

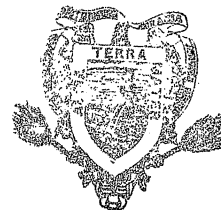
**APTITUD COMBINATORIA DE LINEAS DE  
MAIZ QPM PARA CARACTERISTICAS FORRAJERAS**

**EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

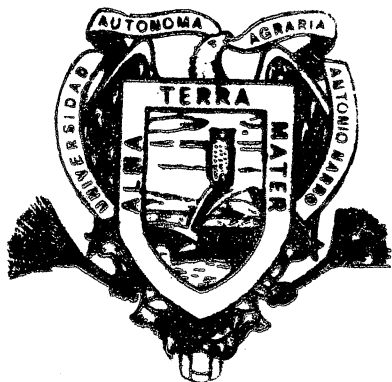
DOCTOR EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO



**BIBLIOTECA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Programa de Graduados



Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Diciembre de 2003

14067

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

APTITUD COMBINATORIA DE LÍNEAS DE MAÍZ QPM PARA  
CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS

TESIS

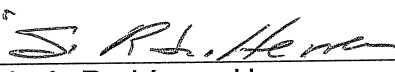
POR

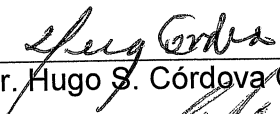
EFRAÍN DE LA CRUZ LÁZARO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para obtener el grado de:


DOCTOR EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:   
Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera

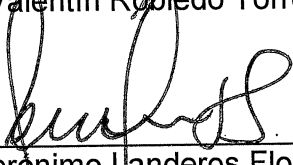
Asesor:   
Dr. Hugo S. Córdova Orellana

Asesor:   
Dr. Emiliano Gutiérrez del Río

Asesor:   
Dr. Alfonso López Benítez

Asesor:   
Dr. Arturo Palomo Gil

Asesor:   
Dr. Valentín Robledo Torres

  
Dr. Jeronimo Landeros Flores  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2003

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento y apoyo permanente otorgados durante el transcurso de mi programa doctoral, al Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Int. (CIMMYT) por los materiales proporcionados para realizar la presente investigación y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haber permitido realizar el sueño de alcanzar el máximo nivel académico de estudios.

Al departamento de Fitomejoramiento; en particular, a todo el personal académico del Programa de Fitomejoramiento, por haber sido los pilares en mi formación académica.

De manera muy especial al Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera, por su apoyo, amistad y acertada asesoría. A los doctores Emiliano Gutiérrez del Río, Arturo Palomo Gil, Alfonso López Benítez, Valentín Robledo Torres y al Dr. Hugo Córdova Orellana, por sus observaciones y sugerencias en la realización del presente trabajo.

A todos mis compañeros y amigos del postgrado en Fitomejoramiento, y en especial a mi amigo y compañero de generación M.C Arnulfo de León Ramírez, con lo que compartí momentos alegres y a quienes les deseo lo mejor en su vida profesional.

## DEDICATORIAS

### **A MI ESPOSA**

Erika Frayre Martínez  
Por ser la compañera de mi vida

### **A MIS PADRES**

José Reyes de la Cruz Córdova  
Por su ejemplo

y

Ernestina Lázaro Olán  
Por su inmenso cariño

### **A MIS HERMANOS**

Por haber compartido juntos los primeros años  
de nuestras vidas.

### **A MI TIO**

José J. Lázaro Olán(†) en su  
memoria.

A todos los que de una u otra forma han contribuido en mi formación y a todos mis amigos, con aprecio.

# COMPENDIO

## APTITUD COMBINATORIA DE LÍNEAS DE MAÍZ QPM PARA CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS

POR

EFRAÍN DE LA CRUZ LÁZARO

DOCTORADO

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DICIEMBRE DE 2003

Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera – Asesor

**Palabras claves:** *Zea mays* L, aptitud combinatoria, líneas autofecundadas, cruzas dialélicas, híbridos, calidad forrajera.

Los objetivos de la presente investigación fueron: (i) determinar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de ocho líneas maíz QPM del programa de maíz del CIMMYT y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas; (ii) identificar las cruzas sobresalientes. Con las ocho líneas se formó un dialélico método IV, en el que se realizaron todas las cruzas directas entre las líneas; lo que dio lugar a 28 cruzas que se evaluaron en el 2000 y el 2001, en el “Rancho Ampuero” en Torreón, Coahuila, México. El diseño

experimental utilizado en ambos años fue el de bloques al azar con dos repeticiones, con una densidad de siembra de 80,000 plantas/ha. Los datos de los caracteres agronómicos se analizaron bajo un análisis combinado con el paquete estadístico SAS, para el diseño genético se usó el método IV de efectos fijos de Griffing (1956) con el que se analizaron los caracteres agronómicos y químicos para calidad forrajera. Los caracteres agronómicos evaluados fueron: altura de planta (HP), rendimiento de forraje verde (RFV), materia seca total (MST), porcentaje de elote (PE). En tanto que los caracteres de calidad forrajera fueron: proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), energía neta de lactancia (ENL) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV).

Los resultados muestran que existe alta variación ( $P \leq 0.01$ ) entre las cruzas (genotipos) en los caracteres agronómicos evaluados, con excepción de digestibilidad *in vitro* de la materia seca, que no tuvo diferencias significativas. Se encontraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) para efectos de ACG para los caracteres AP, PFV, MST, CMS y contenido de PC, y efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) de ACE para todos los caracteres evaluados, con excepción del carácter digestibilidad *in vitro*. En general el análisis de los cuadrados medios indica que los efectos de tipo aditivo fueron de mayor importancia para los caracteres PFV, MST, CMS y ENL y los efectos no aditivos fueron proporcionalmente de mayor importancia en la expresión de la AP, PE, PC, FDA y FDN. Además se identificó la línea 3 como la de mayores efectos de ACG para altura de planta y contenido de proteína cruda, la línea 7 para producción de forraje verde, consumo de materia seca y energía neta de lactancia; la línea 1 para porcentaje de elote y fibra neutro detergente; la línea 4 fue la mejor para materia seca total; mientras

que la línea 2 mostró altos efectos para digestibilidad in vitro de la materia seca y la línea 5 para contenido de fibra detergente ácida. Para ACE se identificaron las cruzas 2x5, 4x5, 5x7 y 7x8 como las de mayor producción de forraje verde y materia seca total, con bajos contenidos de porcentaje de elote. En tanto que para los caracteres químicos se detectó asociación inconsistente entre ellos.

**ABSTRACT**  
**COMBINING ABILITY OF QPM MAIZE INBRED LINES FOR FORAGE**  
**CHARACTERISTICS**

**BY**  
**EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO**

**DOCTORATE**  
**IN PLANT BREEDING**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA MEXICO. DECEMBER 2003**

PhD. Sergio A. Rodríguez Herrera – Advisor

**Key words:** *Zea mays* L., combining ability, inbred lines, diallel crosses, hybrids, forage quality.

The main objectives of this study were; (i) to know the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of eight QPM maize inbred lines for CIMMYT maize program; (ii) to identify the best hybrids. The Griffing method IV was used to get all possible direct crosses (28) among the eight inbred lines. Crosses were evaluated at the “Ampuero Ranch” of Torreón, Coah., México, during 2001 and 2002. In both years a complete randomized blocks experimental design with two replications was used. Plant density was 80,000 plants ha<sup>-1</sup>. Agronomic characteristics such as plant height (PH), green forage yield (GFY), dry matter yield (DMY) and ear percentage (EP) were



measured. Forage quality characteristics such as dry matter intake (DMI), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lactation net energy (LNE) and *in vitro* dry matter digestibility (IVD) were also measured.

Results showed significant variation ( $P \leq 0.01$ ) between the crosses (genotypes) for the evaluated agronomic and chemical traits, with exception of IVD, all crosses agronomic and chemical characteristics showed significant variability. PH, GFY, DMY, DMI and CP showed GCA highly significant statistical differences among inbred lines. With exception of IVD, all the other forage quality characteristics showed significant SCA effects. Mean squares analysis showed additive effects were more important for GFY, DMY, DMI and LNE, and no additive effects were greater than the additives in characteristics such as PH, EP, CP, ADF and NDF. Line 3 PH and CP, line 7 GFY, DMI and LNE; line 1 EP and NDF, line 4 DMY and line 2 IVD showed the highest GCA. Crosses 2x5, 4x5, 5x7 and 7x8 showed the best GFY and DMY but EP was low. The forage quality of these characteristics was inconsistent.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	Xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Maíz de alta calidad proteínica (QPM).....	4
Dialélicos de Griffing.....	7
Aptitud combinatoria .....	8
Caracteres agronómicos en el mejoramiento genético de maíces forrajeros.....	9
Rendimiento de forraje.....	9
Contenido de grano.....	10
Altura de planta.....	11
Uso de mutantes.....	12
Heredabilidad de los caracteres agronómicos.....	13
Caracteres químicos en el mejoramiento de maíces forrajeros.....	13
Digestibilidad.....	13
Contenido de fibras.....	16
Energía neta de lactancia.....	19
III. MATERIALES Y METODOS.....	20
Área de estudio.....	20
Clima del área de estudio.....	20
Material genético.....	21
Diseño y parcela experimental.....	21
Fecha de siembra y labores culturales.....	22
Toma de datos.....	22
Diseños estadísticos y genéticos.....	24
Análisis dialélico.....	26

Estimaciones de aptitud combinatoria .....	27
Estimaciones de varianza de ACG y ACE.....	28
Estimaciones de los errores estándar.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. RESUMEN.....	50
VII. LITERATURA CITADA.....	51

## INDICE DE CUADROS

	Página
2.1 Criterios de calidad para fuentes forrajeras.....	19
3.1 Genealogía de las ocho líneas de maíz QPM utilizadas para producir las 28 cruzas dialélicas directas.....	21
3.2 Análisis de varianza para el diseño estadístico combinado.....	25
3.3 Forma del análisis de varianza para el método IV del diseño dialélico.....	27
4.1 Cuadrados medios del análisis combinado para los caracteres agronómicos.....	32
4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres agronómicos de ocho líneas de maíz QPM, bajo un diseño dialélico método IV.....	34
4.3. Cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres químicas de calidad forrajera de ocho líneas de maíz QPM, bajo un diseño dialélico método IV.....	34
4.4. Medias de los caracteres agronómicos de los 28 genotipos evaluados.....	40
4.5. Medias de los caracteres químicos de los 28 genotipos evaluados.....	41
4.6. Efectos de aptitud combinatoria general y específica de ocho líneas de maíz QPM, para caracteres agronómicos y químicos bajo el modelo IV de Griffing (1956).....	45
4.7. Valores medios de las líneas en base a sus cruzas, para los caracteres agronómicos.....	47
4.8 Valores medios de las líneas para los caracteres químicos.....	47

## I. INTRODUCCIÓN

El fitomejoramiento del maíz es un proceso continuo y constante en la formación de híbridos y variedades para uso comercial. El conocimiento de la acción génica que controla los caracteres de interés económico, es básico para lograr rápidos avances en un programa de mejoramiento genético. Uno de los sistemas propuestos para conocer y evaluar la acción génica de caracteres cuantitativos es el de cruzamientos dialélicos, que permiten determinar las combinaciones superiores, seleccionar los mejores progenitores y diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes.

En México, el cultivo del maíz cobra gran importancia por ser fuente básica de la alimentación humana y animal, por la superficie cultivada y por la creciente demanda. Dada su importancia, continuamente se realizan estudios sobre su mejoramiento genético buscando identificar líneas con buenos atributos genéticos y que en combinaciones con otras expresen máxima heterosis.

Los antecedentes del cultivo del maíz en la Comarca Lagunera, indican que económicamente es recomendable, cuando se usan variedades o híbridos que rinden un promedio de  $6 \text{ ton/ha}^{-1}$  de grano y  $60 \text{ t/ha}^{-1}$  de forraje verde, bajo un manejo óptimo, alta densidad y fertilización equilibrada, aunado al control de plagas y malezas.

En los últimos años se ha incrementado el uso del maíz forrajero, principalmente en aquellas regiones consideradas como cuencas lecheras y de engorda. En la Comarca Lagunera las estadísticas indican que se ha incrementado la siembra de maíz, tanto para grano como forraje. Con un promedio de rendimiento de  $3.5 \text{ t/ha}^{-1}$  de grano y  $42 \text{ t/ha}^{-1}$  de forraje verde, por lo que se ha visto favorecida, esta cuenca lechera por la gran producción de forraje de origen maicero.

En México, los ensilados de maíz generalmente tienen un valor energético bajo en comparación con ensilados de Estados Unidos y Europa (Chalupa, 1995). En los sistemas intensivos de producción de leche, los forrajes participan en la alimentación del ganado de ordeña con un 40 a 60 por ciento del alimento total, asimismo, representan los ingredientes de menor costo en la alimentación del ganado.

### **Objetivo**

- 1.- Estimar los efectos de aptitud combinatoria general de los progenitores y la aptitud combinatoria específica de las cruzas para caracteres forrajeros.
  
- 2.- Identificar cruzas con altos efectos de ACE para caracteres forrajeros.

### **Hipótesis**

Los efectos de ACG entre las ocho líneas deben de ser diferentes, para poder encontrar altos efectos de ACE entre las cruzas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Maíz de alta calidad proteínica (QPM)

Con el descubrimiento del gen opaco 2 del maíz en la década de los sesenta por Mertz *et al.* (1964), en trabajos realizados en la Universidad de Purdue y con el trabajo visionario del Dr. Vasal y la Dra. Evangelina Villegas del CIMMYT, de iniciar la selección de genes modificadores en los maíces opacos, se llegó a la obtención de los maíces con alta calidad de proteína (MCP) o QPM (Quality Protein Maize) los cuales contienen en el endospermo del grano, altos niveles de lisina y triptófano como el maíz opaco, y además poseen un endospermo vítreo similar al del maíz normal (Preciado *et al.*, 2001).

Pinter *et al.* (1995), mencionan que no existe información sobre el uso del maíz QPM como cultivo forrajero y que tal vez pudiera tener ventajas como ensilaje para el ganado lechero. El ensilaje de mazorcas verdes de maíz QPM se está difundiendo en los países del norte de Europa donde el maíz difícilmente llega a la madurez. Se ha informado que el QPM es igual en rendimiento que los maíces normales usados en la alimentación de cerdos, pero superior en calidad nutricional. Los maíces de alta calidad proteínica contienen mayor porcentaje de lisina en el grano, en comparación con los híbridos convencionales. La lisina es un aminoácido identificado como una de las principales limitantes en la alimentación del ganado bovino lechero con alta



producción (Dado, 1999); sin embargo, debido a la degradación de la lisina en el rumen del ganado y a la dilución del ensilado de maíz con otros ingredientes en las raciones del ganado lechero, el impacto del mayor contenido de lisina de estos tipos de maíces puede ser pequeño, aunque existen otros aspectos en estos maíces con alto contenido de lisina, y endospermo suave que los puede hacer que sean fácilmente degradados por los microorganismos del rumen, lo que puede permitir que sean más digeridos en el rumen que los maíces normales (Dado, 1999; Núñez *et al.*, 2001). Generalmente los valores nutritivos de los ensilados de maíz QPM son considerados similares a los ensilados de maíces normales. Bertolini *et al.*(1999) reportaron que los híbridos opaco 2 tenían rendimientos más bajos que los híbridos de maíces normales, sin embargo lograron identificar tres líneas prometedoras como padres.

Vasal *et al.*(1993a), evaluaron en ocho localidades (de México, Colombia, Guatemala y Filipinas) las cruzas dialélicas de 10 materiales QPM del CIMMYT (Cuatro pools 23, 24, 25, 26 y seis poblaciones 62, 63, 74, 75, 66 y PR 7737); los progenitores también fueron incluidos en el estudio. Encontrando que las poblaciones 62, 63 de grano blanco y PR 7737 de grano amarillo tuvieron los mayores efectos de ACG para rendimiento de grano y para dureza de endospermo la población 63; recomendando que la población 62 y 63 se pueden utilizar como patrón heterótico en el desarrollo de híbridos. Vasal *et al.*, (1993b), en estudios realizados en México y los Estados Unidos con maíces subtropicales de alta calidad proteínica encontraron que para las regiones subtropicales de México, la población 68, pool 24, población 69 y pool 34

presentan potencial para el desarrollo de híbridos, además de la característica de endospermo duro. En cambio, para los programas de Estados Unidos, los materiales pool 27, pool 29 y población 70 pueden ser usados como fuente de introgresión de material exótico en materiales de alta calidad de proteína de la faja maicera y para el desarrollo de endospermo duro en híbridos QPM.

Pixley y Bjarnson (1993), en estudios realizados con maíz de alta calidad de proteína QPM, a través de 5 localidades, encontraron que los mejores híbridos en cada experimento fueron mejores que los testigos de maíz con endospermo normal, superándolos en 14 por ciento para rendimiento de grano, 48 por ciento para la concentración de triptófano en grano y 60 por ciento para la concentración de triptófano en proteína. Concluyendo que los efectos de acción génica aditiva fueron principalmente los responsables para la variación en la concentración de proteína en grano, triptófano en grano y triptófano en proteína y que los efectos de ACE fueron no significativos para calidad de proteína. Además indicaron que la selección de genotipos para la formación de híbridos o de variedades de polinización libre QPM puede basarse en la ACG para estas características.

Spaner y Matter (1992), en estudios realizados en Canadá con híbridos precoces de alta calidad de proteína QPM, con endospermo duro y altos en lisina, encontraron que los efectos de aptitud combinatoria general fueron altamente significativos para rendimiento, humedad a la cosecha y granos opacos. En cambio los efectos de aptitud combinatoria específica fueron

significativos para rendimiento de grano y humedad a la cosecha, además algunos híbridos QPM rindieron bien pero tuvieron altos niveles de humedad a la cosecha.

### **Dialélicos de Griffing**

Sprague y Tatum (1942) propusieron las técnicas que comprenden actualmente las cruzas dialélicas, que dieron origen al desarrollo de los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). El término aptitud combinatoria general lo emplearon para designar al comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, a través de sus cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes; a su vez, el término aptitud combinatoria específica lo emplearon para designar a la desviación que presenta la progenie de una craza determinada con respecto al promedio de sus padres. Existen varios métodos de análisis dialélicos para estimar ACG y ACE, entre los más utilizados se encuentran los propuestos por Griffing (1956), siendo estos: 1) Progenitores y sus cruzas  $F_1$  directas y recíprocas (I); 2) progenitores y cruzas  $F_1$  directas (II); 3) cruzas  $F_1$  directas y recíprocas (III) y 4) cruzas  $F_1$  directas (IV). En tanto que Singh y Stoskopf (1971) describieron la técnica estadística para el análisis combinado de los diseños dialélicos de Griffing.

## Aptitud Combinatoria

Hoegenmeyer y Hallauer (1976), señalan que en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la ACE será más importante que la ACG, ya que esta puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como son la dominancia y epistasis. Indicando que la varianza para ACG explica la porción de la varianza genotípica que es debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la varianza de ACE explica la porción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia.

Respecto a los tipos de acción génica y su relación con la Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE), en cruza intervarietales, Rivera (1977) encontró que la varianza aditiva disminuyó y la no aditiva aumentó, conforme la divergencia genética se incrementaba. Oyervides (1979), indica que los componentes de varianza de ACG y ACE están directamente relacionados con los efectos genéticos aditivos y de dominancia, respectivamente; sin embargo, es importante tener un conocimiento de su interacción con diferentes ambientes para formular procedimientos de mejoramiento.

Para Márquez (1988), el término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, dicha capacidad medida por medio de su progenie. Sin embargo, la aptitud

combinatoria debe de determinarse no en un solo individuo de la población sino en varios, a fin de poder realizar selección de aquellos que exhiban la más alta.

La aptitud combinatoria general es el desempeño promedio de una línea pura en algunas combinaciones híbridas, proporcionando información sobre que líneas puras deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas y la aptitud combinatoria específica es el desempeño individual de una línea pura en una combinación híbrida específica. Usándose para determinar la ACG generalmente variedades de polinización libre y compuestos sintéticos.

Chávez (1995) menciona que la selección de las líneas es la fase más importante de un programa de mejoramiento de plantas, por lo que los fitomejoradores han tratado de encontrar métodos simples e indirectos de evaluación de las líneas que permitan detectar a las más sobresalientes.

## **Caracteres agronómicos en el mejoramiento genético de maíces forrajeros**

### **Rendimiento de forraje**

Los maíces forrajeros usados actualmente, son seleccionados por su capacidad de producción de materia seca, y poco interés en la calidad nutritiva (Núñez *et al.*, 1999; Peña *et al.*, 2002). Algunos híbridos en uso presentan las características consideradas como forrajeras en el pasado, como son porte alto y mucho forraje; ya que años atrás los mejoradores consideraban que el

rendimiento y la calidad del forraje estaban determinados por el rendimiento de grano y por la proporción de materia seca del grano por encima del resto de los componentes (Torrecillas y Bertoia, 2000).

El cultivo de maíz para forraje provee un alto rendimiento de biomasa por unidad de área, desde 40 a 90 ton/ha<sup>-1</sup> de forraje verde, en un corto tiempo y el valor nutritivo va de bueno a excelente, dependiendo de la etapa de crecimiento en que se encuentre en el momento de la cosecha (Amador y Boschini, 2000; Wang-Yeong *et al.*, 1995). La producción de materia seca por hectárea oscila de 14.5 a 15.4 t /ha<sup>-1</sup> en híbridos precoces de origen templado, de 13.8 a 14.4 t /ha<sup>-1</sup> en híbridos intermedios templados y de 14.1 a 14.9 t /ha<sup>-1</sup> en híbridos intermedios tropicales (Núñez *et al.*, 2001). Pero hay reportes en donde se mencionan rendimientos de más de 20 t /ha<sup>-1</sup> de materia seca en híbridos comerciales (Peña *et al.*, 2002).

### **Contenido de grano**

En el maíz, el rendimiento de grano depende del número de granos por planta y del peso individual del mismo. El número de granos por mazorca es el componente del rendimiento más afectado por condiciones ambientales adversas como alta densidad de población y sombreado artificial (Reta *et al.*, 2003). El contenido de grano en el maíz forrajero es de primordial importancia, por que es la parte más digestible (Peña *et al.*, 2002); está dado por el tamaño de la mazorca, e influenciado por el número de hileras por mazorca y por el

número de granos por hilera (Rodríguez *et al.*, 2000). Por lo general se considera que híbridos altamente productores de grano son los mejores en calidad forrajera (Geiger *et al.*, 1992; Peña *et al.*, 2003), ya que un alto porcentaje de mazorcas o un alto índice de cosecha favorecen incrementos en la calidad nutritiva del forraje (Cox *et al.*, 1994; Peña *et al.*, 2003). Con algunas excepciones, la proporción de mazorcas se correlaciona de manera alta y significativa con la digestibilidad de la planta total, esto significa que la selección de materiales con alta proporción de mazorcas, podría favorecer una mayor calidad del forraje (Peña *et al.*, 2002). Al respecto se ha señalado, que con una proporción de mazorcas superior al 54 por ciento, se podría asegurar forraje de alta digestibilidad *in vitro* (Núñez *et al.*, 1999; Peña *et al.*, 2002). Las características relacionadas con el incremento en la producción de grano pueden integrarse en un programa de mejoramiento genético con el fin de avanzar en el diseño de la planta de maíz forrajero que se desea obtener (Rodríguez *et al.*, 1999).

### **Altura de planta**

La altura de la planta influye en la producción de materia seca, pero debe tener el tamaño adecuado a fin de contribuir con aproximadamente el 50 por ciento del peso total, para no incrementar el contenido de fibras (Rodríguez *et al.*, 2000). Entre los mutantes que modifican el tamaño de la planta destaca el braquítico-2 (br-2), que ha sido utilizado con éxito para formar maíces adaptados a altas densidades de población, sin que la mazorca se reduzca; lo

anterior combinado con una espiga compacta, hojas erectas y tallos fuertes. En cuanto a la relación entre la altura de la planta y la digestibilidad *in vitro*, esta se atribuye a que la mayoría de los híbridos de porte bajo tienen mayor contenido de mazorca (Núñez *et al.*, 2003).

### **Uso de mutantes**

Varios mutantes del endospermo dados por la acción de un gen pueden ser de utilidad, algunos de ellos son el doble mutante (o2su2), con los genes de opaco-2 (o2) y azucarado-2 (su2), este doble mutante incrementa la digestibilidad *in vitro*, el contenido de minerales, aceite y lisina en el endospermo (Rodríguez *et al.*, 2000). El opaco-2 (o2) se caracteriza por tener endospermo suave con gránulos de almidón empaquetados libremente que pueden ser más accesibles a los microorganismos durante la fermentación ruminal. En un estudio con vacas lecheras se encontró mayor digestibilidad de la materia seca y del almidón en raciones con ensilados realizados con maíz opaco-2 en comparación con híbridos normales (Dado, 1999). Sin embargo hay trabajos en donde no se observaron diferencias en rendimiento o digestibilidad *in vitro* entre híbridos opaco-2 y normales. Esta información sugiere que las evaluaciones con animales *in vivo*, detecta ventajas en los maíces opaco-2, que no son posibles a través de métodos de digestibilidad *in vitro* (Nuñez *et al.*, 2001).



## **Heredabilidad de los caracteres agronómicos**

La alta heredabilidad de las características agronómicas para la producción de forraje, permiten predecir la efectividad de la selección recurrente (Rodríguez *et al.*, 2000). Por medio del mejoramiento genético es posible contar con materiales especializados que cumplan con los requerimientos de los productores; seleccionando plantas con mayor producción de forraje, sin descuidar el aspecto nutritivo. Autores como Struik (1984); Pinter (1985) y Rodríguez *et al.* (2000) han descrito ideotipos de maíz para forraje en los que incluyen caracteres de producción y de calidad.

## **Características químicas en el mejoramiento genético de maíces forrajeros**

### **Digestibilidad**

Algunos autores señalan que la luz solar y la temperatura son los factores ambientales que más afectan la calidad de los forrajes, la luz solar promueve la síntesis de carbohidratos solubles y aumenta la digestibilidad, mientras que la temperatura es el factor ambiental que más afecta negativamente la calidad nutritiva de los forrajes (Buxton y Fales, 1994). Las altas temperaturas disminuyen la digestibilidad debido al aumento en la concentración de fibras y de lignina (Nuñez y Cantu, 2000; Nuñez *et al.*, 2003); y promueven el aumento del grosor de las paredes celulares (Wilson *et al.*, 1991); en el caso del sorgo x sudán se ha reportado que un incremento de la

temperatura de 21 a 27°C en el ciclo del cultivo disminuye en siete unidades la digestibilidad (Downes *et al.*, 1974).

La pared celular es el mayor constituyente orgánico de los forrajes, ya que comprende del 40 al 80 por ciento de la materia seca y está constituida por polisacáridos estructurales como celulosa, hemicelúlosa y pectina (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2002). Dependiendo de la constitución de la pared celular, la digestibilidad varía; de 100 por ciento en las células mesófilas a 0 por ciento en el xilema, esta variación ocurre en diferentes tejidos dentro de una parte de la planta y entre tejidos similares en diferentes especies forrajeras (Ramírez *et al.*, 2002).

El valor nutritivo de la materia seca del maíz se explica considerando el follaje (hojas y tallos) y grano; la digestibilidad de estos componentes varía de 53.0 a 65.1 por ciento para follaje y de 88.7 a 93.9 por ciento para grano (Jonson *et al.*, 1997). Otros estudios señalan diferencias entre híbridos de maíz de 26.2 a 65.0 por ciento en la digestibilidad de tallos y de 58.0 a 67.6 por ciento en el follaje (Lundvall *et al.*, 1994). Los datos indican que existe amplia variabilidad genética en la digestibilidad del rastrojo, grano, tallo y hojas en los híbridos en uso (Lundvall *et al.*, 1994; Peña *et al.*, 2002). Algunos autores señalan que la relación del rendimiento de grano y el rendimiento de tallos más hojas, es determinante para la determinación del valor del forraje; aunque se han identificado diferencias entre híbridos de maíz en contenidos de proteína,

fibras y digestibilidad, tanto de la materia seca como de las fibras (Allen *et al.*, 1995; Lauer 2000; Nuñez *et al.*, 2003).

La variabilidad genética de la digestibilidad es mayor en la parte vegetativa que en el grano (Cox *et al.*, 1994; Geiger *et al.*, 1992; Peña *et al.*, 2002), de tal manera que la selección por calidad del follaje podría favorecer avances más notables en el mejoramiento (Peña *et al.*, 2002). Aunque hay reportes, en los que no se ha encontrado variación genética para digestibilidad del grano, interacción genética con el ambiente y planta total, pero si diferencias importantes en producción de materia seca total y de follaje (Ruggero y Bertoia, 2000). Varios autores (Allen *et al.*, 1991; Hunt *et al.*, 1992; Cox *et al.*, 1994) señalan ausencia de interacción años x híbridos o loc x híbridos para concentraciones de FDN y digestibilidad *in vitro*; aún en ambientes con diferencias marcadas en temperatura y humedad del suelo (Allen *et al.*, 1991).

La digestibilidad del forraje de maíz está influenciada por el contenido de grano y por la calidad nutritiva de la planta sin elote (Hunt *et al.*, 1992; Peña *et al.*, 2003). Se ha reportado una alta correlación entre el índice de cosecha y el contenido de fibras y digestibilidad (Cox *et al.*, 1994; Coors *et al.*, 1997), y no menos importante es la contribución de la proporción de mazorcas en base seca sobre el contenido de energía metabolizable en un gran número de híbridos evaluados (Geiger *et al.*, 1992). La digestibilidad de la planta sin elote en algunas fuentes de germoplasma presenta alta contribución a la

digestibilidad de la planta total, incluso superior a la que aporta la proporción de mazorcas o el rendimiento de grano (Wolf *et al.*, 1993; Peña *et al.*, 2003).

En trabajos con híbridos, se han detectado variaciones en la digestibilidad de la planta sin elote de 66.0 a 69.7 por ciento (Coors *et al.*, 1997) y del 59.2 a 73.4 por ciento (Peña *et al.*, 2003). En el caso de diferencias en precocidad se ha reportado valores de digestibilidad *in vitro* de 62.6 a 67.8 en híbridos de ciclo intermedio y de 67.2 a 73.2 por ciento en híbridos precoces (Nuñez *et al.*, 2001). Por lo que la selección por calidad de la planta sin elote podría favorecer mayores avances en el mejoramiento de maíces forrajeros (Peña *et al.*, 2003). Este enfoque concuerda con programas Europeos que han orientado sus esfuerzos al mejoramiento de la digestibilidad de la planta sin elote con resultados positivos (Pinter *et al.*, 1994; Peña *et al.*, 2003).

Se han identificado varios rasgos químicos que limitan la digestibilidad de la fibra, de estos la lignina es la más mencionada; se piensa que la lignina es el principal factor que interfiere con la degradación de los otros componentes de la pared celular (Peña *et al.*, 2003). Por lo que la lignificación de la pared celular en las plantas ha sido correlacionada con una reducción en la degradabilidad de la materia seca (Ramírez *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 2002), similarmente el contenido de lignina también ha sido relacionado con una baja digestibilidad *in vitro* e *in situ* de la materia seca (Ramírez *et al.*, 2002).

## Contenido de fibras

La concentración de fibras en el rastrojo del maíz es alta, como sucede en la mayoría de las especies C4 de climas calurosos (Buxton *et al.*, 1996). El contenido de grano en el forraje de maíz es un factor que incrementa la palatabilidad, el nivel de la energía neta de lactancia (ENL) (Widdicombe *et al.*, 2002) y en el contenido de fibras (Rodríguez *et al.*, 1999). A mayor contenido de mazorca, la concentración de fibras y lignina en la planta sin elote se incrementan, mientras que en el elote se reducen; es decir, existe un efecto opuesto entre la calidad del elote y la calidad de la planta sin elote. El contenido de fibras de la planta total y especialmente el contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la planta sin elote ha sido considerado igual de importante que el contenido de grano, en la calidad del forraje (Peña *et al.*, 2003). Vattikonda y Hunter, (1983) reportan alta correlación entre la digestibilidad de la planta total y la digestibilidad de la pared celular (FDN) de la planta sin elote, en tanto que Deinum y Bakker, (1981) no encontraron correlación entre la digestibilidad de la planta total y la proporción de mazorca. El contenido de la FDN del forraje es un determinante de la cantidad de alimento que la vaca lechera puede consumir hasta sentirse llena, a mayor contenido de fibra menos alimento consumido (Herrera, 1999). Existe amplia variabilidad en el contenido de FDN de hojas y tallos, con valores de 57.9 a 65 y de 30 al 60 por ciento en forraje total (Wolf *et al.*, 1993). Algunos autores reportan variaciones de 24.8 a 61.5 por ciento en la digestibilidad de la FDN de híbridos de maíz (Weiss, 1998); lo anterior significa que híbridos con la misma concentración de FDN pueden llegar a tener valores

de energía neta de lactancia diferentes debido a que la digestibilidad de FDN no es la misma (Nuñez *et al.*, 2003).

La fibra detergente ácido (FDA) y la lignina son frecuentemente empleados con propósitos de predicción del valor energético de los forrajes (Van Soest, 1996), debido a que presentan los componentes menos digestibles de las paredes celulares (Peña *et al.*, 2003). El contenido de FDA está inversamente relacionado con la digestibilidad del forraje, e influye en el valor relativo del mismo (Rodríguez *et al.*, 2000), en algunos casos se emplea con propósitos de predicción del valor energético de los forrajes (Undersander *et al.*, 1993). Se ha observado que la relación entre digestibilidad *in vitro* y FDA esta influenciada por factores ambientales (Van Soest, 1996), mientras que la relación de FDN es más consistente a través de años (Graybill *et al.*, 1991; Nuñez *et al.*, 2001). En estudios realizados en poblaciones la FDA fluctuó de 34.2 a 41.1 por ciento (Moreno-González *et al.*, 2000) y de 29.5 a 40.4 por ciento (Peña *et al.*, 2003). Las correlaciones negativas entre fibras y digestibilidad son comunes en la literatura (Geiger *et al.*, 1992; Wolf *et al.*, 1993; Cox *et al.*, 1994; Peña *et al.*, 2002) y sugieren que estas variables pueden usarse como indicadores de la calidad del maíz. Por lo que el maíz forrajero puede mejorarse a través de la selección para disminuir la proporción de fibras o aumentar la proporción o magnitud de la digestibilidad de la fibra digestible. Ya que al disminuir la concentración de fibras del forraje y/o aumentar la digestibilidad de las fibras puede incrementar la ingestión de materia seca y el desarrollo del animal (Buxton *et al.*, 1996).

## Energía neta de lactancia

Algunos estudios reportan asociación negativa entre las variables días a cosecha y altura de planta, FDN, FDA y concentraciones de lignina, y asociación positiva con el porcentaje de mazorca con la ENL (Rodríguez *et al.*, 1999). El contenido de grano en el forraje de maíz es un factor determinante de la ENL (Reta *et al.*, 2000). Con una proporción de mazorca del 54 por ciento se puede asegurar una ENL de 1.5 Mcal o más por kg de materia seca, y una digestibilidad *in vitro* mayor del 68 por ciento (Geiger *et al.*, 1992, Nuñez *et al.*, 1999). Algunos autores mencionan que al aumentar la densidad de plantas disminuye la ENL por kg de materia seca; debido a la reducción en la digestibilidad como resultado del menor contenido de grano y el mayor contenido de fibras en la planta (Cox *et al.*, 1994). De manera general puede establecerse que los conceptos más importantes que determinan la calidad de un forraje desde el punto de vista químico, son las siguientes:

Cuadro 2.1 Criterios de calidad para fuentes forrajeras (Herrera, 1999)

Concepto	Baja calidad	Alta calidad
Contenido de FDN	Más de 60%	De 40 a 52%
Contenidos de FDA	Más de 35%	De 25 A 32%
Contenido de ENL	Menos de 1.4 Mcal Kg <sup>-1</sup>	Más de 1.45 Mcal Kg <sup>-1</sup>
Digestibilidad de la MS	Menos de 60%	Más de 65%

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **Área de estudio**

El presente estudio se realizó en el 2000 y 2001, en terrenos del "Rancho Ampuero" ubicado en Torreón, Coahuila, México. Localizado en la Comarca Lagunera, entre los paralelos 25° 33' de LN y los 103° 26' de LW, con altitud de 1200 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 22.6°C y 217 mm, respectivamente.

#### **Clima del área de estudio**

De acuerdo a la clasificación de climas de Thorthwaite, según el Atlas Nacional del medio Físico (1982), modificado por Alfonso Contreras, la Comarca Lagunera en casi toda su área cultivable, tiene clima muy seco con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, temperatura semicálida con invierno benigno (Ed B1, "b"); exceptuando la parte norte de los municipios de Francisco I. Madero y San Pedro de las Colonias, cuyo clima es seco con temperatura semicálida e invierno benigno seco (D1B1, "b").

Según el sistema de W. Koeppen la mayor parte del área cultivable de la Comarca Lagunera tiene clima seco de desierto, llueve durante el verano. Temperatura caliente con media anual  $\geq 18^{\circ}$  C (BW<sub>hw</sub>).



### Material genético

Se evaluaron 28 cruzas simples durante dos años, las cuales provenían de las cruzas entre ocho líneas elite de maíz QPM de grano blanco del programa de mejoramiento genético de maíz del CIMMYT.

Cuadro 3. 1 Genealogía de las ocho líneas de maíz QPM utilizadas para producir las 28 cruzas dialélicas directas.

Línea	CML No	Pedigrí
1	CML146	AC856MH35-3-1-B-2-1-B-B-1-B-B-#
2	CLQ6203	Pob62C3HC163-3-3-3-2#-1-1-2-2*B-6-5*B
3	CML147	Pob63c2HC53-1-1-B-B-B-9-B-B-#
4	CML148	G23QMH19-1-1-B-1-2-B-B-B-B-#
5	CML150	G24QMH169-2-1-B-3-1-1-B-B-3-B-#-#-B
6	CML173	Pob68C1HC180-1-3-1-1-B-2-B-B
7	CML144	Pob62c5HC182-2-1-2-B-B-3-1-#-#
8	CML159	Pob63c2HC5-1-3-1-B-2-1-1-B-#

### Diseño y parcela experimental

El material genético, lo constituyeron las 28 cruzas simples resultantes de las cruzas directas entre ocho líneas y el testigo normal que fue el híbrido 3002 W, las 28 cruzas y el testigo se sembraron en el 2000 y 2001, en terrenos del " Rancho Ampuero". El diseño experimental usado en los dos años fue bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental constó de 3

surcos de 3 metros de largo, separados a 0.75 m entre surco y surco y 0.16 m entre planta y planta, dando una densidad aproximada de 80,000 plantas/ha<sup>-1</sup>.

### **Fecha de siembra y labores culturales**

La siembra se realizó manualmente el 10 de julio en el 2000 (ciclo B) y el 20 de abril en el 2001 (ciclo A), en ambos años, se fertilizó con la fórmula 120N-60P-00K, aplicando 60 unidades de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno en la escarda antes del primer riego de auxilio. El manejo del cultivo en los dos años del estudio fue el óptimo, aplicándose 3 riegos de auxilio y uno de presembrado. El aporque se llevó a cabo a los 26 días después de la siembra con una escarda mecánica y el control de plagas se realizó durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo mediante la aplicación de insecticidas.

### **Toma de datos**

En cada una de las parcelas se midieron las características agronómicas mencionadas a continuación:

1. Altura de planta (AP). Distancia en m desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera, la cual se obtuvo al momento de floración de un muestreo de 5 plantas al azar por parcela.

2. Rendimiento de forraje verde (RFV). Se midió cuando en el grano la línea de almidón se encontraba a un tercio (poco después del estado masoso-lechoso), se cortaron y pesaron 10 plantas tomadas al azar con competencia completa. El RFV ( $t\ ha^{-1}$ ) se calculó con la siguiente fórmula:

$$RFV = \frac{Ph \times Ds}{Np \times 1000}$$

Donde: Ph = Peso húmedo de las plantas muestreadas; Ds = Densidad de siembra y Np = Número de plantas muestreadas.

3. Materia seca total (MST). Para estimar la materia seca total, se utilizó la siguiente metodología: se tomó una muestra de 1000 g de cada una de las muestras usadas para obtener el RFV, las cuales se pusieron a secar en una estufa de aire forzado a una temperatura de  $60^{\circ}C$  hasta alcanzar peso constante, para determinar el contenido de humedad (Undersander *et al.*, 1993). Posteriormente la MST se calculó con la siguiente fórmula:

$$MST = \frac{Ps \times RFV}{Phm}$$

Donde: Ps = Peso seco de la muestra; RFV = Rendimiento de forraje verde ( $t\ ha^{-1}$ ) y Phm = Peso húmedo de la submuestra (1000 g).

$$4. \text{ Proporción de elote (PE)} = \frac{\text{peso de 10 elotes}}{\text{peso de 10 plantas} + \text{los elotes}}$$

Las características químicas de calidad del forraje se determinaron a partir de una muestra homogénea de las cruzas por año de la MST, la cual fue molida en un molino Willey con malla de 1 mm, a la que se le determinó: proteína cruda (PC), Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), energía neta de lactancia (ENL) y consumo de materia seca (CMS), por medio del espectrofotómetro de rayos cercanos al infrarrojo (NIRS) del laboratorio de análisis de calidad forrajera de la empresa lechera LALA previamente calibrado con técnicas convencionales. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV) se calculó de acuerdo al procedimiento descrito por Goering y Van Soest (1970).

### Diseños estadísticos y genéticos

Para cada una de las características agronómicas evaluadas se realizó un análisis combinado a través de ambientes con dos repeticiones (Cuadro 3.2), para lo cual se usó el procedimiento anova del paquete estadístico SAS (SAS, 1989). El modelo para el análisis combinado a través de ambientes fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \phi_k + \alpha_{j(k)} + \beta_i + \phi\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $y_{ijk}$ , observación total;  $\mu$ , efecto de la media general;  $\phi_k$  efecto de la  $k$ -ésima año;  $\alpha_{j(k)}$  efecto de la  $j$ -ésima repetición dentro de años;  $\beta$  efecto del  $i$ -

ésimo tratamiento;  $\phi\beta_{ik}$  efecto del i-ésimo tratamiento dentro del k-ésimo año;

$\varepsilon_{ijk}$  efecto del error experimental.

i = 1,2,...,t (tratamientos); j = 1,2,...,r (repeticiones); k = 1,2,...,l(localidades)

Cuadro 3.2 Análisis de varianza para el diseño estadístico combinado

F. V	GL	SC	CM	F
Años(A)	a-1	$\frac{\sum_{k=1}^a y^2 \dots k}{tr} - \frac{y^2}{trl}$	$\frac{scloc}{l-1}$	$\frac{CMloc}{CMe}$
Rep/años	(r-1)a	$\frac{\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^a y^2 \dots jk}{t} - \frac{\sum_{k=1}^a y^2 \dots k}{tr}$	$\frac{screp/loc}{(r-1)l}$	$\frac{CMrep/loc}{CMe}$
Cruzas(C)	t-1	$\frac{\sum_{i=1}^t y^2 i \dots}{rl} - \frac{y^2 \dots}{trl}$	$\frac{sctrat}{t-1}$	$\frac{CMtrat}{CMe}$
Año x trat	(l-1)(t-1)	$\frac{\sum_{k=1}^a \sum_{i=1}^t y^2 i \dots k}{r} - \frac{\sum_{i=1}^t y^2 i \dots}{rl} - \frac{\sum_{k=1}^a y^2 \dots k}{tr} + \frac{y^2 \dots}{trl}$	$\frac{sclocXtrat}{(l-1)(t-1)}$	$\frac{CMlocxtrat}{CMe}$
RepxC/A	(r-1)(c-1)a	$\frac{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^a y^2 ijk}{t} - \frac{\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^a y^2 \dots jk}{t}$ $- \frac{\sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^a y^2 i \dots k}{r} + \frac{\sum_{k=1}^a y^2 \dots k}{rt}$	$\frac{scRepxC/A}{(l-1)(t-1)(A-1)}$	
Total	Trl-1	$\frac{\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^l y^2 ijk}{t} - \frac{y^2 \dots}{trl}$		

### Análisis dialélico

El análisis dialélico se realizó utilizando el método IV de Griffing (Griffing, 1956), siendo su modelo lineal el siguiente

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + y_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $Y_{ijk}$ , es el valor fenotípico observado de la cruce con progenitores i y j, en el bloque K;  $\mu$ , media general;  $g_i$ , efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor i;  $g_j$ , efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor j;  $s_{ij}$ , efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruce (i, j);  $y_k$ , efecto de la k-ésima repetición;  $\varepsilon_{ijk}$ , efecto del error experimental. Para lo cual se considera que los valores  $g_i$ ,  $g_j$ ,  $s_{ij}$  y  $\varepsilon_{ijk}$  como variables aleatorias no-correlacionadas entre y dentro de ellas, todas con media cero y varianzas  $\sigma_g^2$ ,  $\sigma_s^2$ ,  $\sigma_r^2$  y  $\sigma_e^2$ , respectivamente, con  $r_{ij} = -r_{ji}$  y  $s_{ij} = s_{ji}$  (Martínez, 1983).

Para conocer los valores superiores de los caracteres en estudio se tomo como dicho valor a todas aquellos que superaron a la media más dos veces su error estándar ( $\mu + 2\sigma$ ).

Cuadro 3.3 Forma del análisis de varianza para el método IV del diseño dialélico.

F.V	GL		ECM
Repeticiones	r-1		
Cruzas	$\frac{p(p-1)}{2} - 1$	M4	$\sigma^2 e + \sigma^2 \text{Cruzas}$
ACG	p-1	M3	$\sigma^2 e + r\sigma^2 \text{ACE} + r(p-2)\sigma^2 \text{ACG}$
ACE	$\frac{p(p-3)}{2}$	M2	$\sigma^2 e + r\sigma^2 \text{ACE}$
Error	$\left[ (r-1) \left( \frac{n(n-1)}{2} \right) \right] - 1$	M1	$\sigma^2 e$
Total	$\frac{rp(p-1)}{2} - 1$		

También se calculó el coeficiente de variación (CV) para determinar la variación relativa del error experimental en el análisis de varianza mediante la fórmula siguiente:

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde: CV = Coeficiente de variación; CMEE = Cuadrado medio del error experimental;  $\bar{X}$ , media general.

### Estimaciones de aptitud combinatoria

La estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) se determinaron con la finalidad de conocer el comportamiento genético de los progenitores y de las cruzas, para lo cual se

utilizaron las medias de los caracteres y las formulas son las propuestas por Sprague y Tatum (1942).

a) Estimación de la ACG

$$g_i = \frac{1}{p(-2)} [P_{xi.} - 2x_{..}]$$

b) Estimación de la ACE

$$s_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{p-2} (X_{i.} + X_{.j}) + \frac{2}{(p-1)(p-2)} (X_{..})$$

Donde:  $g_i$  = Aptitud combinatoria del i-ésimo progenitor;  $s_{ij}$  = Aptitud combinatoria específica de la cruce  $i, j$ ;  $p$  = progenitores;  $X_{i.}$  = total del progenitor  $i$ ;  $X_{.j}$  = total del progenitor  $j$ ;  $X_{ij}$  = total de la cruce;  $X_{..}$  = gran total.

Para probar la significancia de los efectos de ACG y ACE se usó la prueba de  $t$  de student, mediante la siguiente formula:

$$t = \frac{x}{EE}$$

Donde:  $x$  = efecto de ACG o ACE;  $EE$  = error estándar

### **Estimación de varianzas de ACG y ACE**

La estimación de las varianzas de ACG y Ace se realizó utilizando las esperanzas de cuadrados medios del análisis dialélico para cada una de las variables evaluadas.



a).- Varianza de la ACG

$$\sigma^2_{ACG} = \frac{ECM_{ACG} - ECM_{ACE}}{r} \left( \frac{1}{p-2} \right)$$

b).- Varianza de la ACE

$$\sigma^2_{ACE} = \frac{ECM_{ACE} - ECMe}{r}$$

### Estimaciones de los errores estándar

Error estándar para la ACG

$$ES_{(ACG)} = \sqrt{\left[ \frac{(p-1)}{p(p-2)} \right] \left[ \frac{CMerror}{r} \right]}$$

Error estándar para la ACE

$$EE_{(ACE)} = \sqrt{\left[ \frac{p^2 + p + 2}{(p-1)(p-2)} \right] \left[ \frac{CMerror}{r} \right]}$$

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado (Cuadro 4.1) para altura de planta (AP), producción de forraje verde (PFV), porcentaje de elotes (PE) y materia seca total (MST), detectó diferencias significativas para años, lo que significa que el ambiente constituido por clima, suelo y manejo no es uniforme de un año a otro. Por ello, en un programa de mejoramiento genético de plantas es común establecer el mismo experimento en diferentes ambientes o años, para estimar con mayor precisión el valor de los componentes genéticos y separar el efecto del genotipo x ambiente, como lo expresan Gutiérrez *et al.* (2002). Se detectaron diferencias estadísticas entre cruzas para los cuatro caracteres agronómicos evaluados ( $P \leq 0.01$ ), lo que era de esperarse dada la variabilidad existente entre los progenitores (líneas) incluidos en la presente investigación. Coincidiendo estos resultados con los reportados por Bosch *et al.* (1994), Torrecillas y Bertoia (2000) y Argillier *et al.* (2000) quienes reportan diferencias significativas en la mayoría de los caracteres forrajeros en poblaciones y compuestos raciales. Para la interacción Años x cruzas (GXA) se encontró significancia estadística ( $P \leq 0.01$ ) para altura de planta y porcentaje de elotes, lo cual indica que estos caracteres están influenciados por las variaciones ambientales que afectan el comportamiento de las cruzas para dichos caracteres. Resultados similares fueron reportados por Moreno-González *et al.* (2000), pero difieren con los reportados por Allen *et al.*, (1991) y Cox *et al.*, (1994) quienes señalan ausencia de significancia para dicha interacción.

Existen factores que pueden interaccionar con las cruzas, como son fecha de siembra, clima, suelo y manejo. Por lo que, los resultados del presente estudio están limitados a la fecha de siembra y a las cruzas que fueron utilizadas.

Con respecto a los coeficientes de variación reportados para el análisis combinado de los caracteres agronómicos, se observa que estos son bajos. El porcentaje de elotes (rendimiento), producción de forraje verde y materia seca, total son caracteres de herencia compleja, por lo que son más afectados por factores ambientales, correspondiendo en el presente trabajo el mayor coeficiente de variación al porcentaje de elotes, lo que indica que en este carácter se cometió mayor error de muestreo y toma de datos. Sin embargo los coeficientes de variación no son tan altos para afectar la confiabilidad de los resultados, considerando que el material genético utilizado es heterogéneo debido a la diversidad de orígenes de las líneas, al respecto Rivera (1977) y Kang *et al.* (1999) en estudios con cruzas intervarietales de maíz encontraron que los coeficientes de variación se incrementan a medida que lo hace la diversidad genética de los progenitores.

En Virtud de que las cruzas muestran diferencias para todas las características agronómicas evaluadas, no existe restricción para realizar el análisis dialélico de los datos, tal como lo señalan Hallauer y Miranda (1981).

Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis combinado para cuatro caracteres agronómicos.

FV	GI	AP	PFV	PE	MST
Años	1	4.38**	575.41*	3234.67**	189.02*
Bloc(Años)	2	0.01	16.98	86.02	3.99
Cruzas	27	0.16**	329.61**	221.12**	84.44**
Años(Cruzas)	27	0.06**	16.67	169.06**	6.90
Error	54	0.02	10.47	22.07	2.46
C.V		7.90	7.00	15.90	8.0

\* y \*\* = significancia a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; AP = altura de planta; PFV = producción de forraje verde; MST = materia seca total y PE = porcentaje de elote.

Debido a que se encontraron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente de variación de interés (cruzas) en el análisis combinado de los caracteres agronómicos, se procedió a realizar el análisis dialélico método IV de Griffing (1956), para cada uno de los caracteres agronómicos y químicos. En el Cuadro 4.2 se presentan los cuadrado medios del análisis de varianza dialélico de cuatro caracteres agronómicos, mientras que el Cuadro 4.3 contiene los cuadrados medios del análisis dialélico de los seis caracteres químicos. El análisis de varianza dialélico detectó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente variación cruzas en todos los caracteres agronómicos y químicos evaluados, con excepción del carácter digestibilidad in vitro de la materia seca (DIV); al respecto de la no significancia para este carácter, estos resultados coinciden con los reportados por Dhillon *et al.* (1990) para cruzas dialélicas y con Peña *et al.* (2003) quienes reportan no significancia para DIV para maíces

normales, y sugieren que para este carácter existe menor variación genética; pero se difiere de lo reportado por Nuñez *et al.* (2003) quienes reportan variación en la digestibilidad *in vitro* entre híbridos normales de maíz.

Con base en la descomposición de las sumas de cuadrados, se encontraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente de variación ACG de los caracteres altura de planta (AP), producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST), consumo de materia seca (CMS) y proteína cruda (PC), y efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente de variación ACE de todos los caracteres agronómicos y químicos, con excepción de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV), al respecto de la significancia encontrada para la ACE de todos los caracteres agronómicos (Cuadro 4.2) y de cinco caracteres químicos de los seis evaluados (Cuadro 4.3), esto sugiere que existen cruza específicas con los efectos de dominancia de algunas líneas que pueden ser utilizadas para formar híbridos con características agronómicas y químicas de alta calidad forrajera derivados de las líneas en estudio, al respecto de la significancia de la ACG y ACE para MST y PFV Dhillon *et al.* (1990) reportan resultados similares. En tanto que Hoegenmeyer y Hallauer (1976) señalan que en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la ACE será más importante que la ACG, ya que esta puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres agronómicos de ocho líneas de maíz QPM, bajo un diseño dialélico método IV.

FV	GL	AP	PFV	PE	MST
Cruzas	27	0.16**	332.72**	221.19**	84.34**
ACG	7	0.14**	589.48**	81.82	128.92**
ACE	20	0.16**	242.85**	269.97**	68.74**
Error	81	0.03	12.63	71.06	3.94
CV(%)		7.90	6.8	16.00	7.9

GL = grados de libertad; AP = Altura de planta; PFV = Producción de forraje verde; PE = proporción de elote; MST = Materia seca total; CV = Coeficiente de variación; \* (P<0.05), \*\* (P<0.01).

Cuadro 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres químicos de calidad forrajera de ocho líneas de maíz QPM, bajo un diseño dialélico método IV.

FV	GL	DIV	CMS	PC	FDA	FDN	ENL
Cruzas	27	672.82	10.66**	301.52**	1986.76**	4595.13**	89490000**
ACG	7	918.83	16.36**	250.09**	980.47	678.04	133100000
ACE	20	586.72	8.67**	319.52**	2338.96**	5966.11**	74210000**
Error	27	723.98	2.98	51.27	285.37	970.87	7214000
CV(%)		3.95	7.00	8.74	6.31	6.32	8.81

GL = grados de libertad; DIV = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; CMS = Consumo de materia seca; PC = Proteína cruda; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutro; ENL = Energía neta de lactancia; CV = Coeficiente de variación; \* (P<0.05), \*\* (P<0.01).

La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados medios indica el tipo de acción génica en los caracteres (Baker, 1978). En este sentido, los cuadrados medios debidos a los efectos de ACG fueron mayores que los de ACE para producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST) (Cuadro 4.2), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV), consumo de materia seca (CMS) y energía neta de lactancia (ENL) (Cuadro 4.3), lo que señala la importancia de los efectos de tipo aditivo en estos caracteres. Coincidiendo en el caso de MST y PFV con Ferret *et al.* (1991) y con Barrière *et al.* (1993) quienes reportan que en evaluaciones de líneas de maíz para caracteres forrajeros, los cuadrados medios de ACG fueron mayores que los de ACE, y señala la importancia de los efectos de tipo aditivo en estos caracteres; en tanto que los efectos no aditivos fueron el componente más importante en los caracteres altura de planta (AP), proporción de elotes (PE); proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN), lo que puede deberse a que hay efectos no aditivos que están interaccionado en estos caracteres de calidad forrajera. Al respecto Hoegenmeyer y Hallahuer (1976) indican que la ACG explica la proporción de la varianza genotípica que es debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que en la ACE se encuentra la proporción de la varianza fenotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia y Singh y Chaudary (1985) plantean que los efectos de ACE son más importantes que los de ACG sólo cuando los materiales han sido sometidos a mejoramiento. Tal como fue el caso de las líneas evaluadas en la presente investigación. En general el análisis de los cuadrados medios indica que los efectos de tipo aditivo fueron de mayor

importancia para PFV, MST, DIV, CMS y ENL. En cambio, los efectos no aditivos fueron proporcionalmente de mayor importancia en la expresión de AP, PE, PC, FDA y FDN.

El comportamiento promedio de las cruzas para los caracteres agronómicos y los químicos se presentan en los cuadros 4.4 y 4.5. Los valores superiores de las variables en estudio fueron determinados con base en los valores que superaron el valor de la media ( $\mu$ ) más dos desviaciones estándar ( $2\sigma$ ), Se puede observar que muestran una amplia variación entre ellos. Se encontraron diferencias entre maíces QPM y el testigo normal 3002W, en todos los caracteres evaluados. Para las variables agronómicas, la altura varió de 1.87 a 2.50 m para los maíces QPM, mientras que en el testigo fue de 2.90 m, las cruzas con mayor altura fueron la 2x5, 4x5, 5x7 y 7x8; estas mismas cruzas tuvieron la mayor producción de forraje verde y de materia seca total, pero en contraste tuvieron bajos porcentajes de elote, lo que se puede traducir en forraje de baja calidad, ya que el contenido de mazorcas es de primordial importancia (Nuñez *et al.*, 1999) (Cuadro 4.4). En lo referente a la relación entre la altura de planta y la producción de forraje verde (PFV) y seco (MST) Nuñez *et al.* (2001) reportan que la producción de forraje verde y de materia seca total correlacionan positivamente con la altura de planta, en tanto que Hallauer y Miranda (1988) y Rodríguez *et al.* (1999) mencionan que la altura de planta influye en la producción de forraje verde y seco, pero debe contribuir con el 50% del peso total, a fin de no disminuir la proporción de elote.



Respecto al RFV varió de 40.7 a 71.3 t/ha<sup>-1</sup>, mientras que para el testigo fue de 48.3 t/ha<sup>-1</sup>. Para materia seca total por hectárea fue de 12.2 a 21.1 t/ha<sup>-1</sup>, mientras que el testigo rindió 18.8 t/ha<sup>-1</sup>. Para Porcentaje de elotes (PE) vario de 29 a 55 por ciento, mientras que el testigo presentó un 46 por ciento, siendo las cruzas de mayor PE la 1x4, 2x4, 2x8, 3x8 y 6x7, con valores que van de 50 a 55 por ciento y que son superiores al testigo; al respecto Geiger *et al.* (1992) y Peña *et al.* (2003) mencionan que los genotipos con altos porcentajes de elote, pueden considerarse como de alta calidad forrajera, debido a que hay relación directa entre el incremento de la producción de elote y el incremento de la digestibilidad in vitro. Con respecto a la altura de las cruzas de mayor PE se observó que no son las de mayor altura, lo que coincide con Nuñez *et al.* (2003) quienes mencionan que los híbridos de porte bajo tienen mayor contenido de mazorca y por ende mayor digestibilidad. Relación que no se cumple con el testigo, ya que a pesar de ser el de mayor altura, tiene un porcentaje de elote superior a la media.

Para los caracteres químicos se encontró que la DIV varió de 632 a 712 g kg<sup>-1</sup>, mientras que para el testigo fue de 671 g kg<sup>-1</sup>, correspondiendo los mayores valores a las cruzas 1x2, 3x7, 5x8, 6x8 y 7x8, los cuales se encuentran dentro de los reportados por Argiller *et al.* (2000) y son superiores a los reportados por Nuñez *et al.* (2001) para híbridos de alta calidad proteínica, y superiores al testigo; en tanto que Ramírez *et al.* (2002) mencionan que la digestibilidad puede variar dependiendo de la pared celular de 100 % en las células mesófilas a 0 % en el xilema, dependiendo de la parte de la planta; para

consumo de materia seca se encontró un rango de 20 a 28, mientras que para el testigo fue de 22, al respecto del rango de valores encontrados para CMS, estos se encuentran dentro del rango reportado por Holland *et al.* (1990). Para PC el rango varió de 73.5 a 98.0 g kg<sup>-1</sup>, mientras que para el testigo fue de 78 g kg<sup>-1</sup>, valores que son superiores a los reportado por Nuñez *et al.* (2001) para maíces de alta calidad proteínica, siendo la cruza 3x8 la que presentó el mayor valor con 107 g kg<sup>-1</sup> de PC, valor que es superior al del testigo. Para fibra, detergente ácido los valores fueron de 206 a 331 g kg<sup>-1</sup>, mientras que para el testigo fue de 328 g kg<sup>-1</sup>, presentando el valor menor la cruza 5x7 y el mayor la 1x5. En tanto que para fibra detergente neutro varió de 422 a 614 g kg<sup>-1</sup>, para la cruza de menor y mayor valor, en tanto que el testigo presento 554 g kg<sup>-1</sup> de FDN; al respecto Herrera (1999) reporta que los forrajes de alta calidad deben de tener FDA entre 250 y 320 g kg<sup>-1</sup> y FDN entre 400 y 520 g kg<sup>-1</sup> (Cuadro 4.5); encontrándose la presente investigación valores de FDA y FDN dentro de los reportados como de alta calidad, pero también valores muy superiores, por lo que podemos inferir que entre las ocho líneas evaluadas podemos encontrar algunas líneas que impartan efectos deseables de FDA y FDN a sus cruzas. En tanto que para ENL se tienen valores de 16599 a 34748 Mcal ha<sup>-1</sup>, mientras que para el testigo fue de 28340 Mcal ha<sup>-1</sup>, encontrándose que las cruzas que presentaron los mayores valores se encuentran dentro del rango reportado por Reta *et al.*, (2000) para híbridos normales, pero son superiores al testigo.

Las mejores cruzas para altura de planta, producción de forraje verde y materia seca total fueron la 7x8 con altura promedio de 2.51 m y rendimiento de

70.4 ton t ha<sup>-1</sup> para RFV y 21.1 t ha<sup>-1</sup> para MST, valores superiores de los reportados por Nuñez *et al.* (2001) y al presentado por el testigo, al respecto Vasal *et al.* (1993) reportan como buenos patrones heteróticos a las poblaciones de donde provienen la línea 7 y 8; en tanto que para porcentaje de elote las cruzas 1x4 y 2x4 tuvieron valores de 55 por ciento, al respecto Nuñez *et al.*, (2003) reportan que valores superiores al 54% de elote producen forraje de alto valor energético.

Para las variables químicas la mayor digestibilidad *in vitro* la tuvo la cruz 1x2 con una digestibilidad de 712 g kg<sup>-1</sup>, además presentó valores bajos de FDA y altos valores de FDN; en tanto que para consumo de materia seca la cruz 1x7, 5x7 y 6x8 presentaron el valor más alto (28 g kg<sup>-1</sup>), mientras que para contenido de proteína cruda la mejor cruz 3x8 con 107 g kg<sup>-1</sup> y la de mayor energía neta de lactancia fue la 2x8 con 34748 Mcal ha<sup>-1</sup>; en tanto que las cruzas con mayores contenidos de fibra detergente ácido y fibra detergente neutro fue para las cruzas 1x5 con 331 g kg<sup>-1</sup> y la cruz 1x6 con 614 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Al respecto Herrera (1999) menciona que el contenido de FDN del forraje es un determinante de la cantidad de alimento que la vaca lechera puede consumir hasta sentirse llena, por lo que, ha mayor contenido de FDN menos alimento consumido. Mientras que la FDA está inversamente relacionado con la digestibilidad del forraje, e influye en el valor relativo del mismo (Rodríguez *et al.*, 2000). Además se ha observado que la FDA está influenciada por factores ambientales (Van Soest, 1996) y que la FDN es más consistente a través de los años (Graybill *et al.*, 1991 y Nuñez *et al.*, 2001).

Cuadro 4.4. Medias de los caracteres agronómicos de los 28 genotipos evaluados.

Genotipos	Caracteres			
	AP (m)	PFV (t ha <sup>-1</sup> )	MST (t ha <sup>-1</sup> )	PE (%)
1X2	2.25	44.3	13.3	44*
1X3	2.25	51.0	15.3	42
1X4	1.87	41.5	12.5	55*
1X5	1.90	40.7	12.3	43
1X6	2.21	51.5	15.5	46*
1X7	2.11	59.3*	17.8*	32
1X8	2.27*	63.2*	19.0*	50*
2X3	2.41*	53.0*	15.9	38
2X4	2.10	57.5*	17.3*	55*
2X5	2.46*	43.0	12.9	33
2X6	2.32*	40.0	12.0	47*
2X7	1.94	57.0*	17.1*	40
2X8	2.31*	60.3*	18.1*	50*
3X4	2.32*	47.7	14.3	41
3X5	2.38*	53.1*	15.9	46*
3X6	2.38*	53.5*	16.1*	32
3X7	2.45*	65.6*	19.7*	42
3X8	2.12	47.0	14.1	51*
4X5	2.50*	54.4*	16.3*	41
4X6	2.12	61.5*	18.5*	29
4X7	2.17	71.3*	21.4*	33
4X8	2.22	50.5	15.9	34
5X6	2.15	40.7	12.2	46*
5X7	2.40*	53.0*	15.9*	48*
5X8	1.80	41.9	12.6	47*
6X7	2.30*	42.5	12.8	51*
6X8	1.93	44.3	13.3	36
7X8	2.51*	70.4*	21.1*	35
Testigo	2.90	48.3	18.8	46
$\mu$	2.22	52.12	15.7	42
$\sigma$	0.02	0.34	0.2	0.8

\* = Mayor que  $\mu + 2\sigma$ ; AP = Altura de planta y mazorca; PFV = Producción de forraje verde; PE = Porcentaje de elote; MST = Materia seca total.

Cuadro 4.5. Medias de los caracteres químicos de los 28 genotipos evaluados.

Genotipos	Caracteres					
	DIV (g kg <sup>-1</sup> )	CMS	PC (g kg <sup>-1</sup> )	FDA (g kg <sup>-1</sup> )	FDN (g kg <sup>-1</sup> )	ENL (Mcal ha <sup>-1</sup> )
1X2	712*	27*	97*	228	504*	27117
1X3	667	24	75	285*	446	28664
1X4	671	24	85*	280*	508*	30248*
1X5	632	20	70	331*	512*	16599
1X6	679	23	63	285	614*	29714*
1X7	694*	28*	78	234	422	25552
1X8	677	24	96*	265	491	33130*
2X3	696*	27*	72	239	505*	28974
2X4	695*	24	96*	263	446	30345*
2X5	675	25	57	275*	477	21718
2X6	694*	25	95*	250	572*	26725
2X7	673	28*	80	309*	486	30590*
2X8	693*	22	77	234	422	34748*
3X4	678	24	96*	256	473	27863
3X5	678	23	83	271*	532*	30146*
3X6	662	23	98*	232	446	28526
3X7	708*	27*	81	267	501*	29360*
3X8	672	23	107*	302*	536*	31334*
4X5	657	23	70	298*	523*	30554*
4X6	685	23	71	286*	449	26097
4X7	673	26*	73	253	526*	23652
4X8	675	23	73	263	503*	27320
5X6	662	24	83	306*	415	21489
5X7	681	28*	89*	206	523*	33063*
5X8	701*	23	66	274*	503*	29756*
6X7	658	22	79	324*	428	30512*
6X8	703*	28*	88*	216	553*	27148
7X8	707*	25	90*	257	488	33461*
Testigo	671	22	78	328	554	28340
$\mu$	681	24.6	81.7	267	493	28372
$\sigma$	4	0.2	1.0	2	4	359

\* = Mayor que  $\mu + 2\sigma$ ; CMS = Consumo de materia seca; DIV = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; PC = Proteína Cruda; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutro y ENL = Energía neta de lactancia.

LIBRO DE TESIS

1407

En el Cuadro 4.6 se presentan los efectos de ACG y ACE de las variables agronómicas y químicas, al respecto Márquez (1988) menciona que el termino aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, la cual es medida por medio de su progenie. Con respecto a la altura de planta solamente la línea 3 mostró efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) positivos de ACG de 0.13 m y altura promedio de 2.33 (Cuadro 4.7), en tanto que la línea 1 presenta efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) negativos de ACG de -0.12 m y altura promedio de 2.12 m, por lo que es conveniente mencionar que es deseable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistan al acame, sin descuidar la relación positiva de la altura de planta con el potencial de rendimiento de grano (Antuna *et al.*, 2003). En lo referente al rendimiento de forraje verde (RFV) las líneas 4, 7 y 8 presentaron efectos ~~significativos~~ <sup>significativos</sup> ( $P \leq 0.01$ ) y ( $P \leq 0.05$ ) positivos de ACG para PFV con valores de 3.24, 9.02 y 2.12 t ha<sup>-1</sup>, y rendimientos promedios de 54.91, 59.87 y 53.94 t ha<sup>-1</sup>, mientras que las líneas 1, 5 y 6 presentaron efectos significativos negativos de -2.24, -6.36 y -5.14 t ha<sup>-1</sup>, con rendimientos promedios de 50.21, 46.68 y 47.73 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; para materia seca total (MST) las líneas 4, 7 y 8 tuvieron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) con valores de 2.79, 2.54 y 2.6 t ha<sup>-1</sup> y rendimientos promedio de 16.58, 17.97 y 16.30 t ha<sup>-1</sup> y con efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) negativos las líneas 3, 5 y 6 con efectos de -2.81, -1.54 y -2.55 t ha<sup>-1</sup>, con rendimientos promedios de 15.90, 14.00 y 14.32 t ha<sup>-1</sup>; en lo referente al porcentaje de elote (PE), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV) y fibra detergente neutro (FDN) no se encontraron efectos significativos de ACG para ninguna línea, por lo que

podemos inferir que todas las líneas imparten los mismos efectos a sus cruzas. Para consumo de materia seca solamente se encontraron efectos significativos para las líneas 2 y 7 con 1.08 y 2.42 g kg<sup>-1</sup> y consumo promedio de 25.6 y 26.7 g kg<sup>-1</sup>; mientras que para proteína cruda se encontraron efectos significativos positivos de ACG para la línea 3 con 6.60 g kg<sup>-1</sup> y proteína cruda promedio de 87.6 g kg<sup>-1</sup> (Cuadro 4.8) y con efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) negativos de ACG la línea 5 con -8.98 g kg<sup>-1</sup> y rendimiento promedio de 74.2 g kg<sup>-1</sup>. En lo concerniente a la fibra detergente ácida la línea 5 presentó efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) de ACG con 14.64 g kg<sup>-1</sup> y FDA promedio de 280.1 g kg<sup>-1</sup>, en tanto que la línea 2 tuvo efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) negativos de ACG con -12.27 g kg<sup>-1</sup> y promedio de 257.0 g kg<sup>-1</sup>. Para energía neta de lactancia presentaron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) positivo las líneas 4, 7 y 8 con 3621.18, 4961.27 y 2547.85 Mcal ha<sup>-1</sup>, con promedios de 28011.3, 29455.7 y 30985.3 Mcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente; en tanto que las líneas 3, 5 y 6 presentaron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) negativos con valores de -3107.64, -3427.14 y -3160.14 Mcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Los altos efectos de ACE para las variables agronómicas y químicas resultaron de cruzar dos líneas de cualquier valor de ACE, ya sea positivo o negativo, con una tendencia a tener bajos valores entre dos líneas de baja ACG, como lo señala Pons *et al.* (1991). Es importante resaltar que las cruzas 1x8, 4x5 y 7x8 presentaron valores significativos positivos de ACE para las variables altura de planta, producción de forraje verde, porcentaje de elote y materia seca total, respectivamente. Para las variables químicas los caracteres

químicos las cruzas que mostraron los mayores efectos positivos de ACE fueron 6x8 con  $4.94 \text{ g kg}^{-1}$  para CMS, 1x2 con  $24.49 \text{ g kg}^{-1}$  para DIV y de  $16.55 \text{ g kg}^{-1}$  de PC, 2x7 con  $57.86 \text{ g kg}^{-1}$  para FDA, 1x6 con  $109.02 \text{ g kg}^{-1}$  para FDN y la 4x6 con  $10404.76 \text{ Mcal ha}^{-1}$  de ENL. En las cruzas de mayores efectos de ACE para las variables agronómicas y químicas al menos intervino una línea con efectos positivos de ACG; lo que coincide con Gómez *et al.* (1988), quienes encontraron cruzas con altos efectos de ACE en los que por lo menos, interviene una línea de efectos positivos de ACG. Las diferencias en la expresión de la calidad química del forraje de las cruzas indican que ésta no puede ser predicha con base en los valores de aptitud combinatoria general de los progenitores (Baker, 1978)



Cuadro 4.6 Efectos de aptitud combinatoria general y específica de ocho líneas de maíz QPM, para caracteres agronómicos y químicos bajo el modelo IV de Griffing (1956).

Características agronómicas										Características químicas				
Líneas	AP (m)	PFV (t ha <sup>-1</sup> )	PE (%)	MST (t ha <sup>-1</sup> )	DIV (g kg <sup>-1</sup> )	CMS (g kg <sup>-1</sup> )	PC (g kg <sup>-1</sup> )	FDA (g kg <sup>-1</sup> )	FDN (g kg <sup>-1</sup> )	ENL (Mcal ha <sup>-1</sup> )				
1	-0.12**	-2.24*	2.49	-0.15	-5.46	-0.42	-1.31	5.81	7.73	-1432.39				
2	0.04	-1.63	1.84	-0.74	12.29	1.08*	0.35	-12.27*	-6.44	-2.98				
3	0.13**	0.99	-0.80	-2.81**	-0.54	-0.16	6.60*	-3.35	-2.02	-3107.64**				
4	-0.04	3.24**	-1.48	2.79**	-5.21	-0.75	-1.23	4.56	-4.02	3621.18**				
5	0.01	-6.36**	-1.58	-1.54**	-13.21	-1.08*	-8.98**	14.64*	5.81	-3427.14**				
6	-0.02	-5.14**	0.99	-2.55**	-3.63	-0.50	0.77	-3.60	4.23	-3160.14**				
7	0.06	9.02**	-2.59	2.54**	5.04	2.42**	-0.39	4.56	-12.85	4961.27**				
8	-0.06	2.12*	1.37	2.46**	10.71	-0.58	4.19	-10.35	7.56	2547.85**				
<b>Efectos de aptitud combinatoria general</b>														
1X2	0.10	-3.95**	-3.00	-1.85*	24.49*	1.69*	16.55**	-33.56**	9.69	-1915.82				
1X3	0.02	0.13	-2.37	2.70**	-7.68	-0.06	-11.70**	15.02**	-52.73**	2735.84*				
1X4	-0.22**	-11.62**	11.81**	-4.51**	0.49	0.52	5.63	2.10'	11.77	-7104.49**				
1X5	-0.21**	-2.87**	-3.15	-4.44**	-30.51**	-3.64**	-1.12	42.52**	5.44	-10192.15**				
1X6	0.13*	6.76**	2.92	3.72**	7.40	-0.73	-18.37**	7.10	109.02**	5838.84**				
1X7	-0.05	0.34	-9.90**	0.93	14.24	1.86*	-2.20	-35.23**	-65.89**	3250.93*				
1X8	0.23**	11.20**	3.69	3.46**	-8.42	0.36	11.21**	2.02	-17.31	7386.84**				
2X3	0.02	1.52	-5.27	-1.85*	3.57	1.44*	-17.37**	-12.89	20.44	-386.07				
2X4	-0.12*	3.77**	12.21**	1.26	7.24	-0.98	15.46**	3.69	-37.06**	2005.59				
2X5	0.19**	-1.13	-12.50**	-0.96	-4.76	0.36	-16.28**	5.11	-15.39	-313.07				
2X6	0.08	-5.33**	4.37	-3.52**	5.15	-0.23	12.46**	-9.81	81.69**	-6292.07**				
<b>Efectos de aptitud combinatoria específica</b>														

Líneas	Características agronómicas					Características químicas				
	AP (m)	PFV (t ha <sup>-1</sup> )	PE (%)	MST (t ha <sup>-1</sup> )	DIV (g kg <sup>-1</sup> )	CMS (g kg <sup>-1</sup> )	PC (g kg <sup>-1</sup> )	FDA (g kg <sup>-1</sup> )	FDN (g kg <sup>-1</sup> )	ENL (Mcal ha <sup>-1</sup> )
2X7	-0.38**	-2.51*	-1.78	3.87**	-24.51*	0.36	-1.87	57.86**	12.77	4321.51**
2X8	0.11*	7.64**	5.97*	3.05**	-11.18	-2.64**	-8.95**	-10.39	-72.14**	2576.93*
3X4	0.01	-8.70**	0.60	-2.01**	3.07	0.77	9.21**	-12.73	-14.48	-3118.74**
3X5	0.02	6.29**	3.13	5.30**	11.07	-0.89	3.96	-7.81	35.69**	6212.59**
3X6	0.05	5.52**	-7.79**	2.03**	-14.01	-0.48	8.71**	-36.23**	-49.73**	1326.09
3X7	0.04	3.46**	3.21	-3.13**	22.82*	0.11	-7.12*	6.44	22.86	-2961.82*
3X8	-0.17**	-8.23**	8.48**	-3.04**	-18.84	-0.89	14.30**	48.19**	37.94**	-3810.90**
4X5	0.31**	5.39**	-1.19	1.83*	-5.26	0.19	-1.20	11.27	28.19*	3891.76**
4X6	-0.03	11.27**	-10.37**	7.77**	12.65	-0.39	-10.95**	9.86	-44.73**	10404.76**
4X7	-0.06	6.86**	-5.06**	-0.78	-7.51	0.19	-6.78*	-14.98*	49.86**	-589.65
4X8	0.11*	-6.98**	-8.01**	-3.55**	-10.68	-0.31	-11.37**	0.77	6.44	-5489.24**
5X6	-0.06	0.07	4.12	-0.32	-2.34	0.94	9.30**	19.27**	-88.06**	439.09
5X7	0.11*	-1.79	7.02**	1.09	8.49	3.02**	16.46**	-72.56**	37.52**	-4061.18**
5X8	-0.37**	-5.98**	2.57	-2.49**	23.32*	0.02	-11.12**	2.19	-3.39	-4099.40**
6X7	0.04	-13.51**	12.99**	-7.11**	-24.09*	-4.06**	-2.78	55.52**	-56.89**	-11617.32**
6X8	-0.20**	-4.80**	-6.23*	-2.57**	15.23	4.94**	1.63	-45.73**	48.69**	-99.40
7X8	0.29**	7.14**	-6.48*	5.14**	10.57	-1.48*	4.30	2.94	-0.23	3535.18**

Efectos de aptitud combinatoria específica

\* y \*\* =diferente de cero a 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente, AP = altura de planta; PFV = producción de forraje verde; PE = Porcentaje de elote; MST = Materia seca total; CMS = Consumo de materia seca; DIV = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; PC = Proteína Cruda; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutro y ENL = Energía neta de lactancia.

Cuadro 4.7. Valores medios de las líneas en base a sus cruizas, para los caracteres agronómicos

Línea	Caracteres agronómicos			
	AP (m)	PFV (t ha <sup>-1</sup> )	MST (t ha <sup>-1</sup> )	PE (%)
1	2.12	50.21	15.10	44.6
2	2.26	50.73	15.22	44.0
3	2.33	52.98	15.90	41.7
4	2.18	54.91	16.58	41.2
5	2.23	46.68	14.00	43.3
6	2.20	47.73	14.32	41.1
7	2.27	59.87	17.97	40.2
8	2.17	53.94	16.30	43.4

AP = Altura de planta y mazorca; PFV = Producción de forraje verde; PE = Porcentaje de elote; MST = Materia seca total.

Cuadro 4.8 Valores medios de las líneas para los caracteres químicos

Líneas	Caracteres					
	DIV (g kg <sup>-1</sup> )	CMS (g kg <sup>-1</sup> )	PC (g kg <sup>-1</sup> )	FDA (g kg <sup>-1</sup> )	FDN (g kg <sup>-1</sup> )	ENL (Mcal ha <sup>-1</sup> )
1	676.0	24.3	80.8	272.5	499.6	27289.1
2	691.1	25.6	82.2	257.0	487.5	28602.4
3	680.1	24.5	87.6	264.6	491.3	29266.7
4	676.3	24.0	80.8	271.4	489.6	28011.3
5	669.4	23.7	74.2	280.1	498.0	26189.3
6	677.6	24.2	82.6	271.4	496.6	27173.0
7	685.0	26.7	81.6	264.4	482.0	29455.7
8	689.7	24.1	85.5	258.6	499.5	30985.3

## V. CONCLUSIONES

Se logro caracterizar a los genotipos en estudio con base en los caracteres agronómicos y de calidad forrajera (químicos). Así como la expresión fenotípica y los efectos de ACG de las líneas y la ACE de las cruzas. Únicamente para el carácter digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Se identificaron las líneas con mayores efectos para cada uno de los caracteres evaluados; para altura de planta y para contenido de proteína cruda la línea con mayores efectos fue la 3; mientras que para producción de forraje verde, consumo de materia seca y energía neta de lactancia fue la 7; en tanto que para porcentaje de elote y fibra detergente neutro la mejor línea fue la 1; para materia seca total la línea de mayor efecto fue la 4; para digestibilidad *in vitro* la línea 3 y para contenido de fibra detergente ácido la línea 5. Siendo la línea 7 por que tuvo los más altos efectos de ACG para PFV, CMS y de ENL. Las cruzas con mayores efectos de ACE para cada carácter fueron: 4x5 para altura de planta con 0.31 m, la craza 4x6 para producción de forraje verde con 11.27 t ha<sup>-1</sup> y energía neta de lactancia de 10404.76 Mcal ha<sup>-1</sup>, la craza 6x7 fue la de mayor efecto para porcentaje de elote con 12.99%, mientras que la craza 3x5 fue para materia seca total con 5.30 t ha<sup>-1</sup>, la craza 1x2 tuvo la mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca con 5.30 g kg<sup>-1</sup> y proteína cruda de 16.55 g kg<sup>-1</sup>, en tanto que la craza 6x8 presento el mayor consumo de materia seca con 4.94 g kg<sup>-1</sup>, mientras que para fibra detergente ácida fue la craza 2x7 con 57.88 g kg<sup>-1</sup> y la craza 1x6 para fibra neutro detergente con 109.02 g kg<sup>-1</sup>,

en general en todas las cruzas intervino por lo menos una línea de efectos positivos de ACG.

## VI RESUMEN

La presente investigación se realizó en el “Rancho Ampuero” ubicado en Torreón, Coahuila, México. El objetivo fue estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), de ocho líneas de maíz QPM de grano blanco del programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT. La evaluación de las 28 cruzas se realizó durante dos años (2000 y 2001). En la evaluación de las cruzas se utilizó un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Para estimar los efectos de ACG y ACE, se utilizó el diseño IV de Griffing (1956). En ambos años, la parcela experimental constó de 3 surcos de 3 m de largo y 0.75 m de ancho, con distancia entre plantas de 0.16 m, para tener una densidad aproximada de 80,000 plantas/ha. Se midieron los caracteres agronómicos altura de planta (AP), producción de forraje verde (PFV), porcentaje de elote (PE) y materia seca total (MST), y los caracteres químicos digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV), consumo de materia seca (CMS), proteína cruda (PC), fibra detergente ácida (FDA), fibra detergente neutro (FDN) y energía neta de lactancia (ENL).

Los resultados del análisis combinado para los caracteres agronómicos indicaron que los genotipos son diferentes entre sí. El análisis dialélico indicó alta variación ( $P \leq 0.01$ ) entre los genotipos para todos los caracteres estudiados, con excepción de digestibilidad *in vitro* que no presentó diferencias significativas para ninguna fuente de variación. Asimismo, se encontraron diferencias

estadísticas significativas para los efectos de aptitud combinatoria específica en todos los caracteres, y diferencias significativas y altamente significativas para la ACG de los caracteres AP, MST, CMS y PC. Se identificaron las cruzas 2x5, 4x5, 5x7 y 7x8 como las de mayor producción de forraje verde y materia seca total, pero con bajos contenidos de porcentaje de elote. Las líneas con mayores efectos de ACG para cada uno de los caracteres fueron: la 3 con los más altos efectos para AP y contenido de PC; la 7 para PFV, CMS y ENL; la 1 para PE y FDN; la 4 para MST; la 2 para DIV y la 5 para FDA. Por lo que no hubo una cruzada que mostrara una alta ACE en todos los caracteres agronómicos y químicos evaluados.

## VII. LITERATURA CITADA

- Allen M., S. Ford, J. Harrison, C. Hunt, J. Lauer , R. Muck and S. Soderlund. 1995. Corn silage production, management and feeding. Amer Soc Agron p. 1-41.
- 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(Suppl 1):221.
- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fototec Mex. 11-17.
- Amador R. A. L. , F. C. Boschini. 2000. Fenología productiva y nutricional del maíz para la producción de forraje. Agronomía Mesoamericana.11:171-177.
- Argiller O., V. Meelin and Y. Barrière. 2000. Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. Crop Sci. 40:1596-1600.
- Atlas del Medio Físico Nacional. 1982. Secretaria de Programación y Presupuesto. México. p 26-31.
- Baker R. J. 1978. Issues in diallel analysis. Crop Sci. 18:533-536.
- Barrière Y., Y. Hébert, B. Julier, E. Young and V Furstoss. 1993. Genetic variation for silage and NIRS traits in a half-diallel design of 21 inbred lines of maize. Maydica 38:7-13.
- Bertolini M, A. Verderio, M. Bressan, P. Bonadi, C. Lorenzoni. 1999. Progress in Breeding High quality protein (Opaque-2) maize. Informatore-Agrario 55(8):55-57.
- Bosch L., F. Casañas, A. Ferret, E. Sánchez, F. Nuez. 1994. Screening tropical maize populations to obtain semiexotic forage hybrids. Crop. Sci. 34:1089-1096.
- Buxton D. R. and S. L. Fales. 1994. Plant environment and quality. *In*: Fahey Jr. GC (ed.) Forage quality evolution and utilization. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. p. 155-297.



- Buxton D. R., D. Redfearn, H. Jung and D. Mertens. 1996. Improving forage quality-related characteristics of corn. US Dairy Forage Research Center, Informational Conference with Dairy and Forage Industries. p 23-28.
- Coors J. G., K. A. Albrecht and E. J. Bures. 1997. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci.* 37:243-247.
- Cox W. J. , J. H. Cherney, D. J. Cherney and W. D. Pardee. 1994. Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions. *Agron J.* 86:277-282.
- Chalupa W. 1995. Requerimientos de forrajes de vacas lecheras. Primer Ciclo Internacional de conferencias sobre nutrición y manejo. Gómez Palacio, Dgo. LALA. p. 19-28.
- Chávez A. J. L. y E. López. 1995. Mejoramiento de plantas I. UAAAN. México. 158 p.
- Dado R. G. 1999. Nutritional benefits of specialty corn grain hybrids in dairy diets. *J Anim Sci.* 77(Suppl 2);82:197-207.
- Deinum B. and J. J. Bakker. 1981. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Neth J. Agric. Sci.* 29:92-98.
- Dhillon B.S., Chr. Paul, E. Zimmer, P.A. Gurrath and W. G. Pollmer. 1990. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Sci.* 30:931-936.
- Downes R. W. , K. R. Christian and M. Freer. 1974. Nutritive value of oats and sudán grass grown at controlled temperatures. *Aust J. Agric. Res.* 25:89-97.
- Espinosa C. A., J. Ortiz C., A Ramírez F., N. O. Gómez M. y A. Martínez G. 1998. Estabilidad y comportamiento de líneas *per se* y cruza de maíz en la producción de semilla. *Agri. Téc. Méx.* 24:27-36.
- Ferret A., F. Casañas, A. M. Verdú, L. Bosch and F. Nuez. 1991. Breeding for yield and nutritive value in forage maize: An easy criterion for stover quality and genetic analysis of Lancaster variety. *Euphytica* 53:61-66.
- Geiger H. H. , G. Seitz, A. E. Melchinger and G. A. Schimidt. 1992. Genotypic correlations in forage maize I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica.* 37:95-99.
- Goering H. K. And P. J. Van-soest. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA-ARS Agric. Handbook No. 379.

- Gómez N. M., R. Valdivia B. y A. Mejía H. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec Mex.* 11:103-120.
- Graybill J. S., W. J. Cox and D. J. Otis. 1991. Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. *Agron J.* 83:559-564.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez del R. E., A. Palomo G., A. Espinoza B. y E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):271-277.
- Hallauer A. R. and J. B. Miranda. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding.* Iowa State University Press. 468 p.
- Hallauer A. R. and J. B. Miranda. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding. Second Edition.* Iowa State University Press 468 p.
- Herrera S. R. 1999. La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje. En: 2º Taller Nacional de especialidades de maíz. UAAAN. 9 y 10 de septiembre de 1999. Saltillo, Coahuila, México. p. 133-137.
- Hoegenmeyer T. C. and A. R. Hallauer. 1976. Selection among and within full-sib families to developed single crosses of maize. *Crop Sci.* 16:76-80.
- Holland C., W. Kezar and Z. Quade. 1990. *Pioneer forage manual a nutritional guide.* Pioneer International, Inc. Des. Moines. Iowa, U.S.A. 56 p.
- Hunt C.W., W. Kezar, D. D. Hinman and R. Vinande. 1992. Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear and stover affected by hybrid. *J. Prod Agric.* 5:286-290.
- Johnson J. C., R. N. Gates, G. L. Newton, J P Wilson, L. D. Chandler and P. R. Utley. 1997. Yield, composition, and in vitro digestibility of temperate and tropical corn hybrids grown as silage crops planted in summer. *J. Dairy Sci.* 80:550-557.
- Jungenheimer W. R. 1990. *Maíz.* Ed. ELSA. Cuarta reimpresión. México. 841 p.
- Kang S. M., D. A. Kushairi, Y. Zhang and R. Magari. 1999. Combining ability for rinde puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39:368-371.

- Lauer J. 2000. The relationship between corn grain and silage yield. *Field crops* 28:5-27.
- Lundvall J. P., D. R. Buxton, A. R. Hallauer and J. R. George. 1994. Forage quality variation among maize inbreds: In vitro and cell wall components. *Crop Sci* 34:1672-1678
- Márquez S. F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. A.G.T. editor, S.A. México. 658 p.
- Martínez G. A. 1983. Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. México. 252 p.
- Mertz E. T., L. S. Bates and O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*. 145:279-280.
- Moreno-González J, I. Martínez, I. Brichette , A. López and P. Castro. 2000. Breeding potential of European flint and U.S. corn belt dent maize population for forage use. *Crop Sci*. 40:1588-1595.
- Núñez H. G. y J. E. Cantu B. 2000. Producción, composición química y digestibilidad de forraje de sorgo x sudán de nevadura café en la región norte centro de México. *Téc. Pecu. Méx.* 38:177-188.
- Núñez H. G., E. F. Contreras G, R. Faz C y R. Herrera. 1999. Selección de híbridos para obtener mayor rendimiento y alto valor energético en maíz para ensilaje. *In: Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo*. SAGAR-INIFAP-CIRNOC-CELALA. p. 2-5
- 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, M. R. Tovar G. y A. Zavala G. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pecu. Méx.* 39:77-88.
- Oyervides G. M. 1979. Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índices de selección en variedades tropicales de maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 118 p.
- Peña R. A, G. Nuñez H. y F. González C. 2003. Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. Méx.* 41:63-74.

- Peña R. A., G. Nuñez H y F. González C. 2002. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Téc. Pecu. Mex.* 40:215-228.
- Pinos-Rodríguez J. M., S. González M, D. Mendoza M., R. Bárcena G, M. Cobos P. 2002. Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad *in vitro* de la pared celular de heno de alfalfa (*Medicago sativa*) o de ballico (*Lolium perenne*). *Interciencia.* 27:28-32.
- Pinter L. 1985. Ideal type of forage maize inbred (*Zea mays* L.). Breeding of silage maize. 13<sup>th</sup> Congress of the maize and sorghum. Section of Eucarpia. Book of abstracts. p. 12.
- Pinter L., Z. Alfoldi, Z. Burucs and E. Paldi. 1994. Feed value of forage maize hybrids varying in tolerance to plant density. *Agron J.* 86:799-804.
- Pinter L., Z. Burucs and Z. Alfoldi. 1995. Comparison of normal and opaque-2 maize genotypes used for corn cob mix in pig feeding. *Agron J.* 87:547-550.
- Pixley, K. V. and M Bjarnason. 1993. Combining ability for yield and protein quality among modified endosperm *opaque-2* tropical maize inbreds. *Crops Sci.* 33:1229-1234.
- Pons H. J. L., A. Carballo Q., V. González H., H Angeles A. 1991. Modificaciones al índice de cosecha. *Agrociencia. Serie Fitociencia.* 2:35-49.
- Preciado E., H. Córdova O, A. Terrón, E. Cervantes, E. Betanzos, A. Ortega, N. Gómez, C. Reyes, H. Vallejo y M. Erazo. 2001. Adaptación y rendimiento de híbridos de alta calidad de proteína en regiones tropicales y subtropicales de México. *Agronomía Mesoamericana* 12(1):33-39.
- Ramírez O. R., R. G. Ramírez L., F. López G. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL.* 2:180-189.
- Reta S. D. G., A. Gaytán M y J. S. Carrillo A. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:37-48.
- Reta S. D. G., A. Gaytán M, J. S. Carrillo y J. A. Cueto W. 2003. Influencia de métodos de siembra y densidades de población en la formación de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:147-152.

- Rivera F. H. 1977. Efecto de la diversidad genética en la heterosis de cruzas intervarietales de maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 98 p.
- Rodríguez H. S. A., J. Santana R, H. Córdova O, N. Vergara A, A. J. Lozano del R, M. Mendoza E y J G. Bolaños J. 2000. Caracteres de importancia para el fitomejoramiento del maíz para ensilaje. [Resumen] Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. p. 148.
- Rodríguez H. S. A., J. Santana R, A. J. Lozano R, J. G. Bolaños J y M. E. Vázquez B. 1999. Fitomejoramiento del maíz para ensilaje. *In*: 2º Taller Nacional de especialidades de maíz. UAAAN, 9 y 10 de septiembre de 1999. Saltillo, Coahuila, México. p. 181-186.
- Ruggero B y L Bertola L. 2000. Selección de probadores para aptitud forrajera en maíz (*Zea mays* L.) [Resumen]. Memorias XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. p. 251.
- SAS. 1989. SAS/STAT user's guide: version 6.4<sup>th</sup> ed. Vol. 2. SAS Inst. Cary. N. C. 956 p.
- Sierra M. M. y R. E. Preciado O. 1988. Análisis e interpretación de cruzas dialélicas con germoplasma tropical precoz de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 11:92-102.
- Singh R. K. and B. D. Chaudhary. 1985. Biometrical techniques in quantitative genetics and breeding. International Bioscience Publishers Hissar (India). Hony, general Editor. T.M. Varghese. Pp 205-214.
- Singh I. D. and N. C. Stoskopf. 1971. Harvest index in cereals. *Agron. J.* 63:224-226.
- Spaner D., and D. E. Matter. 1992. Genetic and agronomic evaluation of short season quality protein maize. *Can. J. Plant Sci.* 72:1171-1181.
- Sprague G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Struik P. C. 1984. An ideotype of forage maize for northwest Europe. *Synopsis Neth J. Agric. Sci.* 32:145-147.
- Torrecillas M. G. y L. M. Bertoia 2000. Aptitud combinatoria para caracteres forrajeros en poblaciones nativas y compuestos raciales de maíz de Argentina. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 15:79-90.
- Undersander D. J., D. R. Mertens and N. Thiex. 1993. Forage analyses procedures. National Forage Testing Association. Omaha. NE. p. 154

- Vasal S. K., G. Srinivasan, S. Pandey, F. González, J. Crossa and D. L. Beck. 1993a. Heterosis and combining ability of CIMMYT's quality protein maize germplasm: I Lowland tropical. *Crop Sci.* 33:46-51.
- Vasal S. K., G. Srinivasan, F. González, D. Beck and J. Crossa. 1993b. Heterosis and combining ability of CIMMYT's quality protein maize, Germoplasm: II Subtropical. *Cro Sci.* 33:51-57.
- Vasal S.K., G. Srinivasan, N. Vergara A. y F González C. 1995. Heterosis y aptitud combinatorial en germoplasma de maíz de valles altos. *Rev. Fitotec. Méx.* 18:123-129.
- Van Soest P. J. 1996. Environmental and forage quality. *Proc Cornell nutrition conferences for feed manufacturers.* Bufalo, NY. p. 1-6.
- Vattikonda M. R. and R. B. Hunter RB. 1983. Comparison of grain yield and whole-plant silage production of recommended corn hybrids. *Can. J. Plant Sci.* 63:601-609.
- Wang-Yeong C. H. , L. Lee-mian L, W. Cheng, Y. C. Wang and M Lee. 1995. Effect of planting density and nitrogen application rates on growth characteristics, gras yield and quality of forage maize.. *J. of Taiwán Livestoch Research.* 28:125-132.
- Weiss W. P. 1998. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:830-839.
- Widdicombe W. D. and K. D. Telhen. 2002. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agron J.* 94:326-330.
- Wilson J. R. , B. Deinum and F. M. Engels. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperature forage species. *Neth J. Agric. Sic.* 39:31-48.
- Wolf D. P., J. Coors, K. A. Albrecht, D. J. Undersander and P. R. Carter. 1993. Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci.* 33:1359-1365.