x1		22 16x15		21 BA-04 2190	
Pasillo de 1.0 m								
	34x33 17		6x5 18		BA-01 2143 19		8x7 20	
Pasillo de 1.5 m								
	16 14x13		15 28x27		14 26x25		13 Lote 1 H	
Pasillo de 1.0 m								
	8x7 9		2x1 10		34x33 11		14x13 12	
Pasillo de 1.5 m								
	8 28x27		7 6x5		6 BA-01 2143		5 26x25	
Pasillo de 1.0 m								
	BA-01 2190 1		Lote 1 H 2		16x15 3		Lote 2 H 4	
Pasillo de 1.5 m								
Bordo de macho 4 m								
2 s	8 surcos	2 s	8 surcos	2 s	8 surcos	2 s	8 surcos	2 s
M	H	M	H	M	H	M	H	M

Total 42 surcos de 0.8 m



#### **2.3.4. Variables evaluadas.**

Las variables medidas en la fase de campo fueron:

**1) Mazorcas por planta (MPP).** Se seleccionaron tres plantas al azar con competencia completa de cada surco (24 plantas por parcela) y se etiquetaron, identificando el número de surco y planta. Se identificó el número de mazorcas con grano, presente en cada planta marcada.

**2) Hileras por mazorca (HPM).** De las mazorcas cosechadas de cada planta marcada, se contó el número de hileras en la parte central de cada mazorca.

**3) Granos por hilera (GPH).** De las mazorcas cosechadas de cada planta seleccionada, se contó el número de granos que presentaba una hilera de tamaño medio en la mazorca.

**4) Largo de mazorca (LMZ).** De igual forma a las variables anteriores, se utilizaron las mazorcas muestra para medir la longitud (cm) de las mismas con un aditamento elaborado en forma rústica, tomando en cuenta desde la base hasta la punta donde hubiera indicios de formación de granos, estuvieran presentes o no.

**5) Diámetro de mazorca (DMZ).** Considerando las mismas mazorcas de la muestra, se midió el diámetro de cada mazorca (mm) en su parte central, con ayuda de un vernier digital.

**6) Punta Podrida (PP).** De todas las mazorcas muestreadas en las variables anteriores, se midió el largo de la punta que presentó pudrición y se dividió entre el largo total de la mazorca, para obtener el porcentaje de pudrición. Se asignaron valores cualitativos a una escala de 1 al 5 para facilitar su análisis estadístico (1= 1 a10 %, 2 = 11 a 20 %, 3 = 21 a 30 %, 4 = 31 a 50 % y 5 = 51 % en adelante).

**7) Efectividad de la polinización**, se midió en base al **Porcentaje de Granos No Formados (PGNF)**. De todas las mazorcas cosechadas de las plantas seleccionadas al azar en cada surco, se contó el número de granos formados en una hilera y los no formados en la misma; los valores obtenidos se multiplicaron por el número de hileras de la mazorca. Se hicieron conversiones en porcentaje, tomando en cuenta que el 100 por ciento, fue la suma de granos formados y granos no formados.

**8) Rendimiento de semilla (RS)**. Se desgranaron en forma manual la (s) mazorca (s) de cada planta seleccionada de cada surco, sin perder la identificación de la posición que guardaba el surco, éstas se colocaron en bolsas de papel de estraza, se secaron en el interior de un invernadero y se registró su peso individual, para determinar el rendimiento en  $g\ planta^{-1}$ .

**9) Altura de planta (AP)**. En las tres plantas seleccionadas por surco, con ayuda de una cinta métrica se midió la altura de la planta (cm) desde la base del tallo hasta la base de la espiga.

**Escenario de medición de las variables:**

1. Por genotipos. Todas las variables mencionadas anteriormente.
2. Por la distancia de las parcelas a los bordos (Fuente de polen).  
Mazorcas por planta, porcentaje de granos no formados y rendimiento de semilla.
3. Por la distancia del surco a la fuente polinizadora dentro de la parcela.  
Mazorcas por planta, porcentaje de granos no formados y rendimiento de semilla



## VARIABLES MEDIDAS EN LA FASE DE LABORATORIO

A la semilla obtenida de las cruces evaluadas, se le realizaron pruebas de calidad de semilla, en laboratorio. De cada parcela, se juntó la semilla de las 24 mazorcas, tomando en cuenta las siguientes variables:

**10) Peso de Cien Semillas (PCS).** De la semilla pura obtenida, se contaron y pesaron en balanza analítica, ocho repeticiones de 100 semillas, para cada una de las cruces simples y se obtuvo la media.

**11) Peso Volumétrico (PV).** De la muestra se obtuvo el peso con la balanza de peso volumétrico, expresado en  $\text{kg hL}^{-1}$ .

**12) Porcentaje de Germinación (PG).** La evaluación se realizó como se describe.

A siete días postgerminación, después de haber colocado la semilla en una cámara germinadora, se hizo un conteo final, considerando la siguiente fórmula:

$$PG = \frac{\text{Total de plántulas normales al final de la prueba}}{100} \times 100$$

### 2.3.5. Análisis de datos.

Para el análisis de varianza de las variables medidas en campo, se utilizó el modelo estadístico en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + GB_{ij} + E_{ij}, \quad i=1,2,\dots,12; \quad j=1,2,3,4.$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable de respuesta.

$\mu$  = Media general.

$G_j$  = Efecto del genotipo al nivel  $i = 1,2,3\dots 12$

$B_i$  = Efecto de bloque 1,2,3,4.

$GC_{ij}$  = Efecto de la interacción GB al nivel i,j.

$E_{ij}$  = Error experimental.

A los datos obtenidos de las variables medidas en laboratorio, se realizó un análisis de varianza utilizando el modelo estadístico de efectos para un diseño completamente al azar con tres repeticiones:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}.$$

donde  $T$  = Peso de Cien Semillas, Peso Volumétrico, % Germinación.

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable de respuesta.

$\mu$  = Media general.

$G_j$  = Efecto de la Linea al nivel  $i = 1,2,3...44$

$E_{ij}$  = Error experimental.

Para las variables en las que hubo diferencias estadísticas entre tratamientos se realizaron pruebas comparativas de medias, mediante Tukey al 0.05. Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el programa computacional SAS (2007), Ver. 9.0.

## **2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los datos obtenidos de las variables analizadas para plantas y mazorcas, se analizaron de acuerdo al genotipo, a la cercanía a la fuente polinizadora tomando como base los bordos o cabeceras y a la posición del surco con respecto a los surcos machos dentro de cada parcela.

### **2.4.1. Por genotipo.**

#### **2.4.1.1. Número de mazorcas.**

En la variable mazorcas por planta (MPP) hubo diferencias significativas, siendo las cruza simples (CS) 1 y 2, las que presentaron los valores más altos con 1.72 mazorcas por planta; siguieron las CS 6, 10 y 9, con 1.56, 1.55 y 1.53, respectivamente. Las CS del grupo más bajo fueron 3, 4, 11 y 12, con los valores 1.02, 1.05, 1.05 y 1.16, respectivamente (Cuadro 7).

De los componentes agronómicos de interés, cabe destacar en términos comparativos, que los datos obtenidos de mazorcas por planta fueron menores a los mostrados por Rojas (2006), para el híbrido H-48, que presentó 2.3 mazorcas por planta, pero mayores a los de los híbridos SB-102, H-40, H-33 y al Criollo de San José Nanacamilpa, Tlaxcala, para los que reporta 1.1, 1.1, 1.0 y 0.6, respectivamente. Estos híbridos fueron estudiados por Rojas (2007), observando que todos los materiales presentaron, en general menor número de mazorcas por planta (rango de 1.0 a 0.7) que las de este estudio. Los datos obtenidos muestran que las CS 1 y 2 pueden ser considerados en mayor grado para programas de producción de semillas de maíces forrajeros para Valles Altos, sin descartar a las CS 6, 9 y 10 por sus bondades en número de mazorcas por planta, cualidad de alta consideración para la selección de maíces forrajeros (Di Marco y Aello, 2003 y Bertoia, 2004); además de que la variable mazorcas por planta muestra un 0.43 de

correlación positiva con el rendimiento de grano y tiene un índice de heredabilidad del 39% (Hallauer y Miranda, 1981).

#### **2.4.1.2. Hileras por mazorca.**

Se observaron diferencias estadísticas para la variable hileras por mazorca (HPM), donde las CS 5, 12 y 1, presentaron los valores más altos con 18.23, 17.73 y 17.63 hileras, a las que les siguió la CS 2 con 16.81, y las CS con los valores más bajos fueron 7,8, 10 y 3 con 14.0, 14.38, 14.52 y 14.63, respectivamente (Cuadro 7).

El número de hileras por mazorca obtenido en este trabajo para las 12 CS, se encuentra dentro del rango de valores reportados por Wong *et al.* (2007), los cuales fluctuaron entre 14 a 20 para un grupo de 15 cruza simples sobresalientes; en cambio Rojas (2007), observó valores de 16, 15, 15 y 14 hileras en los híbridos H-40, SB-102, H-48 y el Criollo de San Nicolás Panotla, Tlaxcala, respectivamente; siendo más bajos a los observados para las CS 5, 12, 1 y 2 evaluadas en esta investigación, aspectos que dan valor a estas variedades para su uso en programas de producción de semillas, ya que esta variable muestra un 57% de índice de heredabilidad (Hallauer y Miranda, 1981).

#### **2.4.1.3. Granos por hilera.**

Para esta variable (GPH), el análisis estadístico mostró diferencias significativas, siendo las CS 8, 10 y 6 las que presentaron los valores más altos (37.22, 37.0 y 36.84 granos hilera<sup>-1</sup>, respectivamente), seguidos por la CS 12 con 35.03 granos hilera<sup>-1</sup>; mientras que las CS 3, 7 y 1 mostraron los valores más bajos con 30.39, 31.41 y 31.90 granos hilera<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 7).

Los valores obtenidos para granos por hilera, son similares a los observados por Wong *et al.* (2007), quienes estimaron que el número de granos por hilera varió de 28.4 a 37.4 para un grupo de 15 cruza simples sobresalientes y que el número de

granos por hilera, influyó en el rendimiento de semilla, aspecto que no fue tan marcado en esta investigación. Por su parte Rojas (2007), observó valores de granos por hileras más bajos en las variedades H-48 (28), H-40 (25), SB-102 (24) y Criollo de San Nicolás Panotla, Tlaxcala (23), mientras que Antuna *et al.* (2008), registraron valores muchos más altos a los observados en la presente investigación de 106 a 127 granos hilera<sup>-1</sup>,

#### **2.4.1.4. Largo de mazorca.**

La variable largo de mazorca (LMZ) mostró diferencias significativas, y los valores más altos correspondieron a las CS 10, 5, 6 y 8 con 17.97, 17.58, 17.24 y 17.16 cm de largo, respectivamente, a las que les siguió la variedad 9 con 16.42; en cambio, las CS 1 y 7 mostraron los valores más bajos con 15.26 y 15.36, respectivamente (Cuadro 7).

Los valores documentados, similares a los obtenidos por Wong *et al.* (2007), quienes mencionan que en su investigación, la longitud de mazorca varió de 14.2 a 17.6 cm para un grupo de 15 cruza simples sobresalientes, indicando también que el número de granos por hilera dependió de la longitud de la mazorca, al igual que lo obtenido en esta investigación ( $r= 0.72$ ); en cambio Rojas (2007), obtuvo menores valores de largo de mazorca, con 12.3, 11.9, 11.9 y 10.0 cm para los híbridos H-40, SB-109, H-48 y el Criollo de San Nicolás Panotla, respectivamente.

#### **2.4.1.5. Diámetro de mazorca.**

El diámetro (DMZ) de las mazorcas mostró diferencias estadísticas entre cruza simples, siendo la CS 5 la que mostró el valor más alto con 51.09 mm; siguieron las CS 12, 8 y 11 con 49.11, 49.10 y 47.75, respectivamente; en cambio los menores valores los presentaron las CS 10 y 7 con 45.07 y 46.89, respectivamente (Cuadro 7).

Los valores de diámetro de mazorca observados en el presente trabajo, son mayores a los obtenidos por Wong *et al.* (2007), quienes reportaron 43 a 48 mm para un grupo de 15 de cruza simples sobresalientes; en tanto que, en este trabajo, el rango varió de 45.07 a 51.09 mm; por su parte Rojas (2007), observó diámetros de mazorca de 48, 46, 45 y 42 para los híbridos H-40, H-48, Criollo local y SB-102, respectivamente; de tal forma que, las CS 5, 12, y 8 muestran ventajas respecto al diámetro, comparadas con los resultados de los híbridos comerciales; por lo que representan aspectos positivos que respaldan la posibilidad de su consideración, para ser incluidos en programas de producción de semillas, tomando en cuenta la importancia de esta variable sobre el rendimiento de grano, al presentar una correlación positiva de 0.41 (Hallauer y Miranda, 1981).

#### **2.4.1.6. Punta podrida.**

Se consideró la pudrición de toda la mazorca, esta resultó influida en mayor grado por la pudrición en la punta de la misma, la cual no presentó diferencias estadísticas significativas, pero, de acuerdo a los datos mostrados en el Cuadro 7, las cruza simples que presentaron un valor mayor a la media de 1.45% fueron, 11, 10, 12, 7, 4 y 9 con 1.58, 1.53, 1.51, 1.51, 1.50 y 1.47, respectivamente.

En cuanto a la calidad sanitaria de la semilla producida, considerando la variable punta podrida; el porcentaje bajo es un aspecto favorable, ya que si se analiza su influencia sobre el rendimiento, el valor medio de 1.45% representa 14.5 kg de maíz podrido por cada tonelada de maíz cosechado, que representa ventajas si se compara con lo obtenido en un estudio de evaluación de híbridos realizado por Rojas (2007), donde los valores fueron de 28.0, 6.9, 6.9 y 5.4% en las variedades Criollo San Nicolás Panotla, Tlaxcala, H-48, H-40 y SB-102, respectivamente, que representan entre 280 a 54 kg de maíz podrido por cada tonelada de maíz cosechado. Cabe no obstante señalar que Rojas y Jiménez (1986), observaron valores que van de 3.33 a 10.66% en trece variedades estudiadas, que dan idea de lo variable que puede ser la presencia de granos podridos al depender del genotipo y de las condiciones del medio en la etapa de posmadurez fisiológica.

#### **2.4.1.7. Porcentaje de granos no formados.**

Hubo diferencias estadísticas entre cruzas simples, de tal forma que aquellas con mayor porcentaje fueron 7 y 5 con 12.81 y 11.65%; siguieron las CS 3, 11, 4, 10 y 9 con 8.23, 7.18, 6.36, 6.20 y 5.58, respectivamente, y las que presentaron los valores más bajos fueron 1, 2, 8, 12 y 6 con 1.69, 2.03, 3.88, 3.91, 4.32, respectivamente.

El porcentaje de granos no formados es de suma importancia, ya que en tanto éste sea bajo, se esperaría mayor rendimiento de semilla; así, las variedades de mayor rendimiento fueron las que presentaron menor número de granos no formados y, aunque el comportamiento no se expresó en forma lineal, existe esta tendencia; para ello, es necesario hacer estudios enfocados a evaluar esta variable con mediciones que expliquen en mayor grado, el efecto esperado, procurando seleccionar adecuadamente, por su porte, a los tratamientos de genotipos hembra y ampliar la distancia de los surcos polinizadores (macho).

#### **2.4.1.8. Rendimiento de semilla.**

El rendimiento de semilla (RS) mostró diferencias estadísticas, siendo las CS 2 y 1 las que mostraron los mayores valores con 251.45 y 237.53 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente; siguieron 8, 6 y 12 con 205.50, 204.71 y 195.28, respectivamente, en cambio las CS 7 y 4 mostraron los valores más bajos con 118.53 y 150.76, respectivamente (Cuadro 7). Si consideramos la población de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>, el rendimiento potencial de semilla para las CS 2 y 1, se ubicó en 12.57 y 11.9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

En lo que se refiere a rendimiento de semilla, si consideramos 50 mil plantas por hectárea y con la relación de 8:2, se tiene un 80% de plantas hembra; así, la cantidad de plantas hembra sería de 40000 y el rendimiento más alto esperado sería de 10 t, cifra mayor a lo obtenido por Wong *et al.*, 2007, quienes lograron un

intervalo de rendimiento de 7.9 a 9.6 t ha<sup>-1</sup>, en cruza simples provenientes de dos grupos de 10 líneas, observándose variación de comportamiento entre genotipos; que en esta investigación fue mayor, ya que el valor estimado más bajo que se obtuvo fue de 5.7 t. Cervantes *et al.* (1990) obtuvieron 4.18 t para el tratamiento con la relación 4:1; cantidad menor a lo obtenido en esta investigación; no obstante, es importante señalar lo que el autor menciona en el sentido de que la relación 4:1 representa un 80% de la superficie a cosechar y el tratamiento 4:2 solo el 66% es factible sea cosechado, indicando que el tratamiento 4:1 tiene ventaja sobre el 4:2, pues este último ocupa más superficie con la línea o cruza simple macho, en ambos híbridos. El tratamiento 6:2 representa un 75% de la superficie factible de cosecharse, lo que hace que sea inferior al testigo; el tratamiento 8:2 representa el mismo porcentaje que el tratamiento 4:1 y los rendimientos de semilla son muy similares en su investigación, pero menores a los de este trabajo.

#### **2.4.1.9. Altura de planta.**

La altura de planta (AP) mostró diferencias significativas entre variedades (Cuadro 7), donde los valores más altos fueron para las CS 1 y 2 con 238.41 y 236.52 cm, respectivamente; siguieron 9 y 10 con 190.66 y 189.65, respectivamente; el tercer grupo lo conformaron 12, 5 y 3 con 174.21, 173.31 y 167.32, respectivamente; las CS 6 y 8 ocuparon el cuarto lugar con 160.67 y 162.22, respectivamente, el quinto lugar lo ocuparon las CS 11 y 4 con 147.91 y 145.3, respectivamente; en cambio la variedad 7 presentó el menor valor con 90.54 .

Al comparar los resultados de altura obtenidos en el estudio, con los observados por Rojas (2006), las variedades 1 (238.4 cm) y 2 (236.5 cm), presentaron valores menores a los del Criollo de San José Nanacamilpa, Tlaxcala (292.5), H-33 (270.0) y H-40 (243.8), pero mayores a las de los híbridos SB-102 (230.0) y H-48 (221.3). Rojas (2007), reporta resultados con los mismos genotipos en la localidad de San Nicolás Panotla, Tlaxcala, observando que los híbridos H-48, H-40, SB-102 y el Criollo local (217, 210, 194 y 196, respectivamente), mostraron menores alturas de



planta que la de los híbridos 1 y 2 estudiados en esta investigación; mientras que Barrera *et al.* (2008), señalan que en diez híbridos sobresalientes del Centro de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos, se observaron valores entre 200.6 a 231.0 cm que son menores a los de las dos las CS 1 y 2 con 238.41 y 236.52 cm sobresalientes de esta investigación; aspectos que ponen de manifiesto que estos materiales presentan esta característica sobresaliente para ser considerados en programas de producción de semillas de maíces forrajeros para Valles Altos. De la Cruz-Lázaro, *et al.*, (2007) observaron valores entre 180 a 251 cm con un promedio de 222 cm, en 28 híbridos de cruza simple provenientes de CIMMYT, que fueron sembradas en Torreón, Coahuila, para evaluar su potencial forrajero, siendo menor el rango de altura de planta, al observado en esta investigación (238.4 a 90.5 cm).

Cuadro 7. Comparación de medias en caracteres agronómicos de 12 hembras cruza simples de maíz, evaluadas en producción de semillas, en una relación 8:2, con una línea de porte alto como progenitor. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Cruza Simple	Caracteres								
	MPP	HPM	GPH	LMZ (cm)	DMZ (mm)	PP (%)	PGNF (%)	RS (g planta <sup>-1</sup> )	AP (cm)
CS-1	1,72 a	17,63 ab	31,90 ef	15,26 de	46,37 cde	1,40 a	1,69 e	237,53 ab	238,41 a
CS-2	1,72 a	16,81 bc	34,74 cd	15,85 cd	46,19 de	1,36 a	2,03 e	251,45 a	236,52 a
CS-3	1,02 e	14,63 e	30,39 f	15,90 cd	46,77 cd	1,39 a	8,23 b	163,67 dc	167,32 cd
CS-4	1,05 e	15,54 d	33,25 de	16,09 cd	46,19 de	1,50 a	6,36 bcd	150,76 de	145,30 e
CS-5	1,27 cd	18,23 a	34,51 d	17,58 a	51,09 a	1,44 a	11,65 a	190,88 dc	173,31 c
CS-6	1,56 ab	15,58 d	36,84 abc	17,24 ab	46,89 cd	1,43 a	4,32 cde	204,71 bc	160,67 d
CS-7	1,38 bc	14,00 e	31,41 ef	15,36 de	46,89 f	1,51 a	12,81 a	118,53 e	90,54 f
CS-8	1,45 bc	14,38 e	37,22 a	17,16 ab	49,10 b	1,33 a	3,88 de	205,50 bc	162,22 d
CS-9	1,53 ab	16,54 c	34,16 d	16,42 bc	46,21 de	1,47 a	5,58 bcd	185,54 dc	190,66 b
CS-10	1,55 ab	14,52 e	37,00 ab	17,97 a	45,07 ef	1,53 a	6,20 bcd	191,86 dc	189,65 b
CS-11	1,05 e	16,73 c	33,03 de	14,74 e	47,75 bc	1,58 a	7,18 bc	171,18 dc	147,91 e
CS-12	1,16 de	17,73 a	35,03 bcd	15,51 de	49,11 b	1,51 a	3,91 de	195,28 bc	174,21 c
MEDIA	1,37	16,02	34,12	16,26	47,05	1,45	6,15	188,91	173,06
DHS	0,2022	0,8915	21,384	0,8636	15,484	0,2921	32,669	44,477	88,558
SIG	**	**	**	**	**	NS	**	**	**

Diferentes literales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (0.05). MPP= mazorcas por planta; HPM= hileras por mazorca; GPH= granos por hilera; LMZ= largo de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; PP= punta podrida; RS= rendimiento de semilla; PGNF= porcentaje de granos no formados; AP= altura de planta; DMS= diferencia mínima significativa; SIG= significancia; \*\*= altamente significativo al 0.01%, \*= Significativo al 0.05%, NS= no significativo.

## **2.4.2. Por la distancia de las parcelas a los bordos (Fuente de Polen).**

### **2.4.2.1. Mazorcas por planta.**

La variable mazorcas por planta (MPP) presentó diferencias significativas, donde las parcelas con nivel de acercamiento a la fuente polinizadora en grado 4 y 1 presentaron los valores más altos en número de mazorcas con 1.53 y 1.43 mazorcas por planta, respectivamente, seguidas por las parcelas en grado de acercamiento 2 y 3 con valores semejantes de 1.36, en cambio las parcelas con menor grado de acercamiento en grado 5 y 6 presentaron menor número de mazorcas con 1.28 y 1.26, respectivamente (Cuadro 8).

De acuerdo a los datos mostrados en el Cuadro 4 para el grado de acercamiento, no existe una definición muy clara de que las parcelas con mayor grado de acercamiento a la fuente polinizadora, sean las que mayor número de mazorcas hayan mostrado, aun cuando las parcelas con menor grado de acercamiento hayan presentado menor número de mazorcas, lo cual más bien puede deberse al efecto de la cruz simple.

### **2.4.2.2. Porcentaje de granos no formados.**

Para el porcentaje de granos no formados (PGNF), aunque existieron diferencias significativas entre el grado de acercamiento de las parcelas a la fuente polinizadora (Cuadro 8), los datos mostrados no presentan un efecto definido; por lo que, al igual que en los caracteres anteriores, en la relación 8:2 utilizada no existe una importancia clara del grado de acercamiento de la parcela a la fuente polinizadora, lo cual pudiera explicarse por las diferentes alturas de las cruces simples utilizadas. En este sentido Sauthier y Castaño (2004), determinaron que el promedio de número de granos producidos por mazorca, estuvo asociado al sitio donde se encontraba la planta receptora de polen y a la distancia hacia la fuente de emisión de polen, tal y como lo mencionan López *et al.* (2006), quienes encontraron que los niveles más altos de cruzamiento se dan en la dirección del viento y es mayor, conforme esté más cerca a la

fuente polinizadora de 1 a 35 m., que en este caso fue difícil de determinar, porque las parcelas tuvieron fuente de polen a los costados (bordos).

### 2.4.2.3. Rendimiento de semilla.

De igual forma que las anteriores variables, el rendimiento de semilla (RS), mostró diferencias significativas entre los grados de acercamiento de las parcelas a la fuente polinizadora (Cuadro 8), no se aprecia una relación entre estos efectos estudiados, en virtud de las distancias empleadas en este trabajo fueron muy cortas y hay efectos enmascarados por la altura de las cruces simples empleadas, factor que debe considerarse en otros estudios ya que en otras investigaciones como las realizadas por Sauthier y Castaño, (2004).

Cuadro 8. Comparación de medias del número de mazorcas por planta, granos no formados y rendimiento de semilla por efecto de la distancia a la fuente polinizadora. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Distancia de parcelas a los bordos (Fuente de polen)	Caracteres		
	MPP	PGNF (%)	RS (g planta <sup>-1</sup> )
1 (6 m)	1.43 ab	4.32 b	208.14 a
2 (12 m)	1.36 bc	6.60 a	175.23 b
3 (18 m)	1.36 bc	7.28 a	177.01 b
4 (24 m)	1.53 a	5.41 ab	191.27 ab
5 (30 m)	1.28 c	6.32 ab	199.66 ab
6 (36 m)	1.26 c	7.00 a	182.16 ab
MEDIA	1.37	6.15	188.91
DHS	0.1246	20.136	27.414
SIG	*	*	*

Diferentes literales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (0.05). MPP = Mazorcas por planta, PGNF = Porcentaje de granos no formados, RS = Rendimiento de semilla, DHS = Diferencia significativa honesta., Sig = Significancia.

### **2.4.3. Por la distancia del surco a la fuente polinizadora dentro de la parcela.**

#### **2.4.3.1. Mazorcas por planta.**

La variable número de mazorcas por planta (MPP) mostró diferencias estadísticas (Cuadro 9), siendo los surcos más alejados a la fuente polinizadora con nivel 3 (2.4 m) y 4 (3.2 m), los que mostraron los valores más altos con 1.43 y 1.41 mazorcas planta<sup>-1</sup>, respectivamente. En cambio, los surcos más cercanos a la fuente polinizadora, presentaron menor número de mazorcas, con 1.37 y 1.3 para los surcos con grado de posición de 2 (1.6 m) y 1 (0.8 m), respectivamente. Este resultado es importante por el efecto de comportamiento que tiene el polen por la acción del viento y altura de la planta, ya que, en promedio, los primeros dos surcos más cercanos a la fuente polinizadora son de menor altura, y ello permitió el paso del polen con mayor libertad a estos dos surcos más alejados.

#### **2.4.3.2. Porcentaje de granos no formados.**

Los datos promedio no mostraron diferencias significativas (Cuadro 9), ni existe una relación definida en cuanto a que la distancia evaluada a la fuente polinizadora presenten mayor número de granos no formados. Situación que no fue clara, toda vez que los surcos hembras no estaban muy distantes del surco macho. Para futuros estudios sobre dispersión de polen deben considerarse una distancia mayor y aspectos como los que mencionan Klein *et al.* (2003), de tal forma que para conocer los factores que influyen en la dispersión del polen en la producción de semilla de maíz, hay que basarse en modelos de dirección, de biología integrada (diferencias de altura entre las flores masculinas y femeninas), y de parámetros aerodinámicos (velocidad de propagación, velocidad del viento y la turbulencia del aire); también debe considerarse la distancia tomando en cuenta lo que señalan Sauthier y Castaño, (2004), en el sentido que el número promedio de granos por mazorca disminuye a medida que aumenta la distancia entre la fuente polinizadora y la receptora.

### **2.4.3.3. Rendimiento de semilla.**

El rendimiento de semilla (RS) por efecto de la distancia del surco a la fuente polinizadora muestran diferencias significativas, y se puede observar que los valores más altos están dados para los surcos 3 (2.4 m) y 4 (3.2 m) y, similarmente, los que están más distanciados a la fuente polinizadora y cuyos rendimientos fueron 203.75 y 191.0 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 9); por su parte, los surcos más cercanos 1 (0.8 m) y 2 (1.6 m), presentan menores valores con 176.28 y 184.62 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, situación que no comparten Sauthier y Castaño (2004), quienes observaron que el número promedio de granos por mazorca disminuye a medida que aumenta la distancia entre la fuente polinizadora y la receptora, factor que influye en una menor cantidad de grano por parcela afectando el rendimiento; comportamiento que es soportado por Ma *et al.*, (2004), quienes observaron que la tasa de fertilización en maíz dependió de la distancia de la fuente de polen, dirección del viento y sincronización de la floración masculina y femenina, y que a partir del surco 37 (28 m) el nivel de contaminación con polen extraño es menor al 1%; lo cual no se observó en esta investigación, ya que los surcos más alejados a la fuente polinizadora presentaron menor rendimiento, aspecto que no puede generalizarse por las diferencias en la altura de la planta y porque las distancias evaluadas fueron muy cortas en este estudio.

Cuadro 9. Comparación de medias en mazorcas por planta, granos no formados y rendimiento de semilla por efecto de la distancia del surco a la fuente polinizadora. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Distancia del surco a la fuente polinizadora	VARIABLES		
	MPP	PGNF (%)	RS (g planta <sup>-1</sup> )
1 (0.80 m)	1.30 c	6.14 a	176.28 b
2 (1.60 m)	1.37 bc	6.88 a	184.62 ab
3 (2.40 m)	1.43 a	5.81 a	203.75 a
4 (3.20 m)	1.41 ab	5.79 a	191.00 ab
MEDIA	1.37	6.15	188.91
DHS	0.092	14.82	20.20
SIG	*	NS	*

Diferentes literales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (0.05). MPP = Mazorcas por planta, PGNF = Porcentaje de granos no formados, RS = Rendimiento de semilla, DHS = Diferencia significativa honesta., Sig = Significancia.

#### 2.4.4. Análisis multivariado.

De acuerdo con el análisis multivariado aplicado a las variables en estudio, los resultados permiten observar que con dos componentes principales se puede explicar el 44 % de la variabilidad del grupo de datos obtenidos para los 11 caracteres estudiados en los 12 genotipos evaluados, de tal forma que con ello, se logra determinar que se tienen cuatro grupos de genotipos con características similares (Fig. 3), habiendo grupos más compactos y otros más dispersos.

Los atributos que agrupan en mayor grado a las cruza simples, son la altura de la planta, siendo el Grupo 1 el que presenta la mayor altura con 238.4 y 236.5 cm para la CS-1 y CS-2, respectivamente y el Grupo 4 el de menor altura con 167.3, 147.9, 145.3 y 90.5 cm para CS-3, CS-11, CS-4 y CS-7 (Cuadro 7, Fig. 3); otro atributo es el rendimiento de semilla, donde el Grupo 1 concentró a las cruza simples con los mayores valores, siendo de 251.4 y 237.5 g planta<sup>-1</sup>, para las CS-2 y CS-1, respectivamente y el Grupo 4 el que concentró a las cruza simples con menores valores de rendimiento de semilla con 171.1, 163.7, 150.7 y 118.5 g planta<sup>-1</sup>, para CS-11, CS-3, CS-4 y CS-7, respectivamente (Cuadro 7, Fig. 3). Otro atributo que agrupa en

gran medida a las cruza simples es, mazorcas por planta, siendo el Grupo 1 el que incluyó a los valores más altos con 1.72 mazorcas planta<sup>-1</sup>, para las CS-1 y CS-2, en cambio el Grupo 4 agrupó a los valores más bajos con 1.38,1.05, 1.05 y 1.02 mazorcas planta<sup>-1</sup>, para las CS-7, CS-11, CS-4 y CS-3, respectivamente (Cuadro 7, Fig. 3).

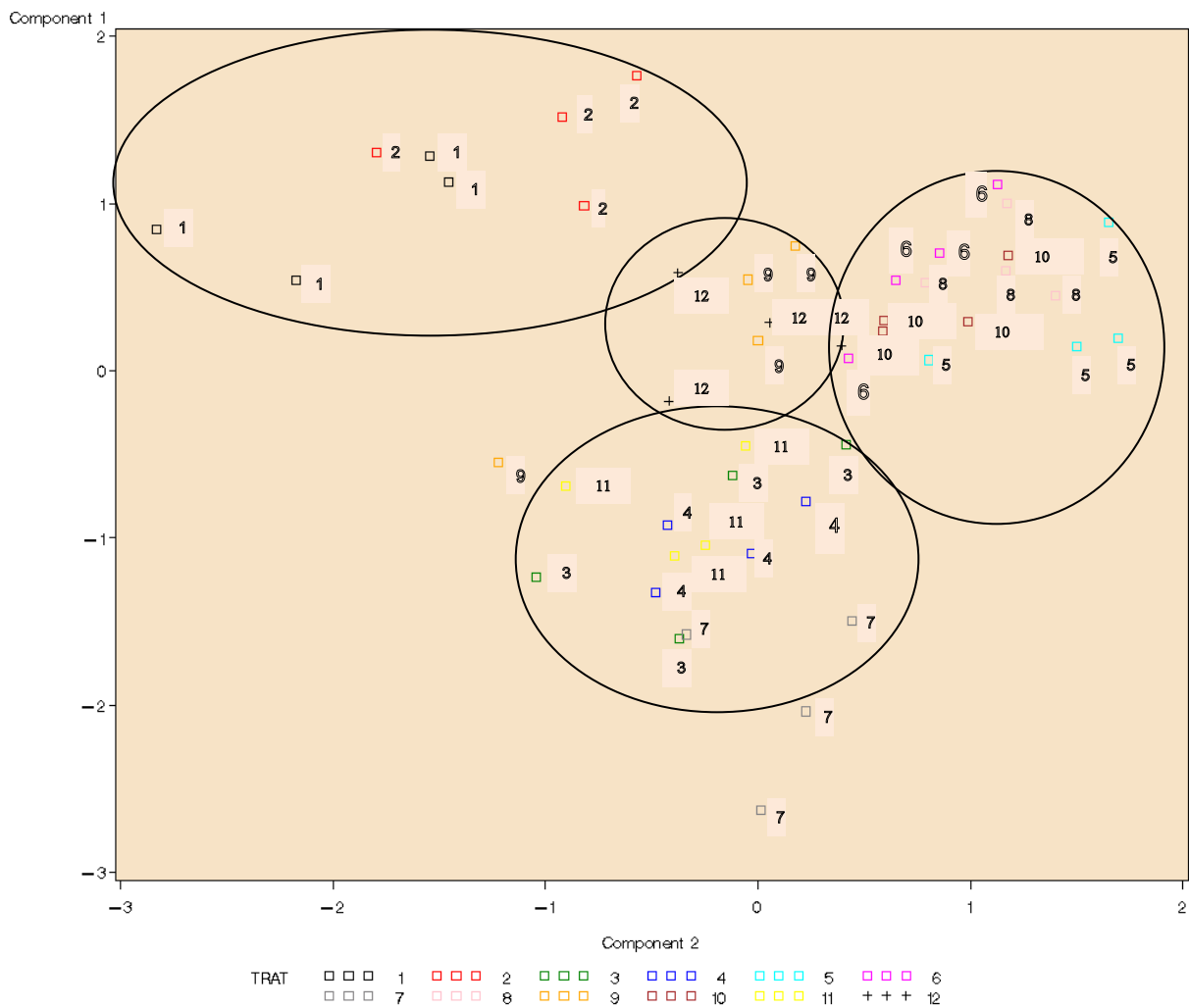


Figura 3. Grupos de genotipos determinados con el análisis multivariado del componente tratamiento (cruza simple).



De acuerdo a este análisis multivariado, las variedades se pueden agrupar de la siguiente manera:

GRUPO	GENEALOGIA	CRUZA SIMPLE
1	CL11 X CL12	CS-1
1	CL4 X CL1	CS-2
2	AE5/F2-54-7 X 1920F2F46-10-3-7	CS-9
2	CML-241-2 X 1920F2F46-10-3-2	CS-12
3	CL12 X CL13	CS-6
3	AE5/F2-54-7 X (56-1 X KKUA) -1-20	CS-10
3	CL21 X CL13	CS-8
3	CL22 X CL23	CS-5
4	1112F2FHC-4-5-2 X 1920F2F46-10-3-2	CS-11
4	CMS 929083	CS-3
4	CMS 929001	CS-4
4	CL13 X CL1	CS-7

#### 2.4.5. Coeficientes de correlación.

Existe una correlación positiva muy estrecha entre el largo de mazorca y número de granos ( $r = 0.72$ ). Para los caracteres diámetro de mazorca con número de hileras, existe una correlación positiva considerable ( $r = 0.45$ ); en cambio, para granos por hilera con porcentaje de no formación de grano, existe correlación negativa ( $r = -0.48$ , Cuadro 10).

Las correlaciones observadas entre algunos caracteres sólo corroboran que a tener mayor longitud de la mazorca, se esperaba tener mayor número de granos en las hileras de la misma, al igual que con mayor diámetro, mayor número de hileras; de la misma manera, un mayor número de granos por hilera presupone una mazorca

completa, llena de granos, por lo que el porcentaje de granos no formados disminuye y tiende a cero.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación en 10 caracteres de 12 cruzas simples de maíz forrajero. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

	MPP	HPM	GPH	DMZ	LMZ
MPP	1.00	-.02	0.06	-.24	0.01
HPM	-.02	1.00	0.01	0.45	-.03
GPH	0.06	0.01	1.00	0.30	0.72
DMZ	-.24	0.45	0.29	1.00	0.35
LMZ	0.01	-.03	0.72	0.35	1.00
PP	-.08	0.04	0.05	0.08	0.09
PGNF	-.15	-.09	-.48	-.15	-.18
RS	0.35	0.13	0.30	0.18	0.26
AP	0.32	0.29	0.14	0.11	0.11

MPP= mazorcas por planta; HPM= hileras por mazorca; GPH= granos por hilera; LMZ= largo de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; PP= punta podrida; PGNF= porcentaje de granos no formados; RS= rendimiento de semilla; AP= altura de planta

#### 2.4.6. Calidad de la semilla.

##### 2.4.6.1. Porcentaje de Germinación.

Se observaron diferencias significativas entre las cruzas simples evaluadas, donde, las cruzas simples CS-11, CS-1, CS-10 y CS-7, mostraron valores más elevados, con 98.8, 98.6, 98.4 y 97.2%, respectivamente; en cambio, CS-12 mostró el menor valor con 90.3%, las demás cruzas simples comparten literales (Cuadro 11).

Los valores similares a los reportados por Andrio *et al.* (2008), para 12 variedades criollas en rango de 92 a 98%; sin embargo, Bautista *et al.* (2008), citan valores de 89.2 y 92.4% para un criollo adaptado y una selección precoz, respectivamente; en cambio Virgen y Arellano (2008), informan que observaron porcentajes muy bajos, que van de 37.4 a 20.4 para líneas progenitoras.

#### **2.4.6.2. Peso de Cien Semillas.**

El peso de cien semillas mostró diferencias estadísticas, siendo la cruce simple CS-3 la de mayor valor, con 40 g; mientras que CS-2 y CS-9, tuvieron los menores valores con 29 y 27.8 g, respectivamente (Cuadro 11).

Al respecto Arellano observó valores de peso de cien semillas de 25.0 a 20.0 g por debajo del rango encontrado (27.8 a 40.0 g) en esta investigación para líneas progenitoras que mostraron granos pequeños, mientras que Virgen y Virgen y Arellano (2008) observaron datos aún más por debajo del rango obtenido, que van de 20 a 27.3 g; en cambio Antuna *et al.* (2008) observaron valores de 31.6 a 39.2 en híbridos comerciales, los cuales están dentro del rango observado en esta investigación. Por otro lado, Andrio *et al.* (2008) reportan valores en un rango más abierto (18.79 a 51.32 g) que incluyen datos por debajo y por encima a lo observado en este estudio.

#### **2.4.6.3. Peso Volumétrico.**

En Peso Volumétrico se observaron diferencias estadísticas, siendo las cruces simples 3, 12 y 1, con 78.3, 78.0 y 77.6 hectolitros, respectivamente, mientras que la cruce simple 5 mostró el menor valor con 70.0 kg hL<sup>-1</sup> (Cuadro 11); datos que son mayores a los reportados por Virgen y Arellano (2008), con rango de 62.3 a 73.5 kg hL<sup>-1</sup>, para 8 líneas progenitoras, mientras que Antuna *et al.* (2008), observaron valores de 77 a 86 kg hL<sup>-1</sup>, en híbridos comerciales, valores superiores a los obtenidos en este trabajo de investigación. Por su parte Andrio *et al.* (2008), obtuvieron valores similares (70.7 a 78.8% de germinación), en 12 variedades criollas de maíz.

Cuadro 11. Germinación, Peso de Cien Semillas y Peso Volumétrico de 12 Cruzas Simple. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Cruza Simple	Germinación (%)	Peso de Cien de Semillas (g)	Peso Volumétrico (kg hL <sup>-1</sup> )
CS-1	98.6 a	31.2 bc	77.6 a
CS-2	96.6 ab	29.0 c	74.5 abc
CS-3	95.6 ab	40.0 a	78.3 a
CS-4	94.4 ab	33.0 b	75.3 ab
CS-5	95.6 ab	29.1 bc	70.0 c
CS-6	95.0 ab	29.2 bc	72.3 bc
CS-7	97.2 a	21.2 d	72.0 bc
CS-8	93.8 ab	30.9 bc	75.0 ab
CS-9	95.3 ab	27.8 c	74.3 abc
CS-10	98.4 a	29.5 bc	75.3 ab
CS-11	98.8 a	29.5 bc	74.6 abc
CS-12	90.3 b	30.1 bc	78.0 a
Media	95.8	30	75
DHS	6.39	4	5
SIGN	*	*	*

Diferentes literales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (0.05).  
DHS = Diferencia significativa honesta, SIGN= Significancia

## 2.5. CONCLUSIONES

Las cruzas simples CL12 x CL11 y CL4 x CL1 presentaron mayores valores para altura de planta, número de mazorcas por planta y rendimiento de semilla.

Existe una clara tendencia a que las variedades que presentaron la mayor altura de planta rindieron más semilla, presentaron mayor número de mazorcas y menor porcentaje de granos no formados, y contrariamente a los genotipos de menor altura.

Los surcos hembra más alejados a la fuente polinizadora dentro de parcelas presentaron mayor rendimiento de semilla, ya que la altura de los surcos hembra, más cercanas a la fuente polinizadora, fueron de menor tamaño que esta.

Los surcos hembra más alejados al macho como fuente polinizadora mostraron mayores valores de número de mazorcas por planta y mayor rendimiento de semilla, que a la vez fueron beneficiados por la menor altura de las plantas de los surcos cercanos al macho, que permitieron mayor dispersión de polen.

Existe alta correlación positiva entre largo de la mazorca y número de granos por hilera, diámetro de la mazorca e hileras por mazorca y correlación negativa entre el número de granos por hilera y porcentaje de grano no formado.

El acercamiento de las parcelas a la fuente polinizadora (bordo de la cabecera) no mostró relación con las variables medidas, ya que la localización de la fuente polinizadora utilizada y la distribución entre las parcelas no fue la más adecuada.

Existe alta correlación positiva entre largo de la mazorca y número de granos de la mazorca, correlación positiva entre diámetro de la mazorca y número de hileras, y correlación positiva entre número de granos por hilera y porcentaje de grano no formado.

## 2.6. LITERATURA CITADA

- Andrío E., E., Rodríguez H., S. A, Palomo, A., Mendoza, M., Espinoza B., A., Rivera R., J. G., Cortez B., E., Antuna G., O. y Ramírez P., J. G. 2008. Calidad de la semilla de variedades criollas de maíz. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. (eds). La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 41.
- Antuna G., O., S. A. Rodríguez H., A. Palomo G., A. Espinoza B., E. F. Navarro O. y E. Andrío E. 2008. Rendimiento y sus componentes de híbridos comerciales de maíz en la Comarca Lagunera. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. (eds). La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 34.
- Aylor, D. E. 2002. Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. *Journal of Aerosol Science* .Volume 33, Issue 11, November 2002, Pages 1601-1607
- Barrera G., E., F. Márquez S. y L. Sahagún C. 2008. Formación de híbridos a partir de razas de maíz mejoradas por retocruza limitada. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. (eds). La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 23.
- Bassetti, P. and M. E. Westgate. 1994. Floral asynchrony and kernel set in maize quantified by image-analysis. *Agron. J.*, 86: 699-703.
- Bautista M., V. M., N. A. Ruíz T., F. Rincón S., H. C. Burciaga D. 2008. Calidad fisiológica en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *In*: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. (eds). La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 41.
- Bertoia, L. M. 2004. Algunos Conceptos sobre ensilado. Consideraciones generales sobre maíces para silaje y su cultivo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Verificado en marzo de 2006. <http://mejorpasto.com.ar/UNLZ/2004/TX3.htm>
- Cárcova, J. and M. E. Otegui. 2001. Ear temperature and pollination timing effects on maize kernel set. *Crop Sci.* 41:1809 -1815.

- Casiano T., C. y A. Espinosa C. 1990. Efecto de diferente relación hembra:macho en la producción de semilla del híbrido de maíz H-137. *In*: Kato Y., T. A., Livera M., M. y Gonzáles H., V. A. (eds). XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih. 3 al 7 de septiembre. Pag. 379.
- Cervantes G., F. J., A. Espinosa C. y J. Ortega A. 1990. Productividad de semilla en base a diferente relación hembra:macho en los híbridos de maíz H-34 y H-137. *In*: Kato Y., T. A., Livera M., M. y Gonzáles H., V. A. (eds). XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih. 3 al 7 de septiembre. Pag. 373.
- Comisión de Riesgo de Vegetales Genéticamente Modificados (CERV). 2002. Informe sobre la Liberación Comercial del Evento MON-810. Maíz.. Comisión Técnica Interdepartamental. Resolución No. 1015. Consejo de Facultad. Facultad de Agronomía. 4 de Octubre e 2002. Uruguay. Verificado en marzo de 2006. [www.fagro.edu.uy/.../Documentos/Informe%20sobre%20la%20Liberaci%F3n%20Comercial%20del%20Evento%20MON.ppt](http://www.fagro.edu.uy/.../Documentos/Informe%20sobre%20la%20Liberaci%F3n%20Comercial%20del%20Evento%20MON.ppt)
- De la Cruz-Lázaro, E; S. A. Rodríguez-Herrera, A. Palomo-Gil, A. López-Benítez, V. Robledo-Torres, A. Gómez-Vázquez y R. Osorio-Osorio 2007. Aptitud combinatoria de líneas de maíz de alta calidad de proteína para características forrajeras. *Uciencia* 23(1):57-68.
- Di-Giovanni, F., and P. G. Kevan. 1991. Factors affecting pollen dynamics and its importance to pollen contamination: a review. *Can. J. For. Res.* 21:1155–1170.
- Di Marco, O. N. y M. S. Aello. 2003. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEA Balcarce). Verificado en abril de 2006. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/forrajes/silo/silajemaliza.htm>
- Galicia O., J. y H. Celis A. 1986. El control manual de la polinización en maíz. INIFAP – SARH, Tema Didáctico No. 1. México, D. F. 24 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press/Ames. 468 p.
- Klein, E. K., C. Lavigne, X. Foueillassar, P. H. Gouyon and C. Laredo. 2003. Corn pollen dispersal: quasimechanistic models and field experiments. *Ecological Monographs*. Volume 73, Issue 1 (February). 131-150.

- López S., H., S. Goggi, M. E. Westgate, R. W. Arritt y C. Clark. 2006. Flujo de polen de maíz en campos de producción de grano y semilla. XXI. Congreso Nacional y Primero Internacional de Fitogenética. 3 al 8 de septiembre. Tuxtla Gutierrez, Chiapas. Memorias electrónicas en CD.
- Luna V., S., J. Figueroa M., B. Baltasar M, R. Goewmz L., R. Townsend and B. Schoper J. 2001. Maize Pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop sci.* 41:1551-1557.
- Marcantonio, M. A. 2004. Dinámica de producción de polen en ocho líneas endocriadas de maíz expuestas a dos densidades de siembra contrastantes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Facultad de Ciencias Agrarias
- Messeguer, J., G. Peñas, J. Ballester, M. Bas, J. Serna, J. Salvia, M. Palauelmás y E. Melé. 2006. Flujo de genes por el polen en maíz en situaciones reales de coexistencia. *Plant Biotechnology Journal*, 4: 00-00.
- Ñopo D., J. y G. Carrillo C. 1977. Determinación de la vitalidad del polen de maíz. *Agrociencia*, 28:101-102.
- Ortiz T., E. 1993. Aislamiento y dispersión de polen en la producción de semilla de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Producción de Semillas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 81 p.
- Otahola-Gómez, V. y Z. Rodríguez. 2001. Comportamiento agronómico de maíz (*Zea mays* L.) tipo dulce bajo diferentes densidades de siembra en condiciones de sabana. *Revista Científica UDO Agrícola* 1: 18-24.
- Poehlman, J. M. y D. Allen L. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda Edición. Ed. Limusa. México. 511 p.
- Ramírez, R. y L. Andrade. 1974. Influencia de la polinización sobre el llenado de la punta de la mazorca del maíz y otros caracteres. *Agronomía Tropical* 24(1):43-54.
- Raynor, G. S., E. C. Ogden and J. V. Hayes. 1972. Dispersion and deposition of corn pollen from experimental sources<sup>1</sup>. *Agron J* 64:420-427.
- Rojas M., I. 2006. Informe Técnico: Evaluación Agronómica del Maíz SB-102 en Tlaxcala. INIFAP. Campo Experimental Tlaxcala. 8 p.
- Rojas M., I. 2007. Informe Técnico: Evaluación Agronómica de la variedad de maíz SB-102 de la empresa Semillas Berentsen S.A. de C.V. en Tlaxcala. INIFAP. Campo Experimental Tlaxcala. 12 p.
- Rojas, M. y K. Jiménez. 1986. Prueba de aptitud combinatoria general en líneas de maíz de alta calidad proteínica. *Agronomía Costarricense*. 10(1/2):29 – 32.



- Sauthier, M. A. y F. D. Castaño. 2004. Dispersión del Polen en un cultivo de maíz. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, noviembre. Vol. XV, Núm. 029. 229-246 pp.
- Sharanjit, S.B. & J. Douglas. 1992. Designing successful farmer-managed seed systems. *Development Studies Paper Series*. Morrilton, AR, USA, Winrock International.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2007. The SAS® System for Windows® (Ver. 9). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Uribelarrea, M., J. Cárcova, M. E. Otegui and M. E. Westgate. 2002. Pollen production, pollination dynamics, and kernel set in maize. *Crop Sci.* 42: 1910-1918.
- Vázquez H., A., A. Espinosa C. y R. Valdivia B. 1990. Comparación y selección de líneas experimentales de maíz por su vigor, productividad y calidad de semilla. *In: Kato Y., T. A., Livera M., M. y González H., V. A. (eds). XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih. 3 al 7 de septiembre. P. 374.*
- Virgen V., J. y J. L. Arellano V. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de líneas de maíz en dos densidades de población. *In: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. (eds). La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, Méx. 27 al 29 de octubre. Pag. 33.*
- Wong R., R., E. Gutierrez R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B. y J. J. Lozano G. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30(2):181-189.

## CAPITULO III

### COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y DE SEMILLA DE HIBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ PARA FORRAJE

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En México, la importancia del sector lechero y la industria de lácteos está determinada por alrededor de 70,000 empresas en la actividad primaria, y más de 11,000 en la actividad industrial, las cuales generan aproximadamente 400 000 empleos permanentes. El valor de la producción primaria de leche representa casi la cuarta parte del valor total de la producción ganadera y la industria de lácteos es la tercera industria alimentaria más importante en el país, después de la del maíz y de la carne. La producción nacional de leche, creció 4.05% anualmente durante 1990-2001, más que la población, pero no satisface la demanda interna (Ángeles-Montiel, *et al.*, 2004).

La población de ganado bovino lechero ha mostrado un crecimiento positivo, partiendo de 1.86 a 2.34 millones de cabezas desde 1999 al 2008, respectivamente. Los estados que presentan mayor población de bovinos lecheros son; Jalisco con 311, 779, Durango con 249,687, Chihuahua con 245, 917, Coahuila con 243,183, Hidalgo con 191,847, Guanajuato con 169,306, Puebla con 167,450 y México con 114,378; siendo que la población de éstos ocho estados representa el 72% del total nacional (SIAP-SAGARPA, 2010).

SAGARPA estimó en 2007 que en el país hay 2.2 millones de vacas lecheras, se producen 10, 183 millones de litros de leche; que aportan el 21% de la producción pecuaria, con 38000 millones de pesos, 799 mil unidades de producción, de las cuales 114 mil son especializadas; es la actividad pecuaria que genera más empleos permanentes remunerados (Coordinación General de Ganadería, SAGARPA, 2010).

La baja productividad del ganado en el trópico se debe en gran parte al medio ambiente que origina estacionalidad en la producción de forrajes, estrés calórico que afecta los

procesos fisiológicos de los animales, y la proliferación de microorganismos, y parásitos internos y externos que aumentan la incidencia de enfermedades infecciosas y parasitarias. Relacionado con éstos factores está el desorden genético de los hatos en el Sistema de Bovinos de Doble Propósito (Aguilar *et al.*, 2007).

En cambio, la producción de leche en zonas templadas, que en la mayor parte es de forma estabulada o semi-estabulada, enfrenta problemas de rentabilidad por los altos costos en el mantenimiento de las instalaciones, mano de obra y alimentación. Esta última comprende cerca del 57% de los costos totales, por el uso de granos, pastas, ensilados, concentrados, que tienen que importarse o traerse de otras regiones dentro del país lo que acarrea mayores gastos por transporte y de dudosa calidad o con calidad variable, lo que repercute en una alimentación no equilibrada, con efectos consecutivos que se traducen en altos y bajos en la producción láctea.

La producción de forrajes y en particular, el maíz como forraje verde o ensilado, representa un bien necesario y de mucha relevancia para la producción de ganado lechero en México por su alto rendimiento de materia seca ( $20 \text{ ton ha}^{-1}$ ) a un costo menor, en comparación a otros insumos que tienen un costo mayor por kilogramo de materia seca, ya que se ha creado dependencia de la alfalfa pero también el uso intensivo de granos, subproductos industriales y productos especializados aumentan de una manera considerable los costos de alimentación (Navarro, *et al.*, 2008). Se estima que para los bovinos lecheros se tiene una demanda de granos forrajeros de 3,905.9 miles de toneladas para 2007, y de pastas oleaginosas y de 409.8 miles de toneladas, para 2005 (SAGARPA, 2010).

Aspectos que se tienen que considerar como una referencia importante, si se pretende hacer investigación en la formación y evaluación de maíces con calidad forrajera, que permitan producir materia seca en mayor volumen y de mejor calidad, para abaratar los costos de la producción de leche, por concepto de alimentación.

### **3.1.1. Objetivos.**

- Medir el rendimiento de materia verde, materia seca, ensilado; así mismo los componentes morfológicos de doce híbridos trilineales de maíz.
- Estimar la relación de hoja, tallo y elote de doce híbridos trilineales de maíz.
- Evaluar el porcentaje de proteína, fibra detergente neutra y ácida de materia seca de la planta entera y sus componentes morfológicos de doce híbridos trilineales de maíz.

## **3.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.2.1. Composición de la planta.**

La planta de maíz es un excelente forraje al consumirse verde, ensilado, henificado o aun el rastrojo. En Apodaca, Nuevo León, se sembraron 10 variedades de maíz, con el objeto de estimar la producción de forraje cuando la planta se cortó cuando el grano en estado masoso que ocurrió a los 94 días de la siembra. El análisis químico proximal que se obtuvo de los órganos, tallo, hoja y elotes mostró que el tallo representa entre el 44% de la planta con el 5.8% de proteína y 36% de fibra en promedio, mientras que la hoja representa el 26% de la planta con un 11.5% de proteína y un 27.4% de fibra, en cambio el elote representa el 30% de la planta con un 9.4% de proteína y un 18.1% de fibra. Los valores indican que el maíz es un forraje verde de alto valor nutritivo como fuente de energía, dada por los carbohidratos. Son deseables variedades de maíz con bajos porcentajes de tallo y altos porcentajes de hoja y elote por sus contenidos de carbohidratos y proteínas. En adición, la literatura muestra que el forraje verde tiene un alto valor en vitamina A (Reyes, 1990).

### **3.2.2. Composición de los subproductos.**

Los subproductos de la planta de maíz son los rastrojos, los cuales comprenden las hojas y tallos de las plantas que permanecen una vez terminado el crecimiento vegetativo y después de haber cosechado las semillas o frutos. Su composición química está determinada principalmente por la relación hoja:tallo y por la especie o familia de la planta.

Se considera que los rastrojos son forrajes de bajo valor nutritivo, por los altos niveles de fibra y lignina y bajo contenido de carbohidratos solubles, proteína digestible, calcio, fósforo, vitaminas y nutrientes digestibles totales (NDT; Reyes, 1990).

Reyes (1990), señala que los forrajes toscos, donde se incluyen las pajas y rastrojos, son aquellos ingredientes que contienen más de 20% de fibra cruda y menos de 2.5 Mcal de energía metabolizable (EM) por kilogramos de materia seca (MS). A pesar de

lo anterior, por el bajo costo y la alta disponibilidad, las pajas y rastrojos deben considerarse como un recurso alimenticio valioso para la producción ganadera, especialmente durante las épocas de sequía.

### **3.2.3. Importancia del ensilado de maíz.**

El pastoreo, junto con el ensilado y henificado, representan los métodos más comunes para utilizar los forrajes en la alimentación de rumiantes. El pastoreo es el método más económico, pero tiene ciertas limitantes en algunos cultivos forrajeros de verano bajo irrigación, como sorgo y maíz, que tienen un alto potencial de producción forrajera; sin embargo, debido a la forma erguida de crecimiento y baja resistencia al pisoteo, su aprovechamiento generalmente es ineficiente bajo condiciones de pastoreo; además, debido a sus características morfológicas y época de crecimiento, no son propicios para el henificado. El ensilado de este tipo de plantas forrajeras es el método más común y práctico de utilizarlas en la alimentación de bovinos. Algunas de las ventajas que se obtienen con el ensilado son las de disponer de forraje succulento en cualquier época del año, que no se ve afectado por fenómenos ambientales, una vez ensilado y conserva hasta un 90% de la calidad de nutrientes (Peñuñuri *et al.*, 1980).

Un cultivo de maíz para ensilar, es un conjunto de mazorcas, hojas, tallos y totomoxtle. La mazorca contiene el grano, el cual es de alto valor nutritivo para los animales, mientras que el resto de la planta puede asemejarse al de un forraje de mediana a baja calidad. La mazorca es el componente de la planta de mayor valor nutritivo debido a que el grano, constituido fundamentalmente por almidón, es altamente utilizado por los rumiantes. Se estima que los animales digieren más del 90% de los granos, aunque hay variaciones debidas al procesamiento y madurez del cultivo. El otro componente de la mazorca es el olote que representa aproximadamente el 17% del peso de la misma. El resto de la planta de maíz está formada por totomoxtle, hojas y tallo, que representan entre el 45-50% de hojas, 40-45% de tallos y el resto (10-15%) por el totomoxtle. Estos componentes son todos de mediana a baja, o muy baja, calidad. Por ejemplo, las hojas que incluyen la lámina y vaina, tiene una calidad similar al totomoxtle. Cuando este material se expone a 24 horas de degradación en el rumen,

que es el tiempo en que los ensilados son retenidos, se observa que solamente se degrada alrededor de un 45% (Di-Marco y Aello, 2003).

La siembra adecuada del maíz constituye uno de pilares fundamentales para aumentar la producción del cultivo, siendo esta situación más evidente en cultivos de alta productividad. La mayor o menor regularidad en la distribución espacial de las plantas, puede generar diferencias de rendimiento entre lotes con igual tipo y población de maíz, dado que modifica su tamaño y/o tasa de crecimiento, pudiendo reducir el rendimiento potencial del cultivo. Estudios realizados en Estados Unidos sobre el efecto de la variabilidad en la distancia entre plantas sobre el rendimiento, indican que es posible perder 150 kg de maíz por hectárea por cada 2.5 centímetros de incremento en el desvío estándar de la distancia entre las plantas (Uhart *et al.*, 1999; Hooekstra *et al.*, 1985; Nielsen, 1993).

El maíz amarillo es mejor materia prima para el ensilado, pues es más rico en azúcares solubles que lo hace más apetecible, además presentan alto contenido de carotenos en el grano, que permite obtener leche con mayor contenido de vitamina A. El maíz forrajero en riego, produce alrededor de 80 ton ha<sup>-1</sup> de forraje verde en promedio, con un rango entre 24 y 35% de materia seca, en función de las características de la variedad y cuando se corta en la etapa adecuada para ensilado, aunque con un manejo adecuado se pueden obtener producciones mayores (SDA, 2005).

#### **3.2.4. Calidad nutritiva del maíz como forraje.**

En algunas regiones de México, no existen datos de la interacción de híbridos y estados de madurez en producción y calidad nutricional del forraje, ni se dispone de información para determinar el momento óptimo de cosecha del maíz forrajero (Núñez *et al.*, 2005).

Los parámetros útiles para un buen forraje de maíz son: proteína cruda, contenido de fibra, materia seca digestible total, nutrimentos digestibles totales y bajo contenido de lignina, en tanto que el germoplasma del maíz forrajero debería presentar crecimiento

rápido, resistencia a enfermedades foliares, tolerancia a siembras en altas densidades y alta capacidad de producción de biomasa (Paliwal, 2001a).

El estado de madurez de la planta de maíz para ensilar es clave, ya que de esta dependerá su calidad, situación difícil de controlar, por lo que es preferible contar con híbridos que posean la característica de permanecer verdes, que le confiere la propiedad de ser más plásticos con respecto al momento de cosecha, aunque en la actualidad la superficie sembrada para ensilado se incrementó en forma explosiva y los demandantes de este tipo de maíz, los productores de leche, han mejorado sus técnicas de producción y pueden aprovechar al máximo las ventajas que poseen los híbridos seleccionados para ensilar (Bertoia, 2004).

La planta de maíz se caracteriza por tener alto contenido de carbohidratos solubles en hojas y tallo; que, a medida que avanza la madurez, se traslocan hacia la mazorca y se depositan bajo forma de carbohidratos de reserva como el almidón. A su vez, en el resto de la planta se producen cambios asociados a la madurez, que vuelven de más baja digestibilidad el forraje (desarrollo de la pared celular y lignificación de tallos y hojas). La digestibilidad y contenido de energía de la planta entera dependen del contenido de grano y la digestibilidad del resto de la planta. El logro de un ensilado de buena calidad es un compromiso entre el contenido en grano de la planta y la calidad del forraje verde, de manera que lo que se gana en calidad por mayor contenido en grano no se pierda porque el resto de la planta se transforma en un forraje indigestible. Los maíces de ciclo corto y medio tienen mejor relación grano:planta que los de ciclo largo; sin embargo, los altos rendimientos en grano no están correlacionados con alta calidad del forraje (Elizalde *et al.*, 1993).

### **3.2.5. Calidad proteica del maíz.**

No existe mayor información sobre el uso del maíz con proteínas de calidad como cultivo forrajero; lo que tal vez pudiera tener ventajas para hacer ensilados para el ganado lechero. El ensilado de mazorcas verdes de maíz con proteínas de calidad se



está difundiendo en los países del norte de Europa donde el maíz difícilmente llega a la madurez (Paliwal, 2001b).

Martínez *et al.* (2004), observaron que el contenido de proteína cruda en híbridos de maíz varía de 7.7 a 9.2%; mientras que el contenido de proteína digestible fue de 3.2 a 4.7 %. De los híbridos estudiados, los de mayor contenido de proteína en el forraje fueron Pantera, Gilsa-120, Tromba, C-526 y 30G40 (más de 9% de proteína cruda y más de 4% de proteína digestible). Además, observaron que los contenidos de proteína cruda y digestible se asociaron negativamente con el rendimiento de grano y forraje, a excepción de Pantera y 30G40; lo anterior, indica que no obstante que existen maíces con alto rendimiento de forraje y grano, es difícil encontrar híbridos que además muestren alta calidad de forraje, ya que dicha relación es generalmente inconsistente a través de ambientes; por lo tanto, el fitomejorador deberá decidir si selecciona por alto rendimiento de forraje o por la mejor calidad del mismo, con base en los valores nutritivos y energéticos, o bien, aprovechar híbridos sobresalientes para la formación de nuevas poblaciones con características productivas de grano, forraje y con mejor calidad de éste último.

Núñez *et al.*, (2005), realizaron estudios sobre calidad de maíces para forraje y observaron que todos los híbridos estudiados tuvieron concentraciones similares de proteína cruda, con un promedio de 8.7%; fibra detergente neutro de 57.3% y una digestibilidad del 67.7%.

En Illinois, USA, han trabajado en mejoramiento genético para proteína en cantidad y calidad, a través de genes mutantes tales como *opaco-2(o2)*, *opaco-6(o6)*, *opaco-7(o7)*, *floury-2(fl2)*, *floury-3(fl3)*, *De-B30*, *mucronado(Mc)*, que afectan la deposición y el nivel de zeína en el endospermo, reduciéndola e incrementando el gluten, albúmina y globulina. Además, los genes *o2* y *fl2* convierten el maíz normal a genotipos con alto contenido de lisina y triptófano, mejorando así, la calidad de proteína y valor nutritivo del grano de maíz. Sin embargo, un problema en estos programas de mejoramiento, es que el rendimiento de grano y la calidad y cantidad de proteína presentan una

correlación negativa, lo que incrementa la dificultad de seleccionar plantas de maíz con una favorable combinación de genes que afecten ambos caracteres (Lorenzoni y Motto, 1985; Duvick, 1985; Brandolini y Salamini, 1985; Singh, 1985).

La transferencia del gen *o2* al maíz normal fue relativamente simple; esta transferencia se llevó a cabo cruzando maíz normal con mutante *opaco-2* y seleccionando fenotípicamente granos opacos. El maíz *opaco-2* mostró un incremento significativo en el contenido de lisina y triptófano del endospermo y, por lo tanto, mejoró la calidad nutricional. Sin embargo, el gen *o2* trajo consigo varias deficiencias fenotípicas inherentes: textura blanda del endospermo y pobre apariencia opaca del grano; además, una mayor susceptibilidad a hongos de pudrición de la mazorca y daño de insectos en el campo y en el almacenamiento, un pericarpio más grueso y baja germinación de semilla y, sobre todo, rendimientos más pobres (Paliwal, 2001a).

La planta de maíz posee un contenido proteico relativamente bajo, en comparación con otras gramíneas y cultivos forrajeros. En general, los valores oscilan entre 8 y 10% en la MS y los cambios que se suceden en el contenido de proteína durante el proceso del ensilado son pequeños (Pasturas América, 2003).

De los componentes de la planta en base seca, el grano es el que tiene el porcentaje más alto de proteína (12.3%) y el tallo y olote el menor (4.9% y 5%, respectivamente), mientras que la hoja tiene 8.4% (Peñuñuri *et al.*, 1980).

El proceso de ensilado *per se* no le agrega valor al conjunto, por lo contrario, en el proceso siempre se pierde un poco de lo que se ensila. La digestibilidad de una planta de maíz antes de ensilar y luego de ensilada es similar, difiere en la cantidad de fracción soluble, la cual en el ensilado es menor, debido a la pérdida de hidratos de carbono solubles y proteínas. Esto hace que la digestibilidad del ensilado sea al menos 10 a 15% menor que el de la planta antes de ser ensilada, dependiendo del contenido de materia seca (MS) del cultivo al momento de ensilar. Una regla general es que, a menor contenido de MS, aumentan las pérdidas, por eso se recomienda cosechar a un contenido de MS entre 30 a 35% (Di Marco y Aello, 2003).

Las pajas que contienen sólo 3 a 4% de proteína cruda muestran un coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína muy bajo y, en algunas ocasiones, puede llegar a ser negativo, debido a que el nitrógeno metabólico excretado es más abundante que el nitrógeno absorbido. Los rumiantes pueden digerir una gran parte (53 a 76%) de la proteína cruda y de la fibra cruda (40 a 50%) de las pajas. Esto último es de importancia, ya que la fibra cruda llega a constituir 35 a 45% de la materia seca de las pajas y rastrojos (Reyes, 1990).

### **3.2.6. Digestibilidad y fibra.**

El maíz forrajero, conservado como ensilado es un componente de alta energía para las dietas de rumiantes (Lundvall *et al.*, 1991). La digestibilidad es una característica importante de los forrajes, incluyendo maíz forrajero. La digestibilidad del forraje afecta el consumo animal, tasa de crecimiento y producción de leche. Los productores de maíz forrajero usualmente aconsejan plantas híbridas con alto potencial de rendimiento de grano, porque el grano es altamente digestible. El rendimiento y calidad del forraje de maíz, sin embargo, pueden ser sacrificados cuando se tiene mayor énfasis en alta producción de grano, porque la cantidad de grano representa cerca de la mitad del total de rendimiento de la materia seca cosechada (Irlbeck *et al.*, 1993), pero a la vez el contenido de grano, es una de las características principales de los híbridos de maíz asociados con el valor energético del forraje (Allen *et al.*, 1991).

No se han encontrado diferencias de calidad de mazorca entre maíces. Una situación opuesta aparece cuando las evaluaciones se realizan en la caña:hoja. Es de esperarse que los hidratos de carbono estructurales (Celulosa y Hemicelulosa) y la Lignina, presentes en la fracción vegetativa, estén estrechamente correlacionados unos con otros. La Fibra Detergente Neutra (FDN) está compuesta de hemicelulosa, celulosa y lignina; la Fibra Detergente Ácida (FDA) incluye celulosa y lignina. La celulosa y hemicelulosa de los forrajes son completamente digestibles, pero la lignina es casi indigerible y su presencia puede inhibir total o parcialmente la digestión de los otros constituyentes orgánicos. Entonces, que la digestibilidad sea afectada por la variación

en la concentración de lignina y por la asociación de lignina con celulosa y hemicelulosa (Bertoia, 2004).

Según Di Marco y Aello (2003), es muy poco lo que se puede lograr en mejorar la digestibilidad de la MS del ensilado a través de la calidad del resto de la planta (hojas, tallos y totomoxtle), ya que en la medida que los híbridos han sido seleccionados por características agronómicas asociadas al rendimiento de grano, las hojas y tallos desarrollaron tejidos resistentes a la degradación ruminal. Por lo tanto, se deben seleccionar los híbridos y realizar prácticas de manejo que den alta proporción de mazorca (Mazorca con la parte aérea de la planta) en la planta, lo cual no significa estrictamente mayor producción de grano por hectárea, porque ello también se puede lograr con plantas muy altas y con mediana proporción de mazorcas; también mencionan que el aumento de la densidad, disminuye el peso de la mazorca y aumenta el de hojas y tallos, lo cual no es conveniente para ensilados. Similarmente, han obtenido mejor proporción de mazorca y mayor relación mazorca:tallos, con 50 mil plantas por hectárea con respecto a 80 mil.

En principio, no es suficiente evaluar la concentración de lignina, ya que esta información no explica las diferencias en digestibilidad encontradas entre los maíces. Es necesario conocer cómo se combina la lignina con el resto de los hidratos de carbono estructurales. Se han observado diferencias genéticas significativas entre híbridos para FDA, FDN y proteína cruda (PC). Por efecto de la selección, los híbridos para grano poseen un mayor contenido de FDA, LDA y constituyentes de la pared celular (CPC), y menor digestibilidad *In Vitro* de la materia seca (DIVMS), en comparación a muchas variedades sin proceso de selección para grano. Por lo tanto, se plantea la posibilidad de que la selección para rendimiento de grano y resistencia a acame puede disminuir la calidad del forraje (Bertoia, 2004).

Para identificar poblaciones de maíz con alta calidad forrajera y determinar el grado de asociación entre variables agronómicas y de calidad nutritiva Peña *et al.* (2002), estudiaron 19 poblaciones y seis híbridos, observando que los híbridos tuvieron la mayor MS y producción estimada de leche  $\text{ha}^{-1}$  con 20.3 y 12.5  $\text{t ha}^{-1}$ , respectivamente,

mientras que en poblaciones precoces, con germoplasma de Valles Altos, la mayor calidad nutritiva alcanzó con 49.7, 26.4 y 72.4% de FDN, FDA y DIV, respectivamente. Las variables más correlacionadas con la DIV, fueron días al corte, FDN y FDA con coeficientes de  $-0.74$ ,  $-0.74$  y  $-0.81$ , respectivamente; mientras que, con producción de leche, lo fueron MS, proporción de materia seca de elote y FDN, con coeficientes de 0.78, 0.84 y 0.55, respectivamente.

En la Región Lagunera, se ha observado que existen variaciones importantes en la producción de materia seca por hectárea y en calidad nutricional entre híbridos de maíz para forraje, y la producción de materia seca por hectárea se ha relacionado positivamente con días a la cosecha ( $r= 0.77$ ) y negativamente, con porcentaje de mazorca ( $r= -0.75$ ). Por otra parte, el valor energético del maíz forrajero puede estar asociado negativamente con las concentraciones de fracciones fibrosas ( $r= -0.92$ ) y positivamente con el porcentaje de mazorca ( $r= 0.83$ ). Además, la producción de materia seca por hectárea se puede asociar negativamente con la digestibilidad *in vitro* ( $r= -0.66$ ) y la energía neta de lactancia ( $r= -0.70$ ); (Núñez *et al.*, 2003).

Existe variación en la digestibilidad de los ensilados entre maíces híbridos y pocos investigadores, han evaluado este parámetro entre líneas avanzadas genéticamente, tal y como lo mencionan Lundvall *et al.* (1994), quienes indicaron que existe variación significativa entre líneas o materiales de maíz para digestibilidad *in vitro* de la materia seca y en los componentes de la pared celular y la variación es mayor en tallos cosechados cuando ya están en senescencia. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) varía de 262 a 650 g kg<sup>-1</sup> de materia seca en tallos cosechados en senescencia, de 465 a 727 g kg<sup>-1</sup> de materia seca en tallos cosechados a más temprana edad, y de 580 a 676 g kg<sup>-1</sup> de materia seca de hojas.

También es importante mencionar que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de tallos está más asociada con la concentración de fibra detergente neutra del tallo, con una correlación de  $r= -0.74$  en cortes antes de la senescencia o en elote masoso-lechoso y  $r= -0.82$  en cosechas después del estado masoso-pastoso del elote o en

senescencia de la planta, mientras que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de hoja está más asociada con la concentración de lignina de hoja ( $r = -0.61$ ), pero la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del tallo cosechado antes del estado masoso-lechoso del elote no está asociado con la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la hoja ( $r = 0.31$ ) o la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del tallo cosechado después del estado masoso-pastoso del elote ( $r = 0.40$ ), lo que conlleva a que, para una selección efectiva con el propósito de mejorar la DIVMS del ensilado de maíz, puede requerir un muestreo total cerca de la madurez fisiológica (Lundvall *et al.*, 1994).

La concentración de lignina está usualmente, correlacionada en forma negativa con la digestibilidad de las paredes celulares del forraje y ésta ha sido identificada como la mejor variable independiente para predecir digestibilidad de ensilados de maíz (Zimmer y Wermke, 1986; citados por Lundvall *et al.*, 1994).

Núñez *et al.* (2005), mencionan que la digestibilidad del maíz forrajero depende de que la calidad nutricional de hojas y tallos no disminuyan drásticamente, como para contrarrestar el aumento del contenido y valor nutricional; dado que, la digestibilidad *in vitro* está determinada principalmente por la concentración de fibra detergente neutro ( $r^2 = 0.54$ ). Rivas *et al.* (2005) estudiaron seis genotipos de maíz que fueron cosechados en dos estados de madurez del elote y observaron que la menor fibra detergente neutra (FDN) la presentó el genotipo 41x47 con el 65.68% y la menor fibra detergente ácida (FDA) 47x32 con el 39.08%, 41x47 con 41.75% y criollo con 42.22%, en la cosecha del elote en estado masoso-lechoso. En el estado masoso-pastoso, los valores de FDN (81.43%, en promedio) y FDA (46.42% en promedio) fueron mayores, por lo que se atribuye una menor calidad en este estado.

Los porcentajes de energía metabolizable (EM) del ensilado depende de la digestibilidad *in vivo*. Se ha observado experimentalmente que dicho parámetro está en el rango del 52-55% independientemente del estado de madurez, debido a que al madurar la planta el aumento del contenido de almidón compensa la disminución de la digestibilidad de hojas y tallos. Sin embargo, a un mismo estado de madurez, por

ejemplo de mitad de línea de leche a masoso-pastoso, la digestibilidad aumenta con el contenido de almidón (Di Marco y Aello, 2003).

Para un ensilado de maíz con 25% de almidón es de esperar una concentración de EM de 1.8 a 2.0 Mcal EM/kg MS, la cual es un 30% inferior a la que contiene un alimento de alta calidad con 70-75% de digestibilidad que alcanza a 2,6 Mcal EM/kg MS. Esto indica que el ensilado de maíz no es un recurso de alta concentración energética (Di Marco y Aello, 2003).

El proceso de ensilar causa una pequeña reducción en la digestibilidad de la materia orgánica, debida fundamentalmente a una reducción de los azúcares en el proceso de fermentación, ya que se ha observado en diversos estudios que la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de un forraje fresco varía entre el 72.2 a 75.5%, en cambio la DMO de un forraje ensilado va de 71.2 a 73.0%, observándose una reducción entre el 0.97 a 4.04% (Pasturas América, 2005).

Existen varios trabajos donde se estimó la digestibilidad *in vitro* del maíz al momento de la cosecha y en al ensilado. Los resultados muestran que la digestibilidad en ambos productos está relacionada con el contenido de grano y calidad del tallo. La digestibilidad *in vitro* del tallo o de la planta completa está relacionada positivamente con el consumo, así como el contenido de carbohidratos solubles en la planta completa. Contenidos altos de celulosa y lignina están asociados a menores niveles de consumo en vaca lechera. Se ha observado que forraje en fresco de maíz con mayor contenido de granos (0, 25, 50 y 75% de grano) mejoran el valor nutritivo (6.04, 7.27, 8.73 y 9.63% de Proteína Bruta, respectivamente), el consumo (63, 69, 78 y 82% de DIVMS, respectivamente) y la producción de leche; de igual forma sucede para el ensilado con mayor contenido de grano (0, 25, 50 y 75% de grano) se mejora el valor nutritivo (5.98, 6.98, 8.64 y 9.78% de Proteína Bruta, respectivamente) y el consumo (55, 64, 76 y 83% de DIVMS, respectivamente) (Pasturas América, 2005).

En lo que respecta a mejoramiento genético, existe un gen recesivo conocido como *bm3* que reduce el contenido de lignina en el tallo de maíz. En general los materiales

con este gen, tienden a ser menos vigorosos y con menor producción de materia seca, sin embargo, el nivel de reducción varía en diferentes grupos genéticos de variedades elite de maíz. Con la presencia de *bm3*, se reduce el contenido de lignina (1 – 2 %) e incrementa el contenido de proteína (1 %, Singh, 1985; Brandolini y Salamini, 1985). Dicho de otra forma, el gen *brown mid-rib-3 (bm3)* es conocido por reducir el contenido de lignina del tallo del maíz, lo cual es una característica deseable pero que está asociada con bajo contenido de materia orgánica (Paliwal, 2001a).

En Uruguay las evaluaciones agronómicas se concentran en determinar la producción total de forraje, situación que ha cambiado debido en parte a que hay un incremento significativo de materiales híbridos en el mercado que poseen menor contenido de lignina, lo cual se ve reflejado en un aumento en la digestibilidad de la planta, de tal forma que maíces con el gen *bm3* mostraron 25.5% de hemicelulosa, 21.3% de celulosa, 3.54% de lignina y 67.5% de DIVMS; mientras que maíces normales, mostraron menores valores con 23.7%, 20.5%, 5.68% y 59%, respectivamente, para las mismas variables (Pasturas América, 2005).

Bosch *et al.* (1994), compararon varios híbridos tardíos de germoplasma tropical y templado, concluyeron que la materia seca digestible total depende, principalmente, del rendimiento de mazorcas verdes y en menor medida, del total de producción del resto de la planta y aún menos, de la digestibilidad del resto de la planta. En las poblaciones estudiadas se encontró baja variabilidad genética para la digestibilidad de otras estructuras de la planta, más allá de la mazorca. Esta baja digestibilidad probablemente es causa de su escasa influencia sobre la materia seca digestible total. Un incremento en la digestibilidad del resto de la planta, se podría obtener sin reducir la producción de biomasa, ya que las características de producción y de digestibilidad de éstos no están correlacionadas.

En cambio, Pinter *et al.* (1994), reportan acerca de diferencias en rendimiento entre genotipos tolerantes y genotipos sensibles a la densidad de plantas, si bien no hubo diferencias significativas en el total de nutrimentos digestibles totales. Para aquellas densidades de plantas menores que las requeridas para el máximo de producción de



materia seca, se notaron diferencias significativas en el total de nutrimentos digestibles, tanto en híbridos sensibles como tolerantes.

Astigarraga *et al.* (2003), estudiaron el consumo y digestibilidad de ensilados provenientes de maíces de ciclo medio y largo, en toretes confinados en jaulas de digestibilidad, observando un mayor contenido de materia seca en el material de ciclo medio (DK754) y contenidos de materia orgánica similares, mientras que se observó un mayor contenido de pared celular (FDN, FDA) en el híbrido de ciclo largo (DK821), y un mayor contenido de lignina detergente ácida (LDA) en el ciclo medio. Los consumos de materia seca (748 vs 538 g,  $P < 0.01$ ) y de materia orgánica (651 vs 458 g,  $P < 0.05$ ) fueron mayores en el híbrido de ciclo medio (DK754). No existieron diferencias significativas en la digestibilidad de la materia seca y orgánica, pero existió una tendencia a un mayor valor de digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (FDN; 0.668 vs 0.602,  $P < 0.07$ ).

Estudios en maíces forrajeros como los realizados por Navarro *et al.* (2008), han demostrado que la FDA fluctúa entre 25.4 a 31.0% y la FDN entre 44.8 a 49.0 % de la MS, y que ésta puede verse afectada por el ciclo de producción, ya que, en primavera, la FDA mostró un promedio de 38.49% y la FDN 60.92% de la MS y, en verano la FDA presentó un promedio de 30.69% y la FDN 49.07% de la MS.

### **3.2.7. Momento óptimo de cosecha.**

La línea de leche, es un indicador visual confiable y que en forma práctica, estima en campo la madurez fisiológica en el maíz. La línea de leche es una capa de transición o límite entre la zona sólida y masosa, que se visualiza durante el proceso de maduración del endospermo. Dicha línea y su localización, se pueden observar fácilmente en el grano, al hacer un corte transversal cuando la mazorca está en formación; en estas condiciones, es posible observar su desplazamiento de la parte superior (corona), hacia la parte inferior del grano y su desaparición cuando se alcanza la madurez fisiológica, dando paso a la formación de la capa negra (Reyes, 1990).

Según SDA (2005), el momento oportuno para ensilar el maíz es cuando se encuentra en etapa de grano a 2/3 de masa y 1/3 de leche, o bien, cuando el contenido de humedad general de la planta es del 70%, lo cual se presenta entre los 110 y 130 días después de la siembra, en función del ciclo vegetativo de la variedad utilizada (precoz, intermedia o tardía), la realización del corte para ensilar antes o después de esta etapa, genera problemas al momento del ensilado que reducen la calidad del ensilado.

Hay aspectos que deben considerarse al momento de la cosecha; por ejemplo, Núñez *et al.* (2005) observaron que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca aumenta conforme se cosecha en un estado avanzado de madurez, con el inconveniente de que el aumento del contenido de materia seca del forraje es una limitante para cosechar a estados de madurez de 1/3 o más de avance de la línea de leche en el grano. Al respecto, Harrison y Jonson (1998), recomiendan cosechar la planta de maíz entre un 28 a 35 % de materia seca, para promover una buena fermentación durante el proceso de ensilado de maíz. Por su parte Crookston y Kurle (1998) indican que 35 a 40% es el contenido adecuado de materia seca para ensilado de maíz; por tanto, se considera que un estado de madurez de ¼ de avance de línea de leche, permite la producción de forraje con mayor digestibilidad *in vitro* y porcentaje de materia seca apropiado para fermentación idónea durante el proceso de ensilado.

Con el avance del estado de madurez, hay un incremento en el contenido de materia seca (MS). Este hecho tiene consecuencia en reducción del proceso de fermentación en el forraje ensilado. Varios autores han registrado una reducción en el contenido de ácidos producidos a medida que aumenta el contenido de MS con la madurez de la planta; de tal forma que, a medida que aumenta la MS, la planta muestra mayor capacidad de poder buffer (Pasturas América, 2005).

### **3.2.8. Rendimiento de forraje verde y seco.**

Núñez *et al.* (2005), obtuvieron resultados de rendimientos promedio de forraje verde y seco en tres estados de madurez de 57.8 t ha<sup>-1</sup> y 20 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El contenido de materia seca a la cosecha fue de 35.4 %. Además, observaron que con

respecto al efecto del estado de madurez, la producción de forraje verde por hectárea disminuyó de 71.3 a 57.1 y 45 t ha<sup>-1</sup>, para los estados masoso-lechoso, avance de 1/4 y 1/3 de la línea de leche en el grano a la cosecha, respectivamente. Sin embargo, la producción de forraje seco por hectárea fue similar (20 t ha<sup>-1</sup>) para los estados de madurez evaluados. El aumento en el contenido de materia seca se debe, tanto a la pérdida de humedad de las plantas al avanzar el estado de madurez, como al mayor contenido de grano, ya que este contiene menor humedad respecto a hojas y tallos.

Reyes (1990) estudió la densidad de siembra de 45, 60, 75, 90 y 105 mil plantas ha<sup>-1</sup>, en la cruz de maíz, variedad Ratón (Criollo de clima cálido seco), con V-524 (variedad de clima cálido húmedo) evaluando dos generaciones (F1 y F2). La producción de forraje verde fue de 31.81, 36.57, 37.38, 38.46 y 37.84 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente para las cinco densidades, mientras que para grano seco y rastrojo se mostró un aumento lineal hasta cierto punto, de tal forma que a la mayor densidad (105 mil plantas ha<sup>-1</sup>) disminuyó el rendimiento para todos los componentes y para las dos generaciones y, en forma general, los rendimientos para todos los componentes fueron mayores para la generación F2. La relación promedio forraje verde/grano seco, fue de 35.36/5.05=7, por otra parte, la relación promedio forraje verde/rastrojo, fue de 35.36/8.35=4.23 y, la relación promedio rastrojo/grano fue de 8.35/5.05=1.65; de tal forma que en híbridos de maíz, existe variabilidad fenológica, fenotípica y productiva de grano y forraje (Martínez *et al.*, 2004).

Enríquez, *et al.* (2003), realizaron estudios en 14 genotipos (10 QPM y 4 normales) con 70,000 plantas ha<sup>-1</sup> y 160-60-60 de fertilización, obteniendo los siguientes resultados; la variedad Pioneer 3028 W alcanzó los más altos rendimientos de materia verde y seca con 37.82 y 13.34 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre los materiales QPM sobresalen: H-553 C, H-551 C, CML176XCML186XCML142, y la variedad Tornado de maíz normal, que rebasaron las 31 y 10 t ha<sup>-1</sup> de materia verde y seca, respectivamente. La proporción de hoja, tallo y mazorca tuvieron valores promedio de 17, 33 y 50%, respectivamente, con valores semejantes entre genotipos, con excepción de H -512 que mostró una alta proporción de tallos (45%). En cambio, Navarro *et al.* (2008), en maíces forrajeros QPM, observó rendimientos más altos, de 29.2 a 14.49 t MS ha<sup>-1</sup>, y 79.31 a 47.32 t MV

ha<sup>-1</sup>, y así mismo que el rendimiento de FV fluctuó entre 70.5 a 79.9 t ha<sup>-1</sup>, y para rendimiento de MS fue entre 26.2 a 29.2 t ha<sup>-1</sup>.

Estudios en maíz indican, que la producción de hojas y tallos se detiene primero que la producción de grano, por lo cual el porcentaje de mazorca (contenido de grano) aumenta con el avance del estado de madurez, parámetro que es importante debido a que, el grano es la parte energética del maíz y a que tiene un efecto de dilución de la fibra detergente neutra, la cual contiene las sustancias menos digestibles del forraje. La concentración de fibra detergente neutra aumenta principalmente en hojas y tallos y su digestibilidad disminuye al avanzar el estado de madurez (Jonson *et al.*, 1999).

Para rendimiento de MS del ensilado (RMSEN) Rivas *et al.*, (2005) observaron un rendimiento promedio de 14.05 t ha<sup>-1</sup> y un rendimiento de ensilado en fresco promedio de 54.6 t ha<sup>-1</sup>.

### **3.2.9. Componentes morfológicos.**

En el forraje verde de la planta de maíz (planta entera) para ensilado o en seco como granos y subproductos como rastrojo, hojas y totomoxtle, se encuentran como estructuras en diferentes proporciones, que afectan los rendimientos de materia seca y la calidad de la misma; para ello Rivas *et al.* (2005), observaron que existen diferencias significativas entre genotipos para estas variables, para elote en estado masoso-lechoso los rendimientos de materia verde de hoja (RMVH) fueron de 10.8 t ha<sup>-1</sup>; mientras que, los rendimientos de materia verde de tallo (RMVT) fueron en promedio, de 54.1 t ha<sup>-1</sup> y para el rendimiento de materia verde del elote (RMVEL), fue de 26.1 t ha<sup>-1</sup>; en cambio para la cosecha con el elote en estado masoso-pastoso, los rendimientos fueron en promedio de 4.5, 37.6 y 19.1 t ha<sup>-1</sup> para RMVH, RMVT y RMVEL, respectivamente.

Otro estudio realizado en componentes morfológicos lo realizaron Tinoco y Pérez (2005), observaron que existe variabilidad genética en genotipos para componentes

morfológicos, siendo H-520, VS-536 y Nutria los que presentaron los mejores rendimientos de grano, con un 49 a 54% de grano. En cambio, en todos los materiales mostraron entre 18 a 20% de hoja y 29 a 33% en tallos; de tal forma que, se observó variación entre variedades como las estimadas por Peñuñuri *et al.* (1980) en la variedad T-66. Los tallos presentaron el porcentaje más alto (38.6%), seguida de las hojas (22.4%), envoltura de mazorca (15.6%), grano (15.1%) y en menor porcentaje el olote 8.2%.

Otro aspecto importante dentro de los componentes morfológicos de la materia seca de la planta de maíz es el número de mazorcas por planta, y para ver cómo está influenciada su producción, Espinoza *et al.* (2004) estudiaron el ahijamiento y la densidad de población (30,000 y 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>) para este carácter. Observaron que el número de hijos productores por planta y el número de mazorcas en el tallo principal, disminuyeron al incrementar la densidad. El área foliar total por planta se redujo debido a un decremento en el número de hijos. Al incrementar el número de hijos en las poblaciones, se redujo el área foliar del tallo principal, pero se incrementó el área foliar por planta y el índice de área foliar.

### 3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.3.1. Localización.

En esta fase de campo, los trabajos de investigación se realizaron en dos ambientes contrastantes, ya que los materiales utilizados tienen diferentes orígenes. Para ello se consideraron dos regiones: Región Subtropical (Ahuacatlán, Nayarit, ubicada a 21° 06' LN y 104° 36' LO a una altura de 579 msnm) y Región de Valles Altos (San Salvador, Puebla ubicado a 19° 08' LN, 97° 38' LO, a una altura 2416 msnm; García, 1988).

#### 3.3.2. Material genético.

Se utilizaron 12 híbridos trilineales (Cuadro 12) resultado de la cruce de cruza simples con una línea elite sobresaliente por aptitud forrajera, identificada en la evaluación de 44 líneas, cuyos resultados se exponen en el Capítulo I de esta tesis, los cuales se distribuyeron a la azar en franjas de 4 surcos a 0.8 m y 200 m de largo (Fig. 4).

Cuadro 12. Híbridos trilineales y testigos utilizados como tratamientos

HIBRIDO	GENEALOGIA
HT-1	(CL11 X CL12) x CL7SFr
HT-2	(CL4 X CL1) x CL7SFr
HT-3	(CMS 929083) x CL7SFr
HT-4	(CMS 929001) x CL7SFr
HT-5	(CL22 X CL23) x CL7SFr
HT-6	(CL12 X CL13) x CL7SFr
HT-7	(CL13 X CL1) x CL7SFr
HT-8	(CL21 X CL13) x CL7SFr
HT-9	(AE5/F2-54-7 X 1920F2F46-10-3-7) x CL7SFr
HT-10	(AE5/F2-54-7 X (56-1 X KKUA) -1-20) x CL7SFr
HT-11	(1112F2FHC-4-5-2 X 1920F2F46-10-3-2) x CL7SFr
HT-12	(CML-241-2 X 1920F2F46-10-3-2) x CL7SFr
H-13 (Testigo)	Criollo (Puebla) o Híbrido comercial (Nayarit)
H-14 (Testigo)	HS-2

### **3.3.3. Conducción del experimento.**

#### **3.3.3.1. Conducción del trabajo en campo.**

##### **3.3.3.1.1. Región Subtropical. Uzeta, Ahuacatlán, Nayarit.**

En el ciclo de otoño-invierno de 2006-2007, se estableció un ensayo en esta localidad subtropical para la evaluación forrajera de 12 híbridos trilineales.

Los genotipos se sembraron en parcelas de cuatro surcos de 75 cm de ancho y 80 m de distancia con dos repeticiones, depositando una semilla cada 15 cm, a una profundidad de 7 cm.

Se aplicó fertilizante a una dosis de 160 – 60 –00

Los materiales se cosecharon cuando el elote mostró el estado fisiológico de  $\frac{3}{4}$  de línea de leche, y se tomaron al azar 10 plantas de un surco, a las cuales se les midió: altura de planta, número de hojas, se pesaron y posteriormente se picaron con una desintegradora de forraje para obtener trozos de 3 a 5 cm, luego se depositó en una bolsa negra de polietileno.

Al mes y medio, se pesó el ensilado y se extrajo una submuestra de 0.3 kg, se colocó en una bolsa de papel de estraza y llevó a estufa de secado a 55° C, por 72 horas para determinar materia seca.

##### **3.3.3.1.2. Región Valles Altos. San Salvador El Seco, Puebla.**

En el ciclo primavera-verano de 2007, se sembraron los 12 híbridos trilineales en esta localidad ubicada en la región en Valles Altos Centrales para su evaluación forrajera.

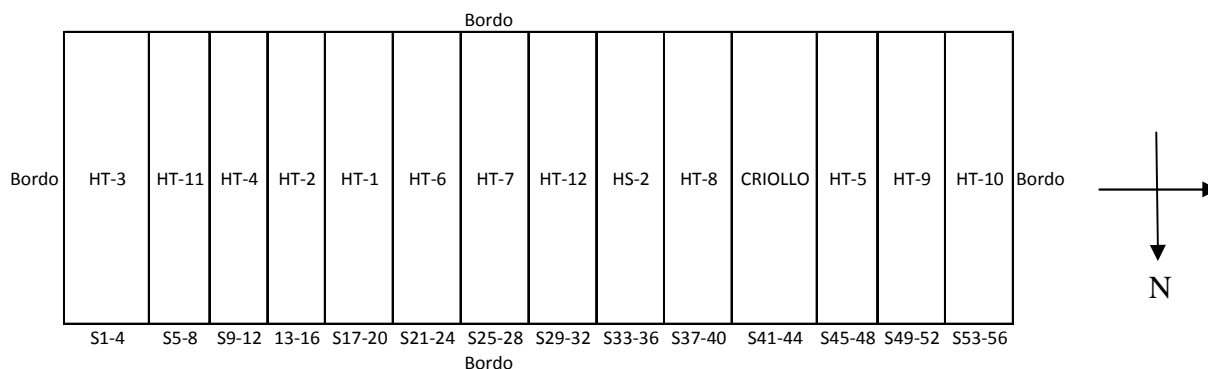
La siembra se realizó en el ciclo de primavera-verano de 2007, en franjas de cuatro surcos por 200 metros de largo para cada híbrido (Fig. 3), los surcos presentaron un promedio de 80 cm de ancho, se depositó una semilla cada 12 cm a una profundidad de 7 cm, con el uso de una sembradora de precisión neumática.

Se aplicó fertilizante a una dosis de 160 – 60 –00, aplicando todo el fósforo y una tercera parte del nitrógeno a la siembra y el resto del nitrógeno se aplicó en la primera escarda y segunda labor (aterrado o aporque).

Se realizaron controles de maleza con herbicidas preemergentes y postemergentes.

La cosecha se llevó a cabo con diferencias de tiempo de acuerdo a la maduración del elote de cada híbrido, considerando el estado fisiológico de 1/3 de línea de leche o estado masoso-lechoso, se tomaron al azar 10 plantas en tres muestreos de los surcos centrales de cada franja, a las cuales se les midió altura y número de hojas; se pesaron y picaron con desintegradora de forraje, en trozos de 3 a 5 cm, que se depositaron en una bolsa negra de polietileno, se eliminó el aire para alcanzar las condiciones de anaerobiosis y se dejó fermentar por un periodo de 45 días al final del cual se obtuvo un ensilado; se pesó la bolsa con ensilado, se tomó una submuestra de 200 g, la cual se depositó en bolsas de papel de estraza que se llevó a estufa de secado de aire forzado a 55°C durante 72 h, posteriormente se determinó la materia seca.

Figura 4. Distribución en campo de híbridos trilineales evaluados





### **3.3.4. Variables estudiadas.**

#### **3.3.4.1. Variables medidas en campo.**

**1. Rendimiento de materia verde (RMV).** Para medir esta variable se cosecharon diez plantas de cada parcela, las cuales se pesaron completas y se registró su peso.

#### **2. Rendimiento de materia seca y componentes morfológicos.**

##### **2.1. Rendimiento de materia seca de la planta completa (RMS).**

Para medir esta variable se cosecharon treinta plantas, de las cuales diez se pesaron completas, se picaron en un molino-picadora de martillos con navajas y se tomó una submuestra de 300 g, la cual se llevó a la estufa para determinarle la materia seca y se pesó en una balanza CS200 marca Ohaus con una aproximación a 0.1 g.

De las otras veinte plantas, diez se separaron en hoja, tallo y elote y cada fracción se molió en forma separada de la cual se tomó una submuestra de 200 g de cada una y se llevaron a estufa de secado de aire forzado a 55°C por 72 horas y se determinó la materia seca, obteniendo los siguientes componentes:

##### **2.1.1. Rendimiento de materia seca de tallo (RMSH).**

##### **2.1.2. Rendimiento de materia seca de elote (RMSE).**

##### **2.1.3. Rendimiento de materia seca de tallo (RMST).**

**3. Rendimiento de materia seca de ensilado (RMSENS).** Se estimó cosechando diez plantas completas de cada parcela, las cuales se picaron en un molino de martillos con navajas para después introducir el material picado en una bolsa negra doble, la cual se selló y se le hicieron tres pequeños orificios en la base de la misma para colocarlas en el suelo hasta dos meses en que se dio la fermentación. Una vez fermentada la materia verde se abrieron las bolsas, se pesaron y se extrajo una submuestra de 200 g que se llevaron a una estufa a 55°C por 72 horas para determinar la materia seca.

**4. Relación hoja:planta (H:P).** Se obtuvo dividiendo el peso de la hoja entre el peso de la planta completa.

**5. Relación tallo:planta (T:P).** Se obtuvo dividiendo el peso del tallo entre el peso de la planta completa.

**6. Relación elote:planta (E:P).** Se obtuvo dividiendo el peso del elote entre el peso de la planta completa.

**7. Número de Hojas por planta (No. HOJAS).** Esta variable consistió en contar el número de hojas por cada planta, dato que fue registrado en forma individual para las 10 plantas con competencia completa tomadas al azar, de la unidad experimental.

**8. Número de elotes por planta (No. ELOTES).** Se contó el número de elotes en las 10 plantas seleccionadas al azar.

**9. Altura de planta (AP).** Se realizó midiendo con cinta métrica, desde la base del tallo a la base de inserción de la lámina de la hoja con la vaina de la última hoja en las 10 plantas seleccionadas al azar

**10. Diámetro de tallo (DT).** Se midió en el entrenudo inferior con un vernier digital a las diez plantas seleccionadas al azar.

#### **3.3.4.2. Variables medidas en laboratorio.**

A la materia seca de la submuestra de la planta entera, tallo, hoja, elote y ensilado, se le practicaron en laboratorio las siguientes propiedades:

**1. Proteína cruda o total (PC).** Se utilizó el método de Microkendal, mediante determinación de nitrógeno total.

## 2. Fraccionamiento de fibras de Van Soest.

- a. **Fibra detergente neutra (FDN).** El método consistió en hervir una muestra seca y molida del material estudiado de 0.50 g en una solución buffer (pH 7) de lauril sulfato (detergente neutro), donde se disolvió proteína y grasa, quedando sólo celulosa, hemicelulosa y lignina; durante una hora y después se filtró. El material que permaneció fue la fracción insoluble del detergente neutro, a la que se conoce como FND (Técnica de Van Soest *et al.*, 1991).
  
- b. **Fibra detergente ácida (FDA).** Este es el residuo que quedó luego de someter a la fibra detergente neutro a una solución de detergente ácido (ácido sulfúrico y bromuro de acetil-trimetil-amonio). En este proceso se extrajo la hemicelulosa, de tal forma que la fibra remanente estuvo constituida por celulosa y lignina. Al igual que FND, los resultados se expresan en porcentaje de la materia seca evaluada (Técnica de Van Soest *et al.*, 1991).

### 3.3.5. Análisis de datos.

Los datos obtenidos de las variables medidas en campo y en laboratorio, se analizaron mediante un análisis de varianza, utilizando el modelo estadístico completamente al azar, con diferentes repeticiones, dependiendo de la variable medida:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}.$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable de respuesta.

$\mu$  = Media general.

$G_j$  = Efecto de la Línea al nivel  $i = 1, 2, 3 \dots 44$

$E_{ij}$  = Error experimental.

Para las variables en las que hubo diferencias estadísticas entre tratamientos se realizaron pruebas comparativas de medias, mediante Tukey al 0.05. Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el programa computacional SAS (2007), Ver. 9.0.

### 3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.4.1. Región Subtropical. Uzeta, Ahuacatlán, Nayarit.

##### 3.4.1.1. Rendimiento de materia seca y componentes morfológicos.

###### 3.4.1.1.1. Rendimiento de materia seca de planta completa.

Hubo diferencias significativas entre híbridos, sobresaliendo HT-5, HT-12, HT-4, HT-10, HT-8, HT-6, HT-3 y HT-9, con los mayores valores de rendimiento de materia seca de la planta completa (RMSPLANTA), con 32,821, 28,445, 28,399, 27,665, 26,955, 26,709, 25,522 y 25,040 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a la que le siguieron los híbridos HT-1, y testigo híbrido comercial, HT-7 y HT-2, con 24,564, 24,217, 24,301 y 24,009 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; el menor valor se observó en el híbrido HT-11 con 20,176 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 13).

Los resultados obtenidos muestran valores mayores a los citados por SDA (2005), del orden de 19 a 28 ton ha<sup>-1</sup> de MS y de los reportados por Núñez *et al.* (2005), quienes obtuvieron rendimientos promedios de forraje seco de 20 t ha<sup>-1</sup>. De igual forma Peña *et al.* (2004) obtuvieron RMS en el rango de 21.5 a 22.7 al igual que Gutiérrez *et al.* (2004), quienes observaron valores más bajos, dentro del rango de 22.41 a 25.34 t ha<sup>-1</sup> de MS. En el mismo sentido Nuñez *et al.* (2007) observaron valores de MS más bajos para 21 genotipos comerciales y experimentales de varias casas comerciales que van del orden de 21.64 a 16.21 t ha<sup>-1</sup> de MS.

De acuerdo a la información obtenida en la literatura consultada, los resultados de este trabajo de investigación se ubican en el rango de buenos; lo que puede permitir que de los híbridos estudiados, los más sobresalientes puedan pasar a una fase de validación en parcelas comerciales.

#### **3.4.1.1.2. Rendimiento de materia seca de hoja.**

Los resultados mostraron que para esta variable se obtuvieron diferencias estadísticas entre genotipos, donde los híbridos HT-6, HT-1, HT-5, HT-9, HT-10, HT-8, HT-7 y HT-2, presentaron los valores más altos con 5,716, 5,350, 5,258, 5,081, 5,162, 4,971, 4,963 y 4,844 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a las que siguieron los híbridos HT-4, HT-12 y el testigo híbrido comercial con 4,525, 4,452 y 4,354 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; en cambio, los híbridos HT-3 y HT-11 presentaron los valores más bajos con 4,163 y 4,121 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 13).

Los híbridos con mayor rendimiento de materia seca de hoja, deben considerarse para seleccionarlos por su calidad forrajera, ya que la hoja representa la parte más digestible de la planta, aunque no precisamente aportan valor a un mayor rendimiento.

#### **3.4.1.1.3. Rendimiento de materia seca de elote.**

El rendimiento de materia seca del elote mostró diferencias significativas, los valores más altos los presentaron los híbridos HT-10, HT-8, HT-12, HT-6, HT-1, HT-4 y HT-5, con 8,941, 8,895, 8,619, 8,572, 8,566, 8,498 y 8,486 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a los que siguieron en orden de importancia los híbridos HT-3, HT-9, testigo híbrido comercial, HT-13 y HT-11 con valores de 8,070, 7,719, 7,306, 6,822 y 6,599 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, y el valor más bajo lo presentó el híbridos HT-2 con 6,380 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 13).

Los híbridos con mayor rendimiento de materia seca de elote, deben considerarse en la selección para calidad forrajera, ya que el elote representa la parte más nutritiva de la planta y tiene influencia a un mayor rendimiento de materia seca.

Cuadro 13. Comparación de medias del rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de materia seca de la planta entera, hoja, elote y tallo de trece genotipos de maíz para fines forrajeros. Uzeta, Municipio de Ahuacatlán, Nayarit. 2007.

HIBRIDO	RMS (kg)	RMSH (kg)	RMSE (kg)	RMST (kg)
HT-1	24564 bc	5350 ab	8568 ab	10646 cd
HT-2	24009 bc	4844 ab	6380 b	12786 bcd
HT-3	25522 abc	4163 b	8070 ab	13289 bcd
HT-4	28399 ab	4525 ab	8498 ab	15376 ab
HT-5	32821 a	5258 ab	8486 ab	19077 a
HT-6	26709 abc	5716 a	8572 ab	12421 bcd
HT-7	24301 bc	4963 ab	6822 ab	12516 bcd
HT-8	26955 abc	4971 ab	8895 ab	13089 bcd
HT-9	25040 abc	5081 ab	7719 ab	12240 bcd
HT-10	27665 abc	5162 ab	8941 a	13563 bc
HT-11	20176 c	4121 b	6599 ab	9455 d
HT-12	28445 ab	4452 ab	8619 ab	15375 ab
Testigo Híbrido comercial	24217 bc	4354 ab	7306 ab	12557 bcd
MEDIA	26063	4843	7960	13261
DHS	8137	1524	2553	4084
SIGN	*	*	*	*

Medias con letras diferentes (a,b,c, etc) son estadísticamente diferentes.

RMS = Rendimiento de materia seca de planta completa, RMSH = Rendimiento de materia seca de hoja, RMSE = Rendimiento de materia seca de elote, RMST = Rendimiento de materia seca de tallo, DHS = Diferencia Significativa Honesta, SIGN = Significancia, \* = Significativo ( $P \geq 0.05$ ), NS = No significativo.

#### 3.4.1.1.4. Rendimiento de materia seca de tallo.

Se detectaron diferencias estadísticas para el rendimiento de materia seca de tallo, donde los híbridos HT-5, HT-4, HT-12 y HT-10, mostraron los valores más altos con 19,077, 15,376, 15,375 y 13,563 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a los que le siguieron HT-3,

HT-8, HT-2, testigo híbrido comercial, HT-7, HT-6 y HT-9 con rendimientos de materia seca de tallo de 13,289, 13,089, 12,786, 12,557, 12,516, 12,421 y 12,240 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que los híbridos HT-1 y HT-11, mostraron los valores más bajos con 10,646 y 9,455 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 13).

De los híbridos con mayor rendimiento de tallo como HT-5, HT-4, HT-12 y HT-10, que también presentaron mayor rendimiento de MS, sólo HT-5 y HT-10 presentaron mayor rendimiento de elote y hojas, y por ello deben ser considerados para su validación a nivel comercial, e incluso el HT-4 que presentó alto rendimiento de elote, debe ser considerado para su validación a nivel más amplio, con lo que se puede decir que de los híbridos señalados cumplen con los requisitos para su amplia validación en la región subtropical estudiada, ya que en conjunto todos los componentes morfológicos aportaron valor para el alto rendimiento de materia seca.

### **3.4.2. Región de Valles Altos. San Salvador El Seco, Puebla.**

#### **3.4.2.1. Rendimiento de materia verde, seca y de ensilado.**

##### **3.4.2.1.1. Rendimiento de materia verde de la planta completa.**

El rendimiento de materia verde (RMV) mostró diferencias significativas, donde los híbridos HT-1, HT-2, HT-6, HS-2, HT-12, HT-8 y HT-9 presentaron los valores más altos, con 167,200, 163,763, 159,638, 155,100, 154,550, 152,831 y 146,300 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, seguidos de los híbridos HT-10, HT-11, HT-4, HT-7 y HT-5 con valores de 142,313, 141,488, 139,700, 139,425 y 138,188 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que los híbridos Criollo Milagro de la Noria y el HT-3 observaron los menores valores con 130,213 y 114,675 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 14).

Los resultados obtenidos son mayores a los citados por SDA (2005); del orden de 80 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde, y a los observados por Rivas *et al.* (2005), que fueron estimados en un rango de 104.54 a 66.34 t ha<sup>-1</sup> y que fueron influenciados por la cantidad de tallo



y elote, mientras que Gutiérrez *et al.* (2004), observó valores más bajos dentro del rango de 79.0 a 89.5 t ha<sup>-1</sup> de MV; mientras que Nuñez, *et al.* (2007), observaron valores más bajos en híbridos comerciales y experimentales, desde 71.18 a 57.85 t ha<sup>-1</sup> de MV para la Comarca Lagunera; y sin embargo, Núñez *et al.* (2005), obtuvieron resultados de rendimientos promedios de forraje verde más bajos (57.8 t ha<sup>-1</sup>), mucho menores a los de esta investigación al igual que Reyes (1990), quien obtuvo valores muy bajos de RMV de 31.81, 36.57, 37.38, 38.46 y 37.84 t ha<sup>-1</sup>, bajo cinco densidades de siembra (45, 60, 75, 90 y 105 mil plantas ha<sup>-1</sup>), respectivamente; en tanto que Velázquez (2007), obtuvo rendimientos de 80 a 90 t de MV ha<sup>-1</sup> con una densidad de siembra de 80,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Los resultados obtenidos en esta investigación son mayores al promedio nacional bajo sistema de riego que es de 46.37 t ha (SIAP, 2008).

#### **3.4.2.1.2. Rendimiento de materia seca de la planta completa.**

El rendimiento de materia seca (RMS) presentó diferencias estadísticas; los híbridos HT-12, HT-1, HS-2, HT-6, HT-8, HT-2 y Criollo Milagro de la Noria, presentaron los valores más altos con 47,215, 46,621, 46,169, 45,444, 42,793, 42,742 y 40,995 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, seguidos de HT-7, HT-4 y HT-11 con valores de 37,970, 37,882 y 37,848 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que HT-10, HT-9, HT-5 y HT-3, observaron los menores valores con 36,859, 35,722, 34,754 y 34,250 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 14). Resultados mayores a los citados por SDA (2005), del orden de 19 a 28 ton ha<sup>-1</sup> de MS, mientras que Núñez *et al.* (2005), obtuvieron resultados de rendimientos promedios de forraje seco de 20 t ha<sup>-1</sup>. En otros estudios Núñez *et al.* (2007), observaron valores de MS menores para 21 genotipos comerciales y experimentales de varias casas comerciales, desde 21.64 a 16.21 t ha<sup>-1</sup> de MS. En otro experimento alterno, observaron valores entre 23.95 a 16.46 t ha<sup>-1</sup> de MS para la región de la Comarca Lagunera. Para Valles Altos y zonas de transición. Velázquez (2007), obtuvo valores de RMS de 22 a 28 t ha<sup>-1</sup>, en tanto que Peña *et al.* (2006), obtuvieron valores aún más bajos, de 18.1 y 20.5 t ha<sup>-1</sup> de MS, para siembra temprana y tardía,

respectivamente; en cambio para maíces forrajeros de endospermo normal para trópico, Bonilla (2007), obtuvo valores que van desde 24.9 a 34.8 t de MS ha<sup>-1</sup>.

Cabe destacar que los híbridos con mayor RMV también presentaron altos rendimientos de materia seca, excepto HT-9; aspecto que concuerda con la correlación obtenida de ( $r = 0.84$ ) entre MV y MS.

De todos los híbridos estudiados HT-12, HT-8 y HT-6, comparten altos rendimientos en ambas localidades estudiadas, siendo de los híbridos más prometedores para su validación y eventual aprovechamiento, ya que tienen mayor estabilidad productiva.

#### **3.4.2.1.3. Rendimiento de materia seca de ensilado.**

La variable rendimiento de materia seca de ensilado (RMSENS) presentó diferencias significativas, siendo los híbridos HT-6 y HT-12 los que mostraron los valores más altos con 25,355 y 24,922 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, seguidos de HT-1, HS-2, HT-8, HT-9, HT-7, HT-2, Criollo Milagro de la Noria, HT-10, HT-11, HT-4 y HT-5 con 23,109, 22,709, 21,816, 21,342, 20,778, 20,033, 19,793, 19,134, 18,092, 16,770 y 16,561 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el híbrido HT-3 observó el menor valor con 15,201 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 14).

Los resultados de materia seca del ensilado mostraron amplio rango de RMsens entre los híbridos evaluados, de tal forma que se reconoce que existe una amplia variabilidad proveniente de los progenitores, observaciones similares a las mencionadas por Martínez *et al.* (2004), quienes reportan variabilidad fenológica, fenotípica y productiva de grano y forraje en distintas variedades estudiadas.

Los RMsens observados en este trabajo fueron superiores a los observados por Rivas *et al.*, (2005) con un promedio de 14.05 t ha<sup>-1</sup>.

### **3.4.2.2. Relaciones del rendimiento de materia seca de los componentes morfológicos.**

#### **3.4.2.2.1. Relación hoja:planta.**

La relación hoja:planta (RHP) no mostró diferencias estadísticas entre los genotipos estudiados, sin embargo, existe tendencia hacia una mayor relación en HT-5, HT-7, HT-1 y HT-2, con valores de 0.16, 0.15, 0.14 y 0.14, respectivamente, seguidas de HT-4, HT-8, HT-10 y HT-2 con RHP= 0.13 para los cuatro híbridos; valores que son iguales o superiores a la media (0.13) de todos los híbridos (Cuadro 14).

Los datos obtenidos en esta investigación son menores a los observados por Tinoco y Pérez (2005), quienes observaron valores de entre 0.18 a 0.20, pero semejantes a los obtenidos por Enríquez *et al.* (2004) con un rango de 0.14 al 0.18 de relación hoja:planta; tanto que Peñuñuri *et al.* (1980), obtuvieron valores más altos (0.22).

Al igual que los resultados reportados por Tinoco y Pérez (2005), existe variabilidad genética para componentes morfológicos; en este caso, para la relación hoja:planta. Por tanto, es factible seleccionar aquellos mejores materiales para su validación considerando que presenten las mayores relaciones de hoja:planta, como HT-5, HT-7, HT-1 y HT-2, los cuales podrían tener una mayor digestibilidad y calidad de la materia seca de la planta entera.

#### **3.4.2.2.2. Relación tallo:planta.**

La relación tallo:planta (RTP) mostró diferencias estadísticas entre los genotipos estudiados, HT-1 presentó el valor más alto con 0.63, seguido por HT-2, Criollo Milagro de la Noria, HT-10, HT-5, HS – 2, HT-12, HT-9, HT-7, HT-7, HT-4, HT-8 y HT-11 con valores de 0.60, 0.60, 0.57, 0.56, 0.55, 0.54, 0.54, 0.54, 0.54, 0.52, 0.51 y 0.50, respectivamente, mientras que el híbrido HT-3 mostró la relación más baja con un valor de 0.45 (Cuadro 14).

Los datos obtenidos en esta investigación son superiores a los observados por Tinoco y Pérez (2005), quienes reportan valores de entre 0.29 a 0.33, en cambio; Peñuñuri *et al.* (1980), obtuvieron valores de 0.39, que no superan a los de ésta investigación, así Enríquez *et al.* (2004), que citan valores de 0.16 a 0.24 de relación tallo:planta.

Al igual que los resultados reportados por Tinoco y Pérez (2005), existe variabilidad genética en genotipos para componentes morfológicos para la relación tallo:planta, lo que pone de manifiesto diferencias de comportamiento entre las diferentes cruzas simples y su cruce con el mismo progenitor macho con aptitud forrajera. Pero de acuerdo a los máximos valores que pueden considerarse elevados en comparación con lo obtenido por otros investigadores, podría decirse que pueden influir para lograr altos rendimientos por influencia del tallo; sin embargo se esperaría una menor calidad nutritiva por una menor digestibilidad.

#### **3.4.2.2.3. Relación elote:planta.**

La relación elote:planta (REP) mostró diferencias significativas entre los híbridos estudiados, donde HT-3 presentó el valor más alto con una relación de 0.45 seguido por HT-11, HT-8, HT-6, HT-4, HT-12, HS – 2, Criollo Milagro de la Noria, HT-9, HT-7, HT-18, HT-5 y HT-2 con valores de 0.39, 0.36, 0.36, 0.35, 0.33, 0.32, 0.31, 0.31, 0.31, 0.30, 0.28 y 0.27, respectivamente, mientras que el híbrido HT-1 observó la relación más baja con un valor de 0.23 (Cuadro 14).

Los resultados obtenidos son semejantes a los observados por Rivas *et al.* (2005); quienes reportan valores entre 0.28 a 0.53 con una media de 0.40, de igual manera con los obtenidos por Reta *et al.* (2002) dentro de un rango de 0.45 a 0.50 pero ligeramente menores a los observados por Enríquez *et al.* (2004, quienes obtuvieron un rango de 0.34 a 0.44 elote(grano):planta.

De este análisis se puede destacar que el híbrido HT-1, con mayor valor de la RTP presentó el valor más bajo de REP y viceversa, casi prácticamente coincidiendo para

los demás genotipos; aspecto que concuerda con lo observado en el apartado de correlaciones, donde la RTP mostró una alta correlación negativa ( $r = -0.93$ ) con REP.

Las mayores relaciones elote:planta más altas se deben de tomar como base para seleccionar los híbridos a comercializarse por tener más cantidad de grano, lo que aseguraría mayor cantidad de energía metabolizable para el desarrollo de un buen ensilado, ya que el contenido de grano, es una de las características principales de los híbridos de maíz asociados con el valor energético del forraje (Allen *et al.*, 1991).

Cuadro 14. Comparación de medias de número de hojas, rendimiento de materia verde, seca y ensilado; relaciones de componentes morfológicos y número de elotes de 14 variedades de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

HIBRIDO	RENMV (kg)	RMS (kg)	RENMSSENS (kg)	RHP	RTP	REP
HT-1	167200 a	46621 a	23109 ab	0.14 a	0.63 a	0.23 b
HT-2	163763 ab	42742 abcd	20033 ab	0.14 a	0.60 ab	0.27 ab
HT-3	114675 d	34250 e	15201 b	0.10 a	0.45 b	0.45 a
HT-4	139700 abcd	37882 bcde	16770 ab	0.13 a	0.52 ab	0.35 ab
HT-5	138188 bcd	34754 de	16561 ab	0.16 a	0.56 ab	0.28 ab
HT-6	159638 ab	45444 ab	25355 a	0.11 a	0.54 ab	0.36 ab
HT-7	139425 abcd	37970 bcde	20778 ab	0.15 a	0.54 ab	0.31 ab
HT-8	152831 abc	42793 abc	21816 ab	0.13 a	0.51 ab	0.36 ab
HT-9	146300 abc	35722 cde	21342 ab	0.12 a	0.54 ab	0.31 ab
HT-10	142313 abcd	36859 cde	19134 ab	0.13 a	0.57 ab	0.30 ab
HT-11	141488 abcd	37848 bcde	18092 ab	0.11 a	0.50 ab	0.39 ab
HT-12	154550 abc	47215 a	24922 a	0.13 a	0.54 ab	0.33 ab
Criollo Milagro de la Noria	130213 cd	40995 abcde	19793 ab	0.10 a	0.60 ab	0.31 ab
HS - 2	155100 abc	46169 a	22709 ab	0.13 a	0.55 ab	0.32 ab
Media	146,099	40,519	20,401	0.13	0.55	0.33
DHS	28,418	8,001	9,300	0.08	0.18	0.19
SIGN	*	*	*	NS	*	*

Medias con letras diferentes (a,b,c, etc) son estadísticamente diferentes.

RENMV = Rendimiento de materia verde de la planta completa, RMS = Rendimiento de materia seca de la planta completa, RENMSSENS = Rendimiento de materia seca de ensilado, RHP = Relación hoja:planta, RTP = Relación tallo:planta, REP = Relación elote:planta, DHS = Diferencia Significativa Honesta, SIGN = Significancia, \* = Significativo ( $P \geq 0.05$ ), NS = No significativo.

### **3.4.2.3. Número de hojas por planta.**

La variable número de hojas por planta observó diferencias significativas, el híbrido HT-10 mostró el mayor valor, con 14.9 hojas planta<sup>-1</sup>, seguido de los híbridos, HT-5, HT-9, HT-6, HT-7, HT-4, HT-11, HT-1, HT-2 y HT-12 con 14.4, 14.3, 14.1, 14.1, 13.5, 13.3, 13.3, 13.2 y 13.1 hojas planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que HT-8, HT-3, Criollo Milagro de la Noria y HS-2 presentaron los menores valores, con 13.0, 12.9, 12.5 y 12.3 hojas planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 15).

### **3.4.2.4. Número de elotes por planta.**

No mostró diferencias significativas entre los híbridos estudiados, pero existe una tendencia a que HT-3, HT-6, HT-9, HT-11 y HS – 2 presentan los valores más altos, con 1.33 elotes planta<sup>-1</sup> para los cinco híbridos, seguidos por HT-4 y HT-8 al mostrar ambos 1.17 elotes planta<sup>-1</sup>. Mientras tanto HT-1, HT-2, HT-5, HT-7, HT-10, HT-12 y el Criollo Milagro de la Noria presentan el valor más bajo con 1.0 elotes planta<sup>-1</sup>, siendo menor a la media de todos los híbridos que es 1.14 elotes planta<sup>-1</sup> (Cuadro 15).

### **3.4.2.5. Altura de planta.**

Para altura de planta (AP) se detectaron diferencias significativas (Cuadro 15); donde los híbridos HT-2, HT-1, HT-5 y HS-2 mostraron valores más elevados con 2.84, 2.70, 2.66 y 2.63 m, respectivamente, seguidos por HT-10 y Criollo Milagro de la Noria, con 2.58 y 2.56 m, respectivamente. Los híbridos HT-3, HT-7, HT-11 y HT-8, mostraron los valores más bajos con 2.01, 2.18, 2.27 y 2.32 m, respectivamente.

Las alturas de los híbridos obtenidas en esta investigación son semejantes a las de híbridos comerciales y experimentales (rango de 2.67 a 2.22 m) estudiados por Núñez *et al.* (2007); al igual que a los reportados por Latournerie *et al.* (2001), con resultados entre 2.32 a 2.91 m de altura de planta de maíces bajo diferentes densidades de población (60, 80 y 120 mil). En cambio Velázquez (2007), obtuvo alturas mayores

(entre 2.8 y 3.1 m) en maíces forrajeros, a una densidad de 80,000 plantas ha<sup>-1</sup>; y Montemayor *et al.* (2006), en maíces forrajeros bajo tratamientos de riego, observó valores de 1.56 a 1.72 m de altura de la planta.

### 3.4.2.6. Diámetro de tallo.

En diámetro de tallo (DIAMETRO) hubo diferencias estadísticas, siendo HT-5, HT-6, HT-9 y HT-8, los que mostraron los diámetros mayores con 2.71, 2.68, 2.66 y 2.62 cm, respectivamente, mientras que HT-3 presentó el valor más bajo, con 2.3 cm de diámetro del tallo (Cuadro 15). Los valores del diámetro del tallo observados en esta investigación fueron mayores a los reportados por Montemayor *et al.* (2006), en maíces forrajeros bajo tratamientos de riego, los cuales fueron del orden de 1.97 a 2.12 cm.

Cuadro 15. Comparación de medias de número de hojas, número de elotes, altura y diámetro de tallo de 14 genotipos de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

HIBRIDO	NO. DE HOJAS	NO. ELOTES	ALTURA (m)	DIAMETRO (cm)
HT-1	13.3 abcd	1.00 a	2.70 ab	2.55 ab
HT-2	13.2 abcd	1.00 a	2.84 a	2.65 a
HT-3	12.9 bcd	1.33 a	2.01 g	2.30 b
HT-4	13.5 abcd	1.17 a	2.44 cde	2.50 ab
HT-5	14.4 ab	1.00 a	2.66 abc	2.71 a
HT-6	14.1 abcd	1.33 a	2.42 de	2.68 a
HT-7	14.1 abcd	1.00 a	2.18 fg	2.57 ab
HT-8	13.0 bcd	1.17 a	2.32 ef	2.62 a
HT-9	14.3 abc	1.33 a	2.46 cde	2.66 a
HT-10	14.9 a	1.00 a	2.58 bcd	2.54 ab
HT-11	13.3 abcd	1.33 a	2.27 ef	2.43 ab
HT-12	13.1 abcd	1.00 a	2.44 cde	2.59 ab
Criollo Milagro de la Noria	12.5 cd	1.00 a	2.56 bcd	2.40 ab
HS – 2	12.3 d	1.33 a	2.63 abcd	2.52 ab
Media	13.5	1.14	2.47	2.55
DHS	1.88	0.83	0.2319	0.309
SIGN	*	NS	*	*

Medias con letras diferentes (a, b ,c, etc.) son estadísticamente diferentes, No. Hojas=Número de hojas, DHS=Diferencia significativa honesta, SIGN=Significancia.

### 3.4.2.7. Correlación de las variables estudiadas.

La variable RHP mostró una correlación negativa ( $r = -0.49$ ) con REP; lo que indica que a medida que aumenta la cantidad de hoja en la planta disminuye la cantidad de elotes (Cuadro 16).

La variable RTP mostró una alta correlación negativa ( $r = -0.93$ ) con REP y con NUMELOTES ( $r = -0.52$ ), mientras que observó baja correlación positiva ( $r = 0.36$ ) con la altura de la planta, aspecto que demuestra que a medida que aumenta la proporción de tallo en la planta, disminuye drásticamente la cantidad de elotes en la planta y, en cambio esta proporción de tallo en la planta aumenta cuando se tiene una mayor altura de la misma (Cuadro 16).

La REP presentó una alta correlación positiva ( $r = 0.53$ ) con NUMELOTES y una baja correlación negativa ( $r = -0.36$ ) con RENMV, lo que significa que a medida que aumenta la cantidad de elotes en la planta, se incrementa la proporción de elotes en la misma, pero hay cierta disminución del rendimiento de materia verde, principalmente, por la disminución de la cantidad de tallo y por la cantidad de hojas en la planta (Cuadro 16).

El RMV mostró una correlación positiva alta ( $r = 0.84$ ) con el RENMS y con el RENMSENS ( $r = 0.59$ ), indicando que al tener altos rendimientos de materia verde, se esperan altos rendimientos de materia seca y de ensilado (Cuadro 16), pero no se observaron efectos o influencia del número de elotes (mazorcas) con el RENMS, aspecto que es contrario a lo observado por Núñez *et al.* (2003), quienes encontraron que la producción de materia seca por hectárea está relacionada negativamente con el porcentaje de mazorca ( $r = -0.75$ ).

La variable altura presentó una correlación positiva considerable ( $r = 0.34$ ), con RMS, lo que muestra que la altura tiene cierta influencia en el rendimiento de materia seca al



haber influencia de esta sobre la cantidad de tallo en la planta, con una correlación positiva considerable ( $r = 0.36$ ) con RTP (Cuadro 16).

El diámetro del tallo mostró correlación positiva ( $r = 0.44$ ), con RENMS y con RENMSENS ( $r = 0.42$ ), aspecto que define que, a medida que aumenta el grosor del tallo, se espera un mayor RENMS y por tanto un alto RENMSENS (Cuadro 16).

Cuadro 16. Correlación de variables estudiadas en 14 híbridos trilineales de maíz forrajero. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

Variables	RHP	RTP	REP	NUMELOTES	RENMV	RENMS	RENMSENS	HOJAS	ALTURA	DIAM
RHP	1	0.13	-0.49	-0.18	0.23	0.07	-0.02	-0.03	-0.01	-0.21
RTP	0.13	1	-0.93	-0.52	0.31	0.22	-0.01	0.04	0.36	0.12
REP	-0.49	-0.93	1	0.53	-0.36	-0.22	0.02	-0.02	-0.32	-0.02
NUMELOTES	-0.18	-0.52	0.53	1	-0.18	-0.16	0.15	0.12	-0.25	-0.04
RENMV	0.23	0.31	-0.36	-0.18	1	0.84	0.59	-0.16	0.32	0.5
RENMS	0.07	0.22	-0.22	-0.16	0.84	1	0.64	-0.23	0.34	0.44
RENMSENS	-0.02	-0.01	0.02	0.15	0.59	0.64	1	-0.03	0.14	0.42
HOJAS	-0.03	0.04	-0.02	0.12	-0.16	-0.23	-0.03	1	-0.08	-0.05
ALTURA	-0.01	0.36	-0.32	-0.25	0.32	0.34	0.14	-0.08	1	0.33
DIAM	-0.21	0.12	-0.02	-0.04	0.5	0.44	0.42	-0.05	0.33	1

RENMV = Rendimiento de materia verde de la planta completa, RENMS = Rendimiento de materia seca de la planta completa, RENMSENS = Rendimiento de materia seca de ensilado, RHP = Relación hoja:planta, RTP = Relación tallo:planta, REP = Relación elote:planta, DIAM=Diámetro.

### 3.4.2.8. Calidad nutritiva de los híbridos trilineales.

#### 3.4.2.8.1. Fibra Detergente Acida.

En el cuadro 17 se muestra la media y desviación estándar de la variable FDA, correspondientes al ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 híbridos evaluados en San Salvador El Seco. Se observan diferencias significativas en algunos componentes de la planta de maíz, así como en planta completa y ensilado entre híbridos. Para el caso del ensilado, el mejor resultado se obtuvo en HT-12, al mostrar el menor valor de FDA con el 33.7% de la materia seca, diferente estadísticamente a HT-4 y HT-10, que mostraron los valores más altos de FDA con 48.6 y 48.8% de la materia seca, respectivamente, los demás híbridos comparten literales.

Los valores de FDA obtenidos en esta investigación (rango de 33.73 a 48.83%) fueron ligeramente menores a los observados por Rivas *et al.* (2005), al reportar un rango de 40.66 a 50.76% de FDA para la MS del ensilado. Por su parte Olague *et al.* (2006), observaron valores menores de FDA, con rangos de 28.56 a 28.93%, de tal forma que puede decirse que algunos de éstos como HT-4 y HT-10, mostraron mayores niveles de FDA.

Para Planta Completa, el mejor resultado, lo obtuvo el maíz criollo Milagro de la Noria, al observarse el menor valor de FDA con 25.8% de la materia seca, siguiendo HT-7, con 28.8% de FDA de la materia seca, contrariamente HT-5 mostró el valor más alto de FDA, con 43.1% de la materia seca; para el resto de los híbridos se ubican en el rango de 28.8 a 37.3% (Cuadro 17).

Los datos de FDA obtenidos en esta investigación son mayores a los obtenidos por Navarro *et al.* (2008), quienes reportan que la FDA fluctúa entre 25.4 a 31.0%. De igual forma Peña *et al.* (2004), obtuvieron FDA en el rango de 26.5 a 31.5%, semejantes a los de Peña, *et al.* (2006) con 27.4 y 29.8%, que son valores inferiores a los de esta investigación; en cambio Núñez *et al.* (2007), obtuvieron valores dentro del rango obtenido en este trabajo para híbridos comerciales y experimentales. Los datos que se presentan, muestran que los híbridos estudiados están dentro de las medias o rangos de los que se comercializan.

El HT-7 presentó un valor bajo, el cual puede considerarse como uno de los mejores para validarse con la seguridad de tener una buena calidad nutritiva, porque se esperaría una alta digestibilidad, acorde a lo que menciona Bertoia (2004), en el sentido de que ésta se ve afectada por la variación en la concentración de lignina y por la asociación de lignina con celulosa y hemicelulosa, ya que, a baja FDN menor cantidad de lignina y mayor digestibilidad, toda vez que la concentración de lignina está usualmente, correlacionada en forma negativa con la digestibilidad de las paredes celulares del forraje y esta ha sido identificada como la mejor variable independiente para predecir digestibilidad de ensilados en maíz (Zimmer y Wermke, 1986).

En cuanto al criollo Milagro de la Noria, que presentó una baja FDA puede decirse que como alimento tendría una mejor digestibilidad comparado con todos los híbridos; no obstante considerando lo mencionado por Bertoia (2004), de que la resistencia al acame puede disminuir la calidad del forraje, se esperaría que el criollo, el cual presentó una baja cantidad de fibra, derivaría en una baja resistencia al acame, lo cual sucedió en el campo, siendo el único híbrido que se acamó en un 60% por efecto del viento con lluvia.

Para el caso de los componentes morfológicos; los resultados observados en hoja, todos los híbridos compartieron literales semejantes; es decir, no hubo diferencias significativas.

En los análisis de tallo los mejores resultados compartiendo literales fueron obtenidos por los híbridos HT-9, HT-5, y HT-10, al mostrar los valores más bajos de FDA con 39.1, 39.9 y 40.1% de la materia seca, respectivamente. Contrariamente el HT-7 que fue el que obtuvo el peor resultado al observarse el valor más alto de FDA con 50.9% de la materia seca; los demás genotipos comparten literales (Cuadro 17).

En elote, el mejor resultado de los análisis fue en el maíz Criollo Milagro de la Noria, al mostrar el menor valor de FDA con el 16.7% de la materia seca; no así para HT-5, al presentar el valor más alto de FDA con 36.5% de la materia seca; los demás genotipos comparten algunas literales, habiendo varios grupos de similitud estadística (Cuadro 17).

Cuadro 17. Media y desviación estándar de la variable Fibra Detergente Acida, de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

HIBRIDO	ENSILADO	PLANTA COMPLETA	HOJA	TALLO	ELOTE
	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est
HT-3	39.584±0.275ab	32.662±0.275bcde	34.894±6.108a	41.310±0.289ab	29.560±0.131cde
HT-11	39.556±4.191ab	36.598±2.692abcd	35.232±0.154a	43.704±0.851ab	23.579±1.273fg
HT-4	48.618±1.632a	36.736±2.598abcd	37.856±1.376a	49.049±1.265ab	23.900±0.729fg
HT-2	43.344±2.134ab	37.848±1.439abc	37.350±0.474a	48.116±0.122ab	31969±1.821abcd
HT-1	41.772±1.546ab	34.866±1.924bcd	40.191±0.317a	46.932±4.702ab	28.166±1.138def
HT-6	40.979±0.521ab	37.692±3.087abc	±	±	±
HT-7	37.059±0.069ab	28.836±0.201de	43.301±2.327a	50.888±3.192a	34.927±0.653ab
HT-12	33.739±5.165b	32.668±0.215bcde	36.488±3.385a	45.606±3.192ab	26.967±2.335efg
HS-2	45.052±5.305ab	31.470±3.026cde	35.442±1.906a	43.015±1.964ab	29.175±1.647cde
HT-8	37.803±7.182ab	40.553±1.662ab	38.018±4.269a	44.523±2.505ab	22.474±0.316g
Criollo Milagro de la Noria	34.731±3.659ab	25.831±0.116e	37.884±0.270a	42.065±0.234ab	16.652±1.379h
HT-5	44.194±1.163ab	43.104±1.163a	37.109±1.128a	39.928±0.746b	36.486±0.154a
HT-9	37.181±0.118ab	37.178±2.598abc	35.889±0.411a	39.076±5.353b	31.425±0.949bcd
HT-10	48.83±6.28a	37.326±1.758abc	41.366±4.578a	40.396±0.271b	33.686±1.588abc
Media	40.86	35.24	37.77	44.21	28.31
DHS	14.62	8.20	11.07	10.02	5.04
SIGN	*	*	NS	*	*

Medias con letras diferentes (a, b ,c, etc.) son estadísticamente diferentes, No. Hojas=Número de hojas, DHS=Diferencia significativa honesta, SIGN=Significancia.

### 3.4.2.8.2. Fibra Detergente Neutra.

En el cuadro 18, se muestra la media y desviación estándar de la variable FDN, correspondientes al ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 híbridos evaluados en San Salvador El Seco. Se observan diferencias significativas en algunos componentes, así como en planta completa y ensilado entre los híbridos evaluados;

así, para el caso del ensilado, el mejor resultado lo obtuvieron HT-3 y HT-11, al presentar la menor concentración de FDN con 46.7 y 45.5% de la materia seca, respectivamente, no así HT-9 y HT-10 que mostraron los mayores valores con 94.8 y 95.0% de la materia seca, respectivamente, diferente estadísticamente con HT-4, HT-2, HT-7, HT-5 y el HS-2, compartiendo literales HT-1, HT-6, HT-12, HT-8 y el Criollo Milagro de la Noria.

Los valores observados en esta investigación son mayores a los obtenidos por Rivas *et al.* (2005), quienes observaron una FDN para el ensilado, menor de 40.66% y una media de 46.42%. En cambio Bonilla (2007), obtuvo menores valores de FDN en el rango de 50 a 59% al igual que Olague *et al.* (2006), quienes reportaron FDN de 54.41% a 54.94%, comparables con los de este trabajo. Como es de observarse, en los datos de FDN para HT-9 y HT-10 los valores son muy altos, lo que resulta en la posibilidad que estos híbridos tengan baja digestibilidad y, por lo tanto, su calidad se vea demeritada para un buen aprovechamiento en la alimentación animal.

Para el caso de Planta Completa, el mejor resultado obtenido fue documentado en el criollo Milagro de la Noria, al mostrar la menor cantidad de FDN, con el 55.7% de la materia seca, no así para HT-4 y HT-2 que presentaron los valores más altos de FDN con 70.4 y 71.8% de la materia seca, respectivamente; los demás híbridos forman cuatro grupos de significancia estadística pero con menores porcentajes de FDN (Cuadro 18).

Los datos de esta variable son mayores a los observados por Navarro *et al.* (2008), quienes mostraron que la FDN varía entre 44.8 a 49.0% de la MS y entre 44.8 y 47.3% (Peña, *et al.*, 2006), y que ésta puede verse afectada por el ciclo de producción, ya que estos investigadores determinaron que en primavera la FDN, mostró un valor de 60.92% y en verano, 49.07% de la MS. De igual forma Peña *et al.* (2004), obtuvieron concentraciones de FDN en el rango de 53.0 a 60.6%, semejantes a los de esta investigación; en cambio Núñez *et al.* (2007), observaron resultados de 54.0 a 66.21%

para híbridos comerciales y experimentales que son semejantes a los observados en esta investigación.

Para los estudios realizados en hoja, el mejor valor está dado por HT-4, al presentar el menor valor de FDN de 62.5% de la materia seca; no así para HT-5 y HT-9, que muestran la mayor cantidad de FDN con 68.8% y 68.9% de la materia seca, respectivamente; para los demás híbridos se observan tres grupos con similitud estadística en su comportamiento (Cuadro 18).

En tallo, el mejor resultado se obtuvo con el híbrido HT-12 al mostrar el menor valor de FDN, con 31.4% de la materia seca, en cambio, HT-7 mostró el menor resultado, al presentar el valor más alto de FDN con el 78.8% de la materia seca (Cuadro 18).

Para el componente elote, el mejor resultado lo mostró el Criollo Milagro de la Noria, al presentar la menor cantidad de FDN con el 41.9% de la materia seca; no así para HT-10 y HT-7, que mostraron los valores más altos de FDN con 70 y 69% de la materia seca, respectivamente.

Los menores valores de FDN observados en esta investigación son similares a los reportados por Núñez *et al.* (2005), de 57.3%

Cuadro 18. Media y desviación estándar de la variable Fibra Detergente Neutra, de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

HIBRIDO	ENSILADO	PLANTA COMPLETA	HOJA	TALLO	ELOTE
	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est
HT-3	46.735±0.00e	59.8100±0.148f	63.6210±0.643cde	59.456±5.209ab	49.5230±0.510e
HT-11	45.529±2.793e	68.1550±0.673b	63.9575±1.322bcde	45.785±8.825ab	52.0340±0.792e
HT-4	73.255±0.497bcd	70.4315±0.386a	62.4765±0.280e	44.730±2.676ab	52.4395±0.181e
HT-2	70.646±1.822cd	71.8410±0.859a	64.0440±0.966bcde	63.701±7.922ab	63.0305±0.602bc
HT-1	89.375±2.952abcd	67.3610±0.475b	65.3090±0.751bcde	57.798±10.010ab	59.6360±1.687cd
HT-6	78.076±4.229abcd	68.3150±0.093b	±	±	±
HT-7	70.034±1.275d	64.1385±0.429c	66.3370±1.629abc	72.784±15.585a	69.0430±0.558a
HT-12	83.813±10.061abcd	63.3360±0.150cd	66.9555±.500ab	31.429±2.305b	45.0245±0.613f
HS-2	91.749±7.067abc	60.8770±0.326ef	65.7185±0.640abcde	51.410±1.970ab	58.1535±0.408d
HT-8	89.996±2.942abcd	61.8455±0.491de	65.9645±0.495abcd	48.459±17.878ab	52.1160±1.272e
Criollo Milagro de la Noria	80.593±12.308abcd	55.7120±0.749g	62.9240±0.892de	38.391±8.531ab	41.9105±.943f
HT-5	92.189±3.115ab	64.2895±0.045c	68.8190±0.543a	70.640±7.155a	64.5960±0.722b
HT-9	94.856±5.758a	64.8495±0.787c	68.9415±0.579a	73.082±3.675a	62.1190±1.019bc
HT-10	95.050±0.795a	63.2370±0.042cd	64.0490±0.195bcde	62.602±6.855ab	70.0585±1.213a
Media	77.63	64.59	65.27	55.40	56.90
DHS	30.95	1.93	3.36	35.43	3.59
SIGN	*	*	*	*	*

Medias con letras diferentes (a, b ,c, etc.) son estadísticamente diferentes, No. Hojas=Número de hojas, DHS=Diferencia significativa honesta, SIGN=Significancia.

### 3.4.2.8.3. Proteína.

En el Cuadro 19, se muestra la media y desviación estándar de la variable Proteína cruda (PC), correspondientes al ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 híbridos evaluados en San Salvador El Seco. Se observan diferencias significativas ( $p<0.05$ ) solamente para el componente elote. Las medias generales para planta completa y ensilado entre los híbridos evaluados, fueron del orden de 10.4 a 6.7% PC y

planta completa de 8.7 a 6.1% PC. Para el caso de los componentes morfológicos hoja (14.2 a 10.8% PC) y tallo (5.0 a 8.3% PC), de tal forma que todos los híbridos se comportaron de una manera similar; es decir, no hay diferencias significativas entre ellos.

Para el componente morfológico elote, el mejor resultado está dado por el HT-7, al presentar el mayor porcentaje de Proteína con 9.7% de la materia seca; mientras que HT-4, HT-12 y HT-9, mostraron los valores más bajos de proteína con 6.6, 7.2 y 7.3% de la materia seca; los demás híbridos comparten literales (Cuadro 19).

Los valores de PC en planta completa tuvieron un rango de 8.7 a 6.1%, en esta investigación y están dentro del rango observado por Martínez *et al.* (2004), del orden de 7.7 a 9.2%, al igual al observado por Núñez *et al.* (2005), que tuvieron concentraciones similares de proteína cruda, con un promedio de 8.7%; valores fríos que coinciden con los citados en Pasturas América (2005), al señalar que, en forma general, los valores de PC en maíz oscilan entre 8 y 10% de MS. En cambio Peñuñuri *et al.* (1980), reportan un valor menor de 7.1%, y Peña *et al.* (2004), informan que la PC en maíz está en el rango de 6.9 a 9.7%, valores semejantes a los de esta investigación y a los observados por Nuñez, *et al.* (2007), que fluctúan en el rango de 6.8 a 8.62% de PC.

Los valores medios de PC observados en ensilado de 8.2% y para planta completa de 7.8 %, son similares, aspecto que coincide con lo que afirma Di Marco y Aello (2003), en el sentido de que el proceso de ensilado *per se* no le agrega valor al conjunto; sino que, por lo contrario, en el proceso, puede perderse un poco de lo que se ensila. Resultados similares a los obtenidos por Bonilla (2007), con rango de 8.1 a 9.2% de PC de la materia seca del ensilado. Olague *et al.* (2006), observó valores mayores a la media de 9.78 a 10% PC de la materia seca, del ensilado de maíz.

Para tallo Peñuñuri *et al.* (1980), afirman que 4.9%, es un menor valor al de los demás componentes, lo que coincide con lo encontrado en esta investigación, al observarse valores de 5.0 a 8.3% de PC.



Cabe destacar que los valores de PC observados en esta investigación, están dentro del rango superior de muchas investigaciones citadas en este escrito, por lo que bien podrían tener una aportación de PC, dentro de los nutrientes necesarios para alimentar al ganado lechero y podrían pasar a su validación para este fin.

Cuadro 19. Media y desviación estándar de la variable Proteína Cruda de ensilado, planta completa, hoja, tallo y elote de 14 genotipos de maíz. San Salvador El Seco, Puebla. 2007.

HIBRIDO	ENSILADO	PLANTA COMPLETA	HOJA	TALLO	ELOTE
	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est	Med ± Des Est
HT-3	7.443±0.034a	8.3465±1.312a	11.542±1.925a	5.671±0.599a	7.5860±0.666bc
HT-11	7.431±1.373a	8.7550±1.889a	12.569±3.324a	5.231±0.586a	8.1845±0.984abc
HT-4	7.875±0.044a	7.1170±0.209a	13.447±3.246a	5.476±0.239a	6.5625±0.718c
HT-2	10.417±2.309a	8.1755±0.414a	13.522±0.266a	5.208±0.611a	7.8110±0.201abc
HT-1	7.692±0.427a	7.7155±0.460a	12.606±2.152a	8.373±0.704a	8.5755±0.418ab
HT-6	9.013±0.941a	8.5955±0.340a	±	±	±
HT-7	8.312±1.918a	8.1010±1.620a	13.314±0.008a	6.676±2.547a	9.6850±0.010a
HT-12	8.722±2.478a	7.9315±0.735a	11.125±0.563a	5.040±0.294a	7.1500±0.153bc
HS-2	8.031±2.900a	7.2945±0.508a	11.623±0.101a	5.894±0.344a	8.2300±0.234abc
HT-8	8.128±1.064a	7.2945±0.508a	13.047±0.938a	5.014±0.331a	7.9895±0.676abc
Criollo Milagro de la Noria	8.346±0.743a	6.1055±1.221a	14.188±1.245a	7.870±2.001a	8.0010±0.672abc
HT-5	7.697±0.263a	8.1560±0.441a	12.131±0.618a	6.640±2.016a	7.5645±0.148bc
HT-9	6.749±0.355a	7.9275±0.729a	10.804±1.829a	5.234±0.582a	7.3480±0.178bc
HT-10	8.931±2.138a	8.13755±1.037a	12.806±1.299a	5.871±1.402a	8.0015±0.101abc
Media	8.20	7.83	12.52	6.01	7.89
DHS	6.11	3.82	6.82	4.78	1.97
SIGN	NS	NS	NS	NS	*

Medias con letras diferentes (a, b ,c, etc.) son estadísticamente diferentes, No. Hojas=Número de hojas, DHS=Diferencia significativa honesta, SIGN=Significancia.

### 3.5. CONCLUSIONES

Para la región subtropical, los híbridos con mayor RT fueron HT-5, HT-4, HT-12 y HT-10, también presentaron mayor RMS, sólo HT-5 y HT-10 presentaron mayor RMSE y RMSH, por lo que deben validarse a nivel más amplio.

Los híbridos HT-1, HT-2, HT-6, HS-2, HT-12 y HT-8 presentaron los mayores RMV y RMS de la planta completa, por lo que serían considerados como altos productivos para Valles Altos.

De los híbridos con mayor RMV y RMS de la planta entera, HT-1 y HT-2, presentaron la mayor relación de hoja:planta, tallo:planta y altura.

El híbrido con mayor cantidad de hoja fue el HT-10, pero no presenta potencial productivo de MS, ni de calidad.

El híbrido con menor cantidad de FDN y FDA fue el Criollo Milagro de la Noria.

El híbrido HT-6 presentó el mayor porcentaje de proteína cruda, número de elotes y diámetro del tallo y se mantuvo entre los primeros con mayor RMV y RMS de planta completa, siendo un híbrido prometedor para Valles Altos.

El HS-2 es un híbrido comercial con buenas características productivas por presentar altos RMV y RMS de planta completa, una buena relación elote:planta, buena cantidad de elotes, que además destacó por presentar baja FDN, siendo un híbrido recomendable para Valles Altos.

La variable RTP mostró una alta correlación negativa ( $r = -0.93$ ) con REP y con NUMELOTES ( $r = -0.52$ ).

La REP presentó una alta correlación positiva ( $r = 0.53$ ) con NUMELOTES y una baja correlación negativa ( $r = -0.36$ ) con RENMV.

El RMV mostró una correlación positiva alta ( $r = 0.84$ ) con el RENMS y con el RENMSENS ( $r = 0.59$ ).

### 3.6. LITERATURA CITADA

- Aguilar B., U., H. Román P., T. B. García P., I. López G. y S. I. Román P. 2007. Impacto del uso de tecnología en la ganadería bovina de doble propósito en el estado de Veracruz. *In: Cavalloti V., B; Ramirez V., B. y Marcof A., C. F. (eds). Alternativas para el desarrollo sustentable de la ganadería. Respuestas de los productores y la perspectiva académica. CEDRSSA-UACH-CP. pp. 307-317.*
- Allen M., K. A. O'Neil, D. G. Main and J. Beck. 1991. Relationship among yield and quality traits of corn hybrids for silage. *J. Dairy Sci.* 74 (Supl):221.
- Astigarraga, L.; A. Bianco, A. Arocena y G. Pérez G. 2003. Evaluación de ensilados de maíz (ciclo medio y ciclo largo). I. Estudio del consumo y de la digestibilidad. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. pp. 2355 – 2358.
- Bertoia, L. M. 2004. Algunos Conceptos sobre ensilado. Consideraciones generales sobre maíces para silaje y su cultivo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Verificado en marzo de 2006. <http://mejorpasto.com.ar/UNLZ/2004/TX3.htm>
- Bianco, A.; L. Astigarraga, F. Hernández, N. Nuñez y R. Mello. 2003. Evaluación de ensilados de maíz (ciclo medio y ciclo largo). II. Rendimiento, relación grano-planta, producción y composición de la leche en vacas Holando. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. pp. 2363 – 2367.
- Bonilla C., J. A. 2007. Híbridos de maíz para la producción de ensilados de alta calidad nutricional en el Trópico. Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnológica 2007. INIFAP. Pag. 251.
- Bosch, L., F. Casanas, A. Ferret, E. Sánchez and F. Nuez. 1994. Screening tropical maize population to obtain semiexotic maize hybrids. *Crop Sci.* 34:1089-1096.
- Brandolini, A. and F. Salamini 1985. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 458 p.
- Coordinación General de Ganadería, Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA),. 2010. Estimación de la demanda de insumos alimenticios para la ganadería. Granos Forrajeros y Oleaginosas. 2002-2007. Verificada en enero de 2010. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Estadisticas/Paginas/default.aspx>
- Crookston, R. K. and J. E. Kurle. 1988. Using the kernel milk line to determine when to harvest corn for silaje. *J Prod Agric.* 1:293-295.

- Di Marco, O. N. y M. S. Aello. 2003. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEA Balcarce). Verificado en marzo de 2006.  
<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/forrajes/silo/silajemaliza.htm>
- Duvick, D. N. 1985. State of temperate maize breeding programs. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini (eds). Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. pp. 293-310.
- Elizalde J., D. Rearte y F. Santini. 1993. INTA Boletín Técnico N°117.
- Enríquez, J. F., J. Romero, M. del R. Tovar. 2003. Productividad forrajera de maíces de alta calidad proteínica y normales, en Isla, Veracruz. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. pp. 119 – 122.
- Enríquez, J. F., J. Romero, M. del R. Tovar. 2004. Potencial de producción de maíces QPM y normales para uso forrajero en Isla, Veracruz. XVII. Reunión Científica Tecnológica Forestal y agropecuaria, Veracruz, 2004. INIFAP, Gobierno Estatal de Veracruz. Mesa Pecuaria. Memoria en CD.
- Espinoza T., E., M. C. Mendoza C. y J. Ortiz C. 2004. Producción de mazorcas por planta en poblaciones ahijadoras de maíz en dos densidades de población. *Rev. Fitotec. Méx.* 27:19-21.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Garcgicevich, A. 2005. Efecto de la Irregularidad en el espaciamiento interplantas en la lineal de siembra sobre el rendimiento del maíz. INTA AER Casilda. Verificado en marzo de 2006.  
<http://www.elsitioagricola.com/articulos/gargicevich/Efecto%20de%20la%20Irregularidad%20en%20el%20Espaciamiento%20Interplantas%20en%20la%20Linea%20de%20Siembra.asp>
- Gutiérrez del R., E., A. Espinoza B., A. Palomo G., J. J. Lozano G. y O. Antuna G. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Rev. Fitotec. Méx.* 27(1):7-11.
- Harrison, J. H. y L. Johnson. 1998. Factores que afectan el valor nutritivo del ensilaje de maíz. IV Conferencias internacionales sobre nutrición y manejo. Gómez Palacio, Dgo. LALA. pp: 54-65.

- Hoekstra, G., L. Kannenberg and B. Christie. 1985. Grain yield comparison of pure stands and equal proportion mixtures for seven hybrids of maize. *Can. J. of Plant Sci.* 65:471-479.
- Irlbeck, N. A., J. R. Russell, A. R. Hallauer and D. R. Buxton 1993. Nutritive value and ensiling characteristics of maize stover as influenced by hybrid maturity and generation, plant density and harvest date. *Anim. Feed Sci. Tech.* 41:515-522.
- Jonson L., J. H. Harrison, H. Hunt, K. Shinnars, C. G. Doggett and D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity. *J. Dairy Sci.* 82:2813-2825.
- Latournerie M., L., S. A. Rodríguez H., J. A. Urquiza V., G. Castañón, M. Mendoza E. y A. López B. 2001. Potencial forrajero de veintidós híbridos de maíz evaluados en tres densidades de siembra. *Agronomía Tropical* 51(3):419-2001.
- Lorenzoni, C. and M. Motto. 1985. Breeding methodologies for Maize quality improvement. *In: Brandolini, A. and F. Salamini (eds). Breeding strategies for maize production improvement in the tropics.. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. Pp. 277-292.*
- Lundvall, J. P., D. R. Buxton, A. R. Hallauer and J. R. George. 1994. Forage Quality Variation among Maize Inbreds: In Vitro Digestibility and Cell Wall Components. *Crop Sci.* 34:1672-1678.
- Martínez G., M. I., R. Gaytán B., L. Reyes M., M. Luna F., J. S. Padilla R. y N. Mayek P. 2004. Rendimiento de grano y forraje de maíces híbridos de riego en Aguascalientes y Zacatecas, México. *Agricultura Técnica en México.* 30:53-61.
- Montemayor T., J. A., A. O. Gómez M., J. Olague R., A. Zermeño G., E. Ruiz C., M. Fortis H., E. Salazar S., y R. Aldaco N. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. *Téc Pec Méx.* 44(3):359-364.
- Navarro O., E. F., S. A. Rodríguez H., A. Palomo G., A. Espinoza B., F. A. Camacho I., E. Andrio E., y O. Antuna G. 2008. Evaluación de híbridos de maíz QPM para la producción de forraje en la Comarca Lagunera. *In: Ruiz T., N. A. y Lira S., R. H. La semilla, enlace con la agricultura sustentable. XIV Curso Internacional y 1er Congreso en Tecnología de Semillas. Saltillo, Coahuila, México. 27 al 29 de octubre. Pag. 22.*
- Nielsen, R.L. 1993. Estándar establishment variability in corn. *The corn Growers guidebook. Department of Agronomy. Purdue University. Indiana. USA.*
- Núñez H., G., E. F. Contreras G. y R. Faz C. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pecu. Méx.* 41:37-48.

- Núñez H., G., R. Faz C., F. González C. y A. Peña R. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43:69-78.
- Núñez H., G., R. Faz C., y R. Sánchez G. 2007. Evaluación de híbridos de maíz para forraje en la región Lagunera. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental La Laguna. Informe. Diciembre 2007. 25 p.
- Olague R., J., J. A. Montemayor T., S. R. Bravo S., M. Fortis H., R. A. Aldaco N. y E. Ruiz C. 2006. Características agronómicas y calidad de maíz forrajero con riego sub-superficial. *Téc. Pecu. Méx.* 44(3):351-357.
- Paliwal, R. L. 2001a. Mejoramiento del maíz con objetivos especiales. *In: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. (eds). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Departamento Agrícola. FAO. Roma, Italia.*
- Paliwal, R. L. 2001b. Usos del maíz. *In: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. (eds). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Departamento Agrícola. FAO. Roma, Italia.*
- Pasturas América. 2005. Maíz: Utilización en forma de ensilado en la producción de leche. Verificada en diciembre de 2005.  
[http://www.pasturasdeamerica.com/conservacion/maiz\\_leche.doc](http://www.pasturasdeamerica.com/conservacion/maiz_leche.doc)
- Peña R., A., F. Gonzales C., G. Núñez H. y C. Jiménez G. 2004. Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):1-6.
- Peña R., A., F. González C., G. Núñez H. y L. H. Maciel P. 2006. Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a la fecha de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):207-213.
- Peñuñuri M., F. J., R. Zambrano G. y A. Aguayo A. 1980. Comparación de la producción de forraje, valor nutritivo y comportamiento de bovinos alimentados con ensilado de sorgo y maíz. Resumen de avances de investigación del centro de investigaciones pecuarias del estado de Sonora. A.C. Clave F80003. Septiembre 1980. Verificada en abril de 2006.  
<http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/forrajef80003.html>
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. A.G.T. Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Rivas J., M. A., A. Carballo C., J. Pérez P., G. González J. y A. García Z. 2005. Rendimiento y calidad de ensilado de seis genotipos de maíz cosechados en dos estados de madurez. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2005. 17 y 18 de Noviembre. Boca del Río, Ver. Pp. 463-470. (Mesa Pecuaria: Extenso: PeEx18). Memoria en CD

- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SDA). 2005. Alternativas forrajeras para Guanajuato. Forrajes para el Ciclo Primavera-Verano. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Guanajuato. Verificada en diciembre de 2005. <http://www.guanajuato.gob.mx/sda/articulos/alternativas/primavera-ver.htm>
- Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA). 2010. Avances de siembra y cosechas primavera-verano y otoño-invierno de 2008. Verificada en enero de 2010. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Singh, J. 1985. Current status of maize improvement in sub-tropical areas of Indian sub-continent. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini (eds). Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International Expert Consultation. Florence and Bergamo, Italy. 1985. Pp. 311 – 328.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2007. The SAS® System for Windows® (Ver. 9). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Tinoco A., C. A. y A. Pérez P. 2005. Características forrajeras y de producción de grano en genotipos comerciales de maíz en Acayucan, Veracruz. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2005. 17 y 18 de Noviembre. Boca del Río, Ver. Pp. 554. (Mesa Pecuaria). Memoria en CD.
- Uhart S.S., F. Andrade, A. Cirilo, M. Frugone y O. Correa. 1999. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas de maíz. Impacto sobre el rendimiento en grano. Morgan Mycogen.
- Van Soest, P.J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polisacharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Velázquez C., G. A. 2007. H-157 E: Nuevo híbrido de maíz forrajero para la Región Centro de México. Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnológica 2007. INIFAP. Pag. 113.
- Zimmer, E., and M. Wernke. 1986. Improving the nutritive value of maize. P. 90-100. In O. Dolstra and P. Miedema (ed). Breeding of silage maize. Proc. 13th Cong. Maize and Sorghum section of EUCARPIA, Wageningen. 9-12 Sep. Centre For Agric. Publ. And Documentation, Wageningen, Netherlands.