

**ANÁLISIS GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÓMICOS Y
DE CALIDAD DE SEMILLA EN POBLACIONES DE MAÍCES
CRIOLLOS DE MÉXICO**

ENRIQUE ANDRIO ENRIQUEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
Subdirección de Postgrado**

Torreón, Coahuila, México, Diciembre de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ANÁLISIS GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE
CALIDAD DE SEMILLA EN POBLACIONES DE MAÍCES CRIOLLOS
DE MÉXICO**

TESIS

POR
ENRIQUE ANDRIO ENRIQUEZ

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

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

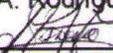
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



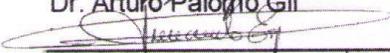
Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera

Asesor:



Dr. Arturo Palomo Gil

Asesor:



Dr. Armando Espinoza Banda

Asesor:



Dr. Francisco Cervantes Ortiz

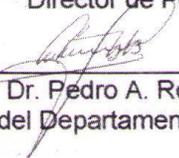
Asesor:



Dr. Mariano Mendoza Elos



Dr. Fernando Ruíz Zárate
Director de Postgrado



Dr. Pedro A. Robles Trillo
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, Diciembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater*, por permitirme en su seno continuar con mi desarrollo profesional.

A la Dirección General de Educación Superior Tecnológica, por las facilidades otorgadas para realizar mis estudios doctorales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado.

Al Instituto Tecnológico de Roque, por el interés en la superación profesional de su personal académico.

A mi Comité Particular de Asesoría, por las orientaciones y apoyo recibido.

A todos mis Maestros del Programa de Ciencias Agrarias, por su orientación y conocimientos aportados.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, por la donación del material genético utilizado en el presente estudio.

A mis alumnos del Instituto Tecnológico de Roque, quienes han participado entusiastamente durante el desarrollo de esta investigación.

A Dios, para quien todo es posible.

DEDICATORIA

A mi esposa,

A mis hijas, por su tiempo, que dispuse para este proyecto.

A mis Padres, por su permanente apoyo.

A mis hermanos y sobrinos, por su motivación.

A mis compañeros del programa de Ciencias Agrarias, por su amistad y apoyo.

A mis compañeros del Instituto Tecnológico de Roque, por la confianza y apoyo incondicional para la culminación de este proyecto.

COMPENDIO

ANÁLISIS GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE CALIDAD DE SEMILLA EN POBLACIONES DE MAÍCES CRIOLLOS DE MÉXICO

POR

ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA, TORREÓN, COAH. MÉXICO. DICIEMBRE 2011

Asesor Principal: Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera

Palabras clave: Componentes genéticos, ACG, ACE, efectos recíprocos, calidad de semilla y razas de maíz.

Se realizaron tres ensayos en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Guanajuato, en el 2006, 2008 y 2009. El primero, fue solamente el incremento mediante polinización controlada de 10 colectas de maíces criollos de igual número de razas proporcionadas por el CIMMyT. En el ensayo dos y tres se utilizó el método I de Griffing, que involucra todas las cruzas posibles y los progenitores y se realizó el ANVA para calcular los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER), efectos maternos (EM) y efectos no maternos (ENM), de acuerdo con el programa Diallel-SAS Método I, propuesto por Zhang y Kang (2003). Los genotipos fueron evaluados en campo, en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones y en laboratorio en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó el comportamiento agronómico de los progenitores, la calidad de la semilla, tolerancia a *Fusarium*, entre otras. En los híbridos F1 se determinó la calidad de la semilla, y se establecieron en campo para evaluar características agronómicas y del rendimiento. En los resultados del primer ensayo se determinaron grandes diferencias entre el germoplasma evaluado, debido principalmente a la precocidad, altura de planta, tolerancia a enfermedades, calidad de la semilla, entre otras. Con respecto al ensayo de la calidad de la semilla, el ANAVA mostró diferencias significativas para los genotipos, en los caracteres evaluados; encontrándose genotipos sobresalientes y otros con pobre comportamiento en estos parámetros. La ACG contribuye en mayor

proporción que la ACE en las variables analizadas y además se observan efectos maternos. Los mejores cruzamientos para Germinación estándar fueron en los que interviene la variedad de la raza Jala, Pepitilla, Ancho pozolero y Tabloncillo; en relación al vigor en las mejores cruza intervienen las variedades Pepitilla, Ancho pozolero y Celaya. En las cruza más destacadas para peso de mil semillas, intervino el progenitor Ancho pozolero. En el experimento de la caracterización agronómica de los híbridos y sus progenitores, el ANVA mostró diferencias significativas para genotipos, ACG y ACE para la mayoría de las variables. Los efectos genéticos aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos no aditivos. Los efectos recíprocos se observaron en todos los rasgos excepto en altura de planta y prolificidad, atribuidos principalmente a efectos maternos (recíproco general); los progenitores Bolita y Tabloncillo fueron los más precoces y Tuxpeño y Jala, los más tardíos. Para rendimiento los progenitores con el mayor estimador fueron Tuxpeño y Celaya, para longitud de mazorca destacó la variedad Jala, mientras que en el peso de mil granos correspondió para el Ancho pozolero. Las cruza específicas Tabloncillo por Pepitilla y Pepitilla por Tabloncillo mostraron efectos negativos para floración femenina y para floración masculina fueron Tabloncillo por Bolita y Tabloncillo por Dulce. Para rendimiento, las cruza más sobresalientes fueron Tepecintle por Dulce y Celaya por Tuxpeño, para longitud de mazorca las cruza Dulce por Jala y Jala por Bolita presentaron el estimador más alto, y para el peso de mil granos la participación del progenitor Ancho pozolero generó los mayores estimadores positivos.

ABSTRACT

Keywords: genetic components, GCA, SCA, reciprocal effects, seed quality and landraces of maize.

Three trials were conducted in the experimental field of the Instituto Tecnológico de Roque, at Celaya, Gto, at 2006, 2008 and 2009. The first was only increased by controlled pollination of 10 collections of creole maize of equal number of races provided by CIMMYT. In the essay two and three used the method I of Griffing, involving all possible crossing and parents and the ANOVA was performed to calculate the square means the effects of general combinatory ability (GCA), specific combinatory ability (SCA), reciprocal effects (RE), maternal (ME) and not maternal effects (NME), in accordance with the program Diallel-SAS method I proposed by Zhang and Kang (2003). The genotypes were evaluated in field, laboratory and a design of full blocks random with two replicates a design completely randomly with four repetitions. We evaluated the agronomic performance of the parents, the quality of the seed, tolerance to *Fusarium*, among others. F1 hybrids the seed quality were tested, and were sown in field to evaluate agronomic characteristics and grain yield. The results of the first trial identified great differences between the germplasm assessed, mainly due to the earliness, tall plant, tolerance to diseases, seed quality, among others. With regard to the seed quality testing, the ANOVA showed significant differences for the genotypes evaluated characters; finding outstanding genotypes and others with poor behavior in these parameters. The ACG contributes in greater proportion than the ACE in the analyzed traits and also maternal effects are observed. The best crosses to standard germination were involving the varieties of Jala, Pepitilla, Ancho pozolero and Tabloncillo landraces; in relation to the seed vigor in the best crossing involved the varieties Pepitilla, Ancho pozolero and Celaya. In the most important crossing for thousand seed weight, intervened the parent Ancho pozolero. In the experiment of the agronomic characterization of hybrids and their parents, the ANOVA showed significant differences for genotypes, GCA and SCA for most of the variables. Additive genetic effects contribute in greater proportion than not additive effects. Reciprocal effects were observed in all the features except tall plant and prolificity, attributed mainly to maternal effects (reciprocal general); Bolita and Tabloncillo parents were the most early and Tuxpeño and Jala, the later. Major grain yields estimator parents were for Tuxpeño and Celaya, for length of ear underlined the variety Jala, while thousand grain weight for Ancho pozolero. The specific crossing Tabloncillo by Pepitilla and Pepitilla by Tabloncillo showed adverse effects on female flowering and for male flowering were Tabloncillo by Bolita and Tabloncillo by Dulce. For grain yield the most outstanding crossing were Tepecintle by Dulce and Celaya by Tuxpeño, for length of ear the crossing Dulce by Jala and Jala by Bolita presented the estimator more high, and the weight of thousand grains the participation of the parent Ancho pozolero generated more positive estimators high.

CONTENIDO GENERAL

Agradecimiento	<i>iii</i>
Dedicatoria	<i>iv</i>
Compendio	<i>v</i>
Summary	<i>vi</i>
Índice de Cuadros y Figuras	<i>ix</i>
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Objetivo	4
Capítulo II. CARACTERIZACION DEL POTENCIAL AGRONOMICO DE MAICES CRIOLLOS PARA EL MEJORAMIENTO GENETICO	5
2.1. Introducción	5
Capítulo III. COMPONENTES GENETICOS PARA CALIDAD DE SEMILLA EN CRUZAS DIALELICAS DE VARIEDADES CRIOLLAS DE MAÍZ	
3.1. Resumen	34
3.2. Abstract	35
3.3. Introducción	36
3.4. Materiales y Métodos	38
3.5. Resultados y Discusión	39
3.6. Conclusiones	46
3.7. Literatura Citada	46
Anexo1. Carta de recepción del Artículo II enviado a UJAT	50
Capítulo IV. ESTIMACIÓN DE LA APTITUD COMBINATORIA Y EFECTOS RECÍPROCOS EN CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE MAÍCES CRIOLLOS	
4.1. Resumen	51
4.2. Abstract	52
4.3. Introducción	53
4.4. Materiales y Métodos	56
4.5. Resultados y Discusión	58
4.6. Conclusiones	69

4.7. Literatura Citada	70
Capítulo V. Discusión General	76
Capítulo VI. Conclusiones	78
Capítulo VII. Literatura Citada	80

Índice de Cuadros y Figuras Capítulo II.

No.	Título	Página
1	Accesiones de maíces criollos utilizados en ensayos de comportamiento en Celaya, Gto y Torreón, Coah. 2007, 2008 y 2009.	9
2	Caracteres vegetativos y fisiológicos de 12 variedades criollas de maíz. Celaya, Gto., 2007	10
3	Características físicas y fisiológicas de semilla de 12 variedades criollas de maíz. Celaya, Gto. 2007.	12
4	Área foliar por planta (cm ²), de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estadio fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.	13
5	Biomasa total por planta (g), de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estado fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.	15
6	Relación del área foliar (RAF) (cm ² /g) de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estadio fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.	16
7	Cuadro Aislados de <i>Fusarium</i> spp, colectados en diferentes localidades de Guanajuato y utilizados para observar su capacidad patogénica en variedades criollas de diferentes razas de maíz.	19
8	Escala propuesta para la caracterización de la resistencia de las poblaciones de maíz, de acuerdo a la sintomatología que presento la plántula inoculada.	20
9	Promedio de los niveles de reacción causados en las plántulas de 13 variedades de razas de maíz, a los 21 días después de la inoculación con aislados de <i>Fusarium</i> sp.	22
10	Promedio de los niveles de daño a nivel plántula en las variedades de maíz, ocasionados por los aislados de <i>Fusarium</i> spp., a los 21 días de la inoculación.	23
11	Características de masa y tortilla elaboradas con maíces criollos. Celaya, Gto. 2007.	26

No.	Título de la figura	
1	Escala del daño causado por <i>Fusarium</i> sp, en plántulas de maíz a los 21 días después de la inoculación del hongo (Figuroa, 2009).	21
2	A. <i>F. verticillioides</i> (Dol-131a) invadiendo la semilla de la raza Dulce, B. Plántula de la raza Pepitilla con <i>F. verticillioides</i> (Jar-1142b).	24
3	Plántula dañada por <i>F. verticillioides</i> (Dol-131a).	25
 Capítulo III.		
1	Cuadro 1 Accesiones de maíces criollos utilizados en ensayos de comportamiento en Celaya, Gto y Torreón, Coah. 2008 y 2009.	38
2	Cuadrados medios para caracteres de calidad de semilla de variedades criollas de maíz, evaluadas en laboratorio. I.T. Roque, Celaya, Gto. México. 2009.	40
3	Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para caracteres de calidad de semilla de 10 variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto. México, 2009.	42
4	Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para caracteres de calidad de semilla, de los 10 cruzamientos más sobresalientes y los cinco menos destacados, entre variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto. México, 2009.	45
 Capítulo IV.		
1	Accesiones de maíces criollos utilizados en ensayos de comportamiento en Celaya, Gto y Torreón, Coah. 2008 y 2009.	57
2	Cuadrados medios para ACG, ACE, ER, EM y ENM de caracteres agronómicos, rendimiento y sus componentes, de híbridos intervarietales de maíces criollos, evaluados en I.T. de Roque, Celaya, Gto. Méx. 2009.	59
3	Cuadro 3. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para caracteres agronómicos, componentes de rendimiento entre	61

	variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.	
4	Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz para caracteres agronómicos. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.	63
5	Cuadro 5. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz para rendimiento y componentes. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.	67
6	Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz para componentes de rendimiento. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.	68

CAPITULO I. INTRODUCCION

El maíz, en la historia de las culturas mesoamericanas y en especial en la de México, ha sido y es el eje sobre el cual han establecido su evolución y desarrollo, ya que es el eje central de sus actividades políticas, económicas, religiosas y culturales. Su domesticación data de más de 7000 años, según vestigios arqueológicos localizados en el Valle de Tehuacán, Puebla (MacNeish, 1964 y Mangelsdorf *et al.* 1964). El origen del vocablo “Maíz”, proviene de la lengua caribeña de la isla de Haití, donde los nativos le llamaban “*Mahiz*”, de donde fue tomado por los conquistadores españoles; en México era llamado *Tlayolli*, *Centli* ó *Cintle*, en náhuatl; en maya *Ixi*; en huasteco *Iziz*; en otomí *Detha* (Reyes, 1990).

Se considera centro de origen del maíz a toda Latinoamérica, siendo México el país que posee la mayor diversidad, 65 razas y subrazas identificadas y descritas hasta la actualidad (Coutiño, 2010), en este mismo contexto, Wellhausen *et al.* 1951; Mangelsdorf, 1974; Brown y Goodman, 1977; Goodman y Bird, 1977; señalaron que los maíces mexicanos, más que los de cualquier otro país de América, tienen una extraordinaria diversidad genética y han tenido un papel importante en el desarrollo de las modernas y productivas variedades explotadas en América latina y especialmente en la Faja maicera de los Estados Unidos. Los primeros estudios formales de clasificación y descripción de la diversidad genética de la especie empezaron a partir de 1940 y publicados por Wellhausen *et al.* (1951), y se describen las principales características de las primeras 25 razas mexicanas de maíz identificadas.

Actualmente, el maíz, se cultiva en más del 80% de los países del orbe; representa el segundo cultivo en importancia a nivel mundial, la producción estimada para 2011, según el USDA será alrededor de los 866.17 millones de toneladas, en aproximadamente 160 millones de hectáreas, donde Estados Unidos de Norteamérica, China, la Unión Europea, Brasil, Argentina, México e India son los mayores productores (www.agropanorama.com); en México se siembran más de ocho millones de hectáreas cada año y la producción estimada para 2011 es de 24.5 millones de toneladas; la cual no satisface la demanda interna, que se ubica alrededor de los 28 millones de toneladas anuales.

La necesidad de crear nuevos cultivares para las diferentes regiones agroecológicas donde se explota el maíz, ha llevado al desarrollo de técnicas para determinar la compatibilidad de los recursos genéticos (variedades nativas, poblaciones y líneas derivadas de estas) en pro del rendimiento, la calidad de la semilla, la tolerancia a enfermedades y otras características agronómicas de importancia; asimismo, para estimar las ganancias genéticas acumuladas.

Sprage y Tatum (1942), establecieron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). El primero se refiere al comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas con un conjunto de líneas diferentes y su valor está determinado principalmente por el efecto aditivo de los genes y la aptitud combinatoria específica, se refiere a la desviación que presenta la progenie de una crusa determinada, con respecto al comportamiento promedio de sus progenitores y se debe a los efectos no aditivos de los genes.

Los esquemas de cruzamientos dialélicos y su análisis han sido desarrollados para progenitores de amplia base genética así como para líneas endogámicas y se han utilizado ampliamente para evaluar el potencial relativo de las poblaciones de maíz. La teoría y análisis de las cruzas dialélicas para la estimación de las varianzas genéticas y efectos genéticos ha sido descrita por Hayman (1954, 1958 y 1960), Anderson y Kempthorne (1954) y Griffing, 1956; este último propuso cuatro métodos para analizar los experimentos dialélicos, dependiendo de la inclusión de los progenitores y/o las cruzas recíprocas. En base a esto, el método 1 considera todas las cruzas posibles $p(p-1)$ y los progenitores; el método 2 incluye las cruzas directas $p(p-1)/2$ y los progenitores; el método 3 incluye las cruzas directas y recíprocas y el método 4 las $p(p-1)/2$ cruzas directas. Los métodos 2 y 4 solo permiten estimar componentes de varianza para ACG y ACE, mientras que los métodos 1 y 3, mediante la inclusión de determinados términos en el modelo, permiten estimar además de los componentes de varianza, los correspondientes a efectos maternos recíprocos. La división de los efectos recíprocos, en maternos (recíproco general) y no maternos (recíproco específico) en el análisis dialélico, es de utilidad para la determinación de efectos nucleares y extranucleares en la expresión de los caracteres (Zhang y Kang, 1997 y Kang *et al.* 1999).

Actualmente, los cultivares de maíz existentes en el mercado se han originado de un reducido número de accesiones de germoplasma, lo cual limita la disponibilidad de materiales mejorados para las diversas regiones agrícolas del mundo. Eberhart, 1971; Holley y Goodman, 1988; Mungoma y Pollak, 1988, Hallauer y Miranda, 1981; Iglesias y Hallauer, 1981; Micheline y Hallauer, 1983; Oyervides *et al.* 1985; Pollak *et al.* 1991;

señalaron la necesidad de ampliar la base genética utilizada por los mejoradores de maíz, incorporando germoplasma exótico a los programas de formación de nuevas variedades.

El objetivo de este estudio fue determinar el potencial agronómico de variedades criollas nativas de México y los efectos de aptitud combinatoria y efectos recíprocos en caracteres de calidad de semilla, agronómicos y de rendimiento en cruzamientos dialélicos entre las mismas.

CAPITULO II. CARACTERIZACION DEL POTENCIAL AGRONOMICO DE MAICES CRIOLLOS PARA EL MEJORAMIENTO GENETICO

2.1. INTRODUCCION

En maíz (*Zea mays* L), la disponibilidad de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad genética y el conocimiento de su capacidad combinatoria, aún sin determinar en su totalidad, es de vital importancia para la generación de nuevos cultivares, que integren características de adaptabilidad, utilidad, tolerancia a plagas y enfermedades, comportamiento fisiológico eficiente, respuesta favorable al estrés abiótico, calidad de semilla, rendimiento y aceptación por los productores.

Se reconoce a México como el principal centro de origen de este importante cereal, se reporta el registro de 62 razas y subrazas de maíz (Cuevas, 2008), lo que lo ubica como el de mayor diversidad; sin embargo el aprovechamiento de esta gran riqueza germoplásmica es limitada, los programas de mejoramiento genético del cultivo, se han abocado a la explotación de una mínima porción del vigor híbrido existente entre los diversos patrones heteróticos, centrándose básicamente en características como el rendimiento, la composición química del grano y algunos esfuerzos recientes, enfocados a describir la utilidad de algunos materiales para su inclusión en programas de mejoramiento genético, caracterizando la utilidad de variedades nativas para la elaboración de tortillas (Vásquez *et al.*, 2003; Mauricio *et al.*, 2004 y Andrio *et al.*, 2010), determinación del contenido y tipo de pigmentos (Salinas *et al.*, 2003), la tolerancia de algunos materiales a suelos ácidos y de baja disponibilidad de fósforo (Bayuelo *et al.*,

2007), quedando pendiente la exploración de las bondades que pudieran existir en muchas otras características como eficiencia fotosintética, tolerancia a plagas y enfermedades, resistencia a sequía, entre otras y que significan gran utilidad para el fitomejoramiento, y que se encuentran en variedades nativas de diferentes grupos raciales, los cuales han sido descritos por Wellhausen *et al.* (1951), Hernández y Alanís, (1970) y Cuevas (2008), y específicamente en nuestro país, donde son solo algunos los tipos raciales predominantes que se han empleado en la conformación de la mayoría de los materiales mejorados actuales, (Reyes, 1990), y muy poco esfuerzo se ha dedicado para utilizar otros patrones heteróticos y garantizar avances genéticos a futuro, especialmente para las zonas tropicales y subtropicales en ambientes de secano y condiciones de suelos marginales.

En México el cultivo del maíz es de importancia nacional, por la superficie que se le destina anualmente, la población que de una u otra manera depende de su explotación, la participación preponderante que posee en la dieta de la gran mayoría de los mexicanos y las implicaciones de tipo cultural, religioso, social, económico, que conlleva.

En el año 2010, se sembraron 8 221 518 ha, de maíz para diferentes finalidades, forraje, grano, semilla, de las cuales fue posible obtener cosecha solo del 80% de la superficie (SIAP, 2011), el restante 20% se perdió por diversos factores, principalmente precipitación errática y problemas bióticos; el rendimiento medio por hectárea logrado en maíz para grano fue de 3.24 t, en forraje 27.22 t, en semilla 7.56 t, en este último rubro es importante señalar que solo se está produciendo semilla de variedades mejoradas para 1.5 millones de hectáreas, lo que deja 6 721 518 ha, prácticamente, la

totalidad de la superficie manejada en condiciones de secano, sin disponibilidad de semillas de variedades que sean una opción favorable para incrementar los niveles de producción de este importante cultivo, y donde los productores tienen que resolver esta necesidad de insumo con las variedades criollas tradicionales que han venido utilizando por tiempos inmemorables.

Otros aspectos de suma importancia que poco se han tomado en cuenta en la generación de nuevos cultivares, es el comportamiento fisiológico, donde el área foliar, la producción de materia seca, la tasa de asimilación neta y otros parámetros fisiotécnicos, permiten seleccionar entre las variedades criollas, las de mayor eficiencia en la utilización de los insumos y que se manifieste en un mayor potencial productivo; la tolerancia a plagas y enfermedades específicamente a la infección por hongos de suelo y en particular *Fusarium sp*; cultivares con mejor respuesta a la incidencia de araña roja, problema especialmente importante en las regiones secas y cálidas; la calidad de la semilla es otro parámetro importante desde la perspectiva de mayor tolerancia al deterioro natural, y su mejor respuesta fisiológica al momento del establecimiento en condiciones de campo (vigor y capacidad germinativa), y por otro lado la utilidad y calidad industrial del grano, ya que se requieren materiales con características específicas, que permitan un procesamiento sencillo, con alto rendimiento y producción de harinas de calidad para la elaboración de tortillas, atoles, frituras, de acuerdo a los estándares de calidad definidos para los maíces que se destinan a la elaboración de harinas nixtamalizadas; se considera que de los híbridos y variedades de maíz que se siembran en México y dados a conocer en los últimos años, gran parte, no reúnen tales

exigencias de calidad, interesando mayormente su comportamiento en relación al rendimiento de grano.

En el Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Gto, a partir del año 2006 se ha establecido un programa de exploración y utilización de diversas variedades criollas, pertenecientes a diversos grupos raciales de maíces mexicanos, los cuales se han seleccionado a partir de los resultados reportados por Castro *et al.* (1968) y que Crossa *et al.* (1990), recomendaron explotar debido al potencial heterótico que presentan, según al análisis de la información que obtuvieron en dos localidades de Guanajuato, durante cuatro ciclos de cultivo; entonces, aquí se realizará la descripción de los resultados logrados a la fecha, en diversos estudios llevados a cabo con estos mismos materiales.

Durante 2007 y 2008, se ensayó el comportamiento de 13 variedades típicas de las razas Tepecintle, Tuxpeño, Jala, Pepitilla, Ancho, Celaya, Dulce, Reventador, Bolita, Tabloncillo, Cristalino de Chihuahua Zapalote chico, y criollo de Gómez Palacio, materiales obtenidos del Banco de Germoplasma del CIMMyT y del programa de mejoramiento genético de maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL (UAAAN-UL) (Cuadro 1), con la finalidad de caracterizarlas fenotípicamente y realizar un análisis de crecimiento con algunas de estas variedades criollas de maíz.

Cuadro 1. Accesiones de maíces criollos utilizados en ensayos de comportamiento en Celaya, Gto y Torreón, Coah. 2007, 2008 y 2009.

Raza de Maíz	CIMMyT	Origen	Tipo endospermo
Tepecintle	756	Chiapas	Dentado
Tuxpeño	1	Michoacán	Dentado
Jala	1655	Nayarit	Dentado
Pepitilla	1346	Guerrero	Dentado Harinoso
Harinoso de 8	2250	Nayarit	Semidentado suave
Celaya	1670	Guanajuato	Dentado
Dulce	1060	Guanajuato	Dentado cristalino
Reventador	1671	Nayarit	Cristalino
Bolita	5983	Oaxaca	Cristalino
Tabloncillo	331	Jalisco	Semidentado cristalino
Cristalino de Chihuahua	6746	Chihuahua	Dentado Cristalino
Zapalote Chico	2272	Oaxaca	Dentado cristalino
Criollo de Durango (Gómez Palacio)	UAAAN	Durango	Dentado

Fuente: Banco internacional de germoplasma CIMMyT.

Las variedades criollas se sembraron en un diseño bloques completos al azar, con tres repeticiones, se condujeron agronómicamente aplicando el paquete tecnológico recomendado para la producción de maíz en el Bajío (INIFAP, 1993). En un primer ensayo se caracterizaron los materiales por diferencias morfológicas y fenológicas, las cuales se presentan en el Cuadro 2.

Del total de materiales de partida, no todos fueron considerados en los diferentes ensayos posteriormente establecidos, por disponibilidad de semilla y el interés particular en ensayar materiales contrastantes.

Cuadro 2. Caracteres vegetativos y fisiológicos de 12 variedades criollas de maíz. Celaya, Gto., 2007.

Variedad	AP (m)	AM (m)	HP	HAM	AH (cm)	FM Días	FF Días
Tepecintle	2.77 c	1.76 d	17.67 bc	6.33 a	10.67 ab	100	101
Tuxpeño	3.36 b	2.38 b	18.33 ab	7.0 a	10.67 ab	95	96
Jala	4.05 a	2.67 a	19.67 a	7.0 a	11.33 a	95	95
Pepitilla	3.22 b	2.15 c	18.67 ab	6.66 a	10.00 ab	96	96
Harinoso 8	1.87 g	0.90 hi	12.00 d	6.0 ab	9.00 bc	72	75
Celaya	3.10 b	1.62 de	16.33 c	6.33 a	10.00 ab	76	78
Dulce	2.07 fg	1.17 fg	12.33 d	5.0 b	8.00 cd	67	77
Reventador	2.25 def	0.96 gh	12.00 d	6.0 ab	8.00 cd	80	82
Bolita	2.50 d	1.48 e	13.67 d	6.33 a	10.33 ab	73	75
Tabloncillo	2.37 de	1.22 f	13.33 d	6.66 a	10.33 ab	71	72
Cristal. Chi.	1.83 g	0.70 i	10.00 e	4.0 b	6.16 d	62	60
Z. chico	2.10 efg	0.70 i	12.00 d	7.0 a	8.00 cd	63	65

dms \leq 0.05; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca; HP, hojas/planta; HAM, hojas arriba mazorca; AH ancho de hoja; FM, floración femenina; FF, floración masculina

El análisis de varianza practicado a los parámetros señalados, detecto diferencias altamente significativas entre los materiales. La altura de planta estuvo comprendida entre 4.05m y 1.83m, correspondiendo a la variedad Jala y Cristalino de Chihuahua respectivamente; los valores de altura de mazorca mayor y menor, fueron 2.67m y

0.70m, para las mismas variedades, además de Harinoso de 8 y Zapalote Chico; tanto la altura de planta como el número de hojas totales por planta son parámetros de importancia cuando consideramos a estos materiales con potencial para utilizarse como progenitores de variedades para uso forrajero, debido al comportamiento de la digestibilidad, el valor nutritivo y el contenido de fibra y lignina y nutrientes digestibles totales, que presentan los tallos y hojas, con relación a la mazorca (Reyes 1990, Nuñez *et al.*, 2004 y Di Marco y Aello, 2007) y cuando lo relacionamos con la productividad por planta, es elemental la mayor cantidad de hojas arriba de la mazorca, ya que son las que mayormente contribuyen a la acumulación de fotoasimilados a los órganos de reserva, tal como lo señalan Tanaka y Yamaguchi (1972), también Reyes (1990), señala que las hojas arriba de la mazorca y las de la parte media, son las que mayormente abonan al llenado del grano y explica que es debido a la diferencia con que estas interceptan la energía luminosa.

Por otra parte, la calidad de la semilla, es un concepto múltiple, que incluye el comportamiento de atributos del componente físico, fisiológico, sanitario y genético. Se realizó un primer ensayo para determinar algunos atributos físicos y fisiológicos de la calidad de semilla de 12 variedades criollas de maíz y no se observan diferencias en relación a la germinación, el rango comprendió de 92 a 98%; el vigor determinado por la prueba de envejecimiento acelerado puntualizó el comportamiento de este característica, entre 76.6 y 93.3% de plántulas normales, correspondientes a las variedades Jala y Reventador, respectivamente, este comportamiento nos señala las diferencias varietales con respecto a la tolerancia al deterioro que presentan estas variedades; el peso de mil semillas estuvo comprendido entre 513.2 y 189.7 g para las

variedades Tabloncillo y Reventador, estas diferencias son altamente significativas, de acuerdo al ANVA realizado, (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características físicas y fisiológicas de semilla de 12 variedades criollas de maíz. Celaya, Gto. 2007.

Variedad	PV (kg/hl)	PMS (gr)	GE (%)	Vigor (%)
Tepecintle	76.33bc	291.3 f	96.0 a	86.00 bc
Tuxpeño	75.46 c	347.5 e	97.0 a	86.00 bc
Jala	73.66 d	499.1 b	95.0 a	76.60 f
Pepitilla	70.73 e	396.5 c	92.0 a	84.66 bcd
Harinoso 8	76.80 b	381.2 d	96.0 a	85.33 bc
Celaya	76.23 bc	379.2 d	95.0 a	83.33 bcd
Dulce	70.70 e	260.4 g	93.0 a	81.33 cde
Reventador	78.83 a	189.7 h	97.0 a	93.33 a
Bolita	78.36 a	393.8 c	96.0 a	77.33 ef
Tabloncillo	76.13 bc	513.2 a	95.0 a	86.66 bc
Cristal Chih.	72.66 d	401.4 c	93.0 a	79.33 def
Z. Chico	72.83 d	373.0 d	98.0 a	88.66 ab

PV, peso volumétrico; PMS, peso de mil semillas; GE, germinación estándar

Se efectuaron correlaciones entre las variables evaluadas y solo existió entre el peso volumétrico y la germinación, el peso de mil semillas y el vigor.

En relación a la fenología, se tiene que la diferenciación de las estructuras vegetativas y reproductivas se conocen como el desarrollo fenológico de las plantas, y estas a su vez indican el destino que la planta esta dando a los fotoasimilados; este desarrollo así

como el crecimiento, están influenciados por las variaciones ambientales, las cuales a su vez dependen en gran medida de la altitud y latitud de cada región. Asimismo, el comportamiento de algunos elementos como la temperatura, intensidad y duración de la luz, humedad y nutrimentos del suelo, deben ser tomados en cuenta para determinar el comportamiento del crecimiento y diferenciación de las plantas.

En el ciclo primavera-verano del 2008, se evaluaron cuatro variedades criollas de maíz de distinto grupo racial, en un diseño experimental bloques completos al azar, replicado tres veces, a una densidad de población de 70000 p ha⁻¹. Se muestreo en cuatro etapas fenológicas, para área foliar y producción de biomasa seca (Cuadros 4 y 5); se tomaron dos plantas en competencia completa, se disectaron y pesaron los órganos por separado, se sometieron a secado en estufa de convección a 70°C, hasta lograr peso constante.

Cuadro 4. Área foliar por planta (cm²), de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estadio fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.

Variedad	R1	R3	R5	R6
Tuxpeño	6744	6330	4339.5	3471
Zapalote Chico	1848.5	1196.5	1064.5	1005.5
Celaya	4071	3214.5	2560.5	2182.5
Cristalino de Chih.	1148	956	906.5	889.5

R1=antesis; R3=grano lechoso; R5=grano dentado; R6=madurez fisiológica

La máxima área foliar se logro en la etapa de antesis (R1) y posterior, al no existir incremento en el número de hojas, esta empezó a disminuir, por la senescencia de las hojas inferiores y la consecuente pérdida de área foliar. La variedad de la raza Tuxpeño observo una extraordinaria generación de área foliar, igualmente que la variedad de la

raza Celaya, lo cual está relacionado con la cantidad de hojas que las caracteriza, 18.33 y 16.33 respectivamente (Cuadro 2); las variedades de las razas Zapalote Chico y Cristalino de Chihuahua, presentan área foliar sustancialmente menor, al compararlas con las anteriores, y esto también tiene relación con el número de hojas y el ancho de las mismas, 12 y 10 cm y 8.0 y 6.16 cm respectivamente (Cuadro 2), los aparatos fotosintetizadores de estas variedades representan en promedio el 19.25% y 24.75%, con respecto al de la variedad de mayor área foliar, que es la de la raza Tuxpeño (Cuadro 4).

La producción de materia seca se incrementó con diferente intensidad en las variedades ensayadas y es importante destacar el incremento progresivo hasta R5 y el notable descenso que se observa en R6, específicamente en las variedades Tuxpeño y Zapalote Chico, la cual se atribuye a cuestiones de muestreo, ya que este fue destructivo, y es muy probable que aquí se encuentre la razón de este comportamiento; en cuanto a las variedades Celaya y Cristalino de Chihuahua, existió un comportamiento lineal en la primera, y en la segunda el cambio tan pronunciado de R5 a R6 puede ser explicado por la producción de hijuelos productivos en esta variedad (2 a 3), lo cual le da esa capacidad de generación de materia seca tan espectacular al final del ciclo (R6), (Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa total por planta (g), de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estado fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.

Variedad	R1	R3	R5	R6
Tuxpeño	36.47	173.95	263.62	134.95
Zapalote Chico	63.1	109.6	251.6	169.95
Celaya	37.05	109.5	124.67	141.67
Cristalino de Chihuahua	38.28	104.2	193.92	315.4

R1=antesis; R3=grano lechoso; R5=grano dentado; R6=madurez fisiológica

El cálculo de parámetros fisiotécnicos, es de importancia para lograr una caracterización más profunda del germoplasma, ya que permite conocer la eficiencia en la utilización de los insumos para la producción de biomasa, que antropocéntricamente sea de mayor interés, y posibilitar la utilización de estos materiales en programas de mejoramiento genético con una mayor probabilidad de generar materiales sobresalientes para diversos usos.

La relación de área foliar (RAF) (Hunt, 1982), representa la relación entre la fotosíntesis y la respiración dentro de la planta; para calcular la RAF se utilizó la ecuación siguiente:

$$RAF = AF/PS, \text{ las unidades correspondientes son } \text{cm}^2 \text{ g}^{-1}.$$

Así tenemos que las plantas que requieren una mayor área foliar por cada gramo de materia seca generado, estarán empleando en su mantenimiento (respiración), una mayor cantidad de los fotoasimilados logrados, y de este modo se tienen plantas menos eficientes; tal es el caso de las variedades Tuxpeño y Celaya, con respecto a Zapalote Chico y Cristalino de Chihuahua, las cuales están requiriendo menor cantidad de área foliar para generar cada gramo de materia seca (Cuadro 6).

Cuadro 6. Relación del área foliar (RAF) (cm²/g) de cuatro variedades criollas de maíz, en diferente estadio fenológico, Celaya, Gto. P-V 2008.

Variedad	R1	R3	R5	R6
Tuxpeño	184.91	36.38	16.46	25.72
Zapalote Chico	29.29	10.91	4.23	5.91
Celaya	109.9	29.33	20.53	15.40
Cristalino de Chihuahua	29.98	9.14	8.02	2.82

R1=antesis; R3=grano lechoso; R5=grano dentado; R6=madurez fisiológica

En la RAF se han observado diferencias importantes entre genotipos, y su valor disminuye conforme avanza la edad de la planta, y esto es especialmente de mayor importancia en los genotipos precoces que en los tardíos (Gerakis y Papacosta-Tasapoulou, 1979).

Cada una de las colectas empleadas en este estudio se considera representativa de cada raza, y existe variación natural dentro de las mismas, originada por la recombinación genética y su evolución, ya que se consideran poblaciones panmicticas y con equilibrio en sus frecuencias alélicas, según la ley de Hardy-Weinberg.

Otros ensayos se realizaron para identificar resistencia o tolerancia a algunas plagas y enfermedades que son de importancia particular, en zonas de producción específicas.

Un acaro que causa grandes problemas en el desarrollo adecuado del cultivo, especialmente en las zonas áridas, es *Tetranychus urticae*, su control se realiza principalmente con agroquímicos, sin embargo, el principal problema es la rápida habilidad por parte del acaro, para desarrollar resistencia, lo cual está demostrada a

nivel mundial. Una herramienta para el control de *T. urticae* en este cultivo, lo constituye el uso de variedades resistentes, la resistencia genética ha sido reportada en muchos cultivos (Flexner *et al.*, 1995). Lograr plantas resistentes y/o tolerantes a las plagas y enfermedades, es una forma adecuada de contribuir a una mayor productividad, por medio de una menor destrucción de plantas, ahorro en la aplicación de los métodos de control, disminuyendo costos y mejorando la calidad de la producción. Una manera de identificar resistencia a insectos, es la antibiosis, que puede ser representada por aquellas características de la planta, bien sean físicas o químicas y que actúan contra la biología de los insectos. En un ensayo realizado en el ciclo P-V 2007, en Torreón, Coahuila, se propuso identificar la tolerancia de 12 variedades criollas de maíz, a la infestación por el ácaro de dos manchas (*T. urticae* Koch).

Las variedades se sembraron en un diseño experimental bloques al azar, repetido cuatro veces. Se tomaron cinco plantas de cada repetición y los muestreos se realizaron en la hoja número cinco de cada planta, en la parte basal, media y apical, y en la totalidad de la planta, cada ocho días a partir de los 30 días después de la siembra y terminados al momento de la cosecha del forraje (1/3 de la línea de leche en el grano). En los resultados de las poblaciones de ácaros-día-hoja, se encontró un menor grado de infestación en las variedades de las razas Jala, Dulce, Zapalote Chico y Celaya, como resultado de la variación natural propia de los materiales.

En otro estudio realizado durante 2009, para detectar antibiosis, se manejo el material biológico por la técnica de Abou-Setta y Childers (1987) conocida como hoja arena. Se colocó una hembra grávida en un cuadro de hoja de maíz de 1mm², de cada una de las

12 variedades criollas, se repitió cinco ocasiones. Se tomaron lecturas cada 24 horas por espacio de nueve días.

Los resultados muestran que existen diferencias significativas en cuanto a la antibiosis entre los 12 criollos utilizados, destacando las variedades pertenecientes a las razas Tuxpeño y Dulce.

Asimismo, las enfermedades en este cultivo, cobran gran importancia por la merma en la producción, por lo que se ha dirigido investigación hacia la tolerancia a enfermedades. Existe una gran diversidad de fitopatógenos que atacan al maíz, destacan los hongos de los géneros *Phytophthora*, *Phytium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium* (Figuroa *et al.*, 2009), de este último en especial, existen un gran número de especies que afectan el cultivo en la mayoría de las zonas productoras, originando problemas en el desarrollo normal de la planta desde la siembra, causando la pudrición de semilla, por su carácter sistémico, pudriciones y muerte de plántulas, pudriciones de tallo y consecuentemente acame de tallo y raíz y pudrición de mazorca.

En 2006, se colectaron plantas con daños evidentes de pudrición, en los principales sitios productores de maíz del estado de Guanajuato, Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende, Comonfort, Apaseo el Grande, Villagrán, Juventino Rosas, Cortázar, Salvatierra, Abasolo, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Pénjamo, Irapuato, León y Silao. En cada municipio se realizaron cinco muestreos seleccionando 100 plantas con síntomas de pudrición.

Se aislaron e identificaron los patógenos causantes de la sintomatología en el laboratorio de Fitopatología del CEBAJ-INIFAP. Las colonias se observaron al

microscopio por la técnica sugerida por Barnett y Hunter (1998). Se obtuvo una suspensión de conidios de las colonias identificadas como *Fusarium*, se dispersó en placas con el medio de cultivo específico Spezieller Nährstoffmarmmer Agar. Posteriormente se identificó el hongo a partir de los cultivos monoconidiales. A las 24 horas se obtuvieron conidios germinados e individualmente fueron transferidos a cajas petri en medio de cultivo hojas de clavel-agar, se corroboró la identidad de los aislados con las claves de Leslie y Summerell (2006).

La valoración patogénica de los aislados de *Fusarium* se realizó en el Laboratorio de Sanidad de Semillas del Instituto Tecnológico de Roque (ITR); se seleccionó un grupo de 12 cepas de *Fusarium* spp por su agresividad en las variedades criollas de maíz (Cuadro 7).

Cuadro 7. Aislados de *Fusarium* spp, colectados en diferentes localidades de Guanajuato y utilizados para observar su capacidad patogénica en variedades criollas de diferentes razas de maíz.

Clave de Identificación	Origen	Especie
C1	San Miguel Allende	<i>F. subglutinans</i>
C2	San Miguel Allende	<i>F. subglutinans</i>
C3	León	<i>F. subglutinans</i>
C4	León	<i>F. subglutinans</i>
C5	Dolores Hidalgo	<i>F. verticillioides</i>
C6	Dolores Hidalgo	<i>F. verticillioides</i>
C7	Jaral del Progreso	<i>F. verticillioides</i>
C8	Jaral del Progreso	<i>F. verticillioides</i>
C9	Villagrán	<i>F. heterosporum</i>
C10	Villagrán	<i>F. heterosporum</i>
C11	Pénjamo	<i>F. heterosporum</i>
C12	Pénjamo	<i>F. heterosporum</i>

Se incremento el inculo y se elaboró una suspensión final a una concentración de 1×10^6 microconidios/mL en agua destilada, la cual fue utilizada para la inoculación en la semilla de las variedades empleadas en el ensayo, las cuales fueron sembradas en vasos de poliestireno, con vermiculita como sustrato. Se regaron cada tercer día, las plántulas se mantuvieron en invernadero, a una temperatura promedio de 30°C. Se evaluó germinación a los siete y 12 días (Moreno, 1996), posteriormente a los 21 días después de la inoculación, se extrajo la plántula para evaluar el daño, para ello se

utilizó una escala de cinco niveles, según los síntomas de la enfermedad (Figura 1 y Cuadro 8).

Cuadro 8. Escala propuesta para la caracterización de la resistencia de las poblaciones de maíz, de acuerdo a la sintomatología que presentó la plántula inoculada.

Escala	Descripción de la severidad de la enfermedad (daño)
0	Raíces sanas
1	Ligera coloración interna café a rojiza en raíces secundarias
2	Daño moderado que se extiende hasta el cuello de la plántula
3	Daño severo que se extienden a las raíces y cuello de la plántula
4	Planta muerta

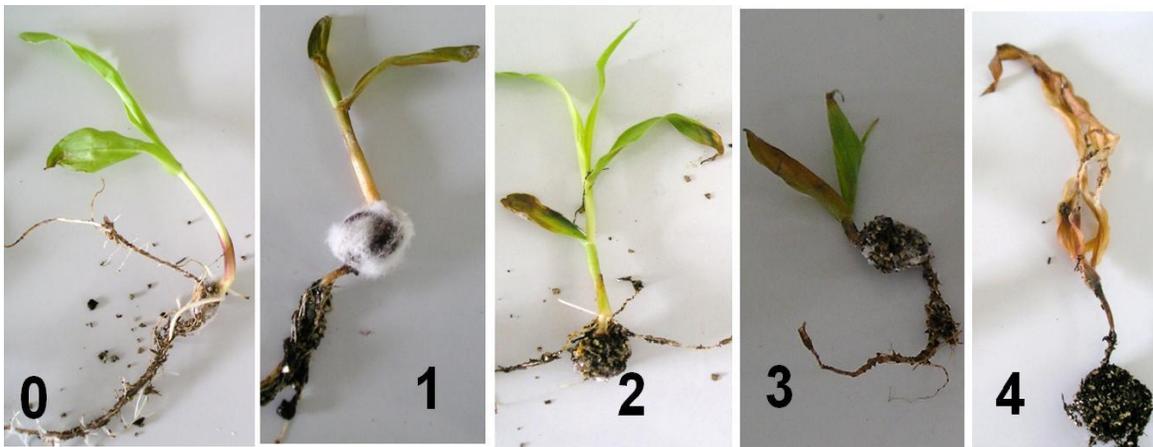


Figura 1. Escala del daño causado por *Fusarium* sp, en plántulas de maíz a los 21 días después de la inoculación del hongo (Figuroa, 2009).

En el cuadro 9 se observa que los aislados de *F. verticillioides* Dol-131a, Jar-1142b, Jar-1143a, Dol-134a, y de *F. subglutinans* Leo-1511 y SMA-222a, generaron daño agresivo en las plántulas de maíz. En relación a estos resultados, Mendoza *et al.* (2006)

describen que *F. verticillioides* es capaz de colonizar maíz durante todo el ciclo vegetativo de las plantas, y en este estudio se observó que esta especie alcanzó hasta un 36.2 % de daño a las plántulas de maíz. Otros estudios como los realizados por González *et al.* (2007) reportan a las especies *F. gramineum*, *F. moniliforme* (*F. verticillioides*) y *F. poae* como patogénicas sobre tres razas de maíz.

Las cepas Villa-641a, Villa-611a y Pen-1324a de *F. heterosporum*, fueron las que causaron menor nivel de daño en las plántulas de maíz.

Cuadro 9. Promedio de los niveles de reacción causados en las plántulas de 13 variedades de razas de maíz, a los 21 días después de la inoculación con aislados de *Fusarium* sp.

Patógeno	Identificación de la cepa	Daño en plántula (%)	
<i>F. verticillioides</i>	Dol-131a	36.2	A
<i>F. verticillioides</i>	Jar-1142b	34.6	Ab
<i>F. subglutinans</i>	Leo-1511a	33.8	Abc
<i>F. verticillioides</i>	Dol-134a	30.2	Abc
<i>F. subglutinans</i>	SMA-222a	29.8	Abc
<i>F. verticillioides</i>	Jar-1143a	29.6	Abc
<i>F. subglutinans</i>	Leo-1513b	28.0	Bcd
<i>F. subglutinans</i>	SMA-211a	27.2	Bcd
<i>F. heterosporum</i>	Pen-1321 ^a	26.2	Bcd
<i>F. heterosporum</i>	Villa-641 ^a	25.2	D
<i>F. heterosporum</i>	Pen-1324a	25.0	D
<i>F. heterosporum</i>	Villa-611a	22.6	D

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $p \leq 0.01$)

En el Cuadro 10 se muestra la prueba de separación de medias para la variable tolerancia a *Fusarium*; las colectas de maíz susceptibles al patógeno fueron Zapalote chico con un 33.4%, Dulce con un 31%, C. Chihuahua con 31%, Harinoso de 8 con 28.1%, Celaya con el 28.0 %, Tabloncillo con 27.8 %, Tepecintle con 27.6 % y Jala con el 26.4 % de daño en plántula. Estos resultados coinciden con los de Cerovich *et al.* (2004) que reportaron a la raza de maíz Zapalote chico susceptible a *Fusarium*, y tiene características poco favorables para ser utilizada en programas de mejoramiento genético, por su susceptibilidad a dicho patógeno. Otro resultado semejante reportó Wellhausen *et al.* (1951) quienes mencionan que esta misma raza tiene características fisiológicas desfavorables que la hacen susceptible al ataque de patógenos.

En este mismo cuadro se muestran a las colectas de maíz que se consideran tolerantes a la interacción con el patógeno, Tuxpeño con un 20.8 %, Pepitilla con 23.2 %, C. de Durango con 23.4 %, Bolita con un 24.8 % y Reventador con el 25.6 % de daño; estos resultados coinciden con los publicados por Paliwal (1986), donde reporta a la raza Tuxpeño, como resistente a este patógeno, considerando origen tropical.

Por su parte Munkvold y Desjardins (1997) y Mendoza *et al.* (2006) señalan que los síntomas de la enfermedad se incrementan cuando las plántulas se encuentran en la etapa V3 (tercera hoja) y la infección es sintomática y puede presentarse en cualquier etapa de la planta, pudiéndose o no desarrollar una infección sistémica. Algunas plántulas desarrollaron en su totalidad sus primeras hojas; sin embargo en otros casos solo se desarrolló el hipocotilo.

Cuadro 10. Promedio de los niveles de daño a nivel plántula en las variedades de maíz, ocasionados por los aislados de *Fusarium* spp., a los 21 días de la inoculación.

Razas de maíz	Daño en plántula	
		(%)
Zapalote Chico	33.4	A
C. Chihuahua	31.0	Ab
Dulce	30.0	Ab
Harinoso de 8	28.1	Abc
Celaya	28.0	Abc
Tabloncillo	27.8	Abc
Tepecintle	27.6	Abc
Jala	26.4	Abc
Reventador	25.6	Bc
Bolita	24.8	Bc
C. Durango	23.4	Bc
Pepitilla	23.2	Bc
Tuxpeño	20.8	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $p \leq 0.01$)

En la Figura 3, se observan las plántulas de la raza Dulce, aunque vigorosas tuvieron asociación con el patógeno, al respecto Peretti (1994) señala que dicha asociación que realiza la plántula con el patógeno, se refleja en su fisiología y morfología, ya que se forman plántulas raquílicas y en algunos casos atrofiadas en sus estructuras primordiales de desarrollo. Sin embargo en algunos casos las plántulas mostraron pudriciones tanto en tallo como en raíz (Figura 2), estos resultados fueron similares a

los que reportan Cisneros *et al.* (2007) quienes señalan que después de la inoculación las plantas continuaron creciendo con daños evidentes en los tallos y raíces.

De acuerdo a la Figura 2A se observa la semilla invadida por el patógeno, también existieron plántulas que convivieron con el hongo, sin evidenciar daño en su desarrollo (Figura 2B). Al respecto, Donald (2004) señala que *F. subglutinans* y *F. verticillioides* raramente causan problemas con la germinación de las semillas de maíces tipo dentado.



A

B

Figura 2. **A.** *F. verticillioides* (Dol-131a) invadiendo la semilla de la raza Dulce, **B.** Plántula de la raza Pepitilla con *F. verticillioides* (Jar-1142b).



Figura 3. Plántula dañada por *F. verticillioides* (Dol-131a).

También se ha abordado, en algunos trabajos lo relacionado con la calidad de los maíces para nixtamalización. En el fitomejoramiento, otro de los propósitos es obtener maíces adecuados para su procesamiento industrial; actualmente la industria desarrolla mecanismos para su abastecimiento de materia prima, a través de contratos con productores para sembrar híbridos y variedades que reúnan las características de calidad necesarias para la obtención de harinas nixtamalizadas. Así, el grano que va ser utilizado para elaborar atole debe desarrollar altas viscosidades; en el caso de las masas para elaborar frituras y/o tamales, es deseable que mantengan humedades bajas para facilitar el freído. Caso contrario, para la elaboración de tortillas, enchiladas y sopes, se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia, entre otras características, producir maíces que logren estos atributos implica un valor agregado.

Se utilizó grano de las variedades del tipo Jala, Tuxpeño, Dulce, Elotes occidentales y Pepitilla. Se determinaron a la masa, características de adhesividad, cohesión y humedad; a las tortillas, tensión, corte, color y humedad. La viscosidad máxima de la harina del grano de los maíces evaluados osciló entre 357 y 1813 cp. La humedad del grano, masa y tortilla, resultó entre 10.0-11.6%, 54.2-58.0% y 42.30-44.28% respectivamente. Las propiedades de textura de las tortillas presentaron altas correlaciones ($R^2 > 0.95$) con las propiedades de las masas producidas. Las tortillas elaboradas con las razas de maíz que presentaron las mejores propiedades de textura fueron aquellas elaboradas con maíz del tipo Jala (Cuadro 11).

Cuadro 11. Características de masa y tortilla elaboradas con maíces criollos. Celaya, Gto. 2007.

Variedades criollas de Maíz	Textura masa		Humedad		Color	Textura tortilla	
	Cohesión	Adhesión	Masa	Tortilla	Delta E	Tensión	Corte
	G	G	%	%		G	G
Jala	162.6	21.1	54.2	42.30	35.08	256	1,523
Pepitilla	100.3	25.2	58.0	43.83	33.65	247	1,119
Elotes Occs	156.7	29.7	55.5	42.82	62.63	155	1,303
Tuxpeño	178.4	30.3	55.5	44.28	33.81	204	891
DMS ¹	4.96	1.834	0.1624	0.1975	0.528	7.5687	173.8

¹ DMS ($P \leq 0.05$)

2.4. CONCLUSIONES

El germoplasma evaluado mostro gran variabilidad genética entre razas para las diferentes características medidas.

La calidad fisiológica de la semilla es excelente, su capacidad germinativa se ubicó entre 92 al 98%; el vigor entre 76.6 y 93.3% de plántulas normales para las variedades Jala y Reventador, respectivamente; el peso de mil semillas estuvo comprendido entre 513.2 y 189.7 g para las variedades Tabloncillo y Reventador.

La variedad de la raza Tuxpeño y Celaya, presentaron una extraordinaria producción de área foliar, relacionado con la cantidad de hojas que las caracteriza, 18.33 y 16.33, respectivamente; las variedades de las razas Zapalote chico y Cristalino de chihuahua, presentan un área foliar sustancialmente menor y según la RAF registrada se considera a estos genotipos como más eficientes.

La máxima acumulación de materia seca se determino en la etapa de grano dentado.

La floración femenina varío de 60 a 101 días para la variedad Cristalino Chihuahua y Tepecintle, respectivamente.

En cuanto a la tolerancia a insectos, específicamente araña roja, algunos materiales presentaron mecanismos de disminución de la incidencia pudiendo ser estos mecanismos fitoquímicos y/o mecánicos los responsables de este comportamiento. Se encontró poblaciones de ácaros-día-hoja en menor grado de infestación en los criollos Jala, Dulce, Zapalote Chico y Celaya, en cuanto a la antibiosis de las variedades ensayadas destacan los criollos pertenecientes a las razas Tuxpeño y Dulce.

Para tolerancia a *Fusarium*, las variedades presentan una variabilidad comprendida entre 79.5 y 66.6%, y se determinó como la más tolerante a Tuxpeño y la más susceptible Zapalote chico.

De acuerdo a las características de la masa y las tortillas que se elaboraron, resulto como mejor genotipo la variedad perteneciente a la raza Jala.

Los materiales presentan variabilidad en sus diversas características y se considera la explotación de las varianzas genéticas propias de las poblaciones, en un esquema de mejoramiento que puede ser selección recurrente intrapoblacional e interpoblacional, para acumular efectos genéticos aditivos y de dominancia.

2.5 LITERATURA CITADA

Abou-Setta M M and C C Childers (1987). A modified leaf arena technique for rearing phytoseiid or tetranychid mites for biological studies. The Florida Entomologist.

Vol 70, No. 2, 245-248 pp

Andrio E E, G Arambula V, E Gutierrez A, O Antuna G, S A Rodríguez H, M

Mendoza E, J G Rivera R (2010). Evaluación de la calidad para elaborar nixtamal y tortillas, de cinco tipos de maíces criollos. En: Nájera R M B y C A Ramírez M (eds). Mejoramiento, conservación y uso de los maíces criollos. Publicación especial SOMEFI A.C-COECyT Michoacán-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Pp 195-205.

Barnett H L and B B Hunter (1998). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 218 p.

Bayuelo J J, V Pérez D, M Magdalena A, M Gallardo V y R Cárdenas N (2007).

Evaluación de pelos radicales en maíz criollo (*Zea mays* L.), de la mesa purépecha. En: Nájera R M B y C A Ramírez M (eds). Mejoramiento, conservación y uso de los maíces criollos. Publicación especial SOMEFI A.C-COECyT Michoacán- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Pp 130-140.

Castro G M, C O Gardner and J H Lonquist (1968). Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. Crop Sci. 8. 97-101.

Cerovich, M, F Miranda, A López, R Figueroa y A Trujillo (2004). El peso específico como indicador de calidad física y fisiológica en semilla certificada en arroz. Maracay. *Agronomía Trop.*54:1

Cisneros L M, E L Mendoza O E Mora A G, L Córdova T y M Livera M (2007). Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío III: Calidad de la semilla cosechada de plantas infectadas con *Fusarium verticillioides* (SACC) Nirenberg. *Agrociencia.* 41: 004. 405-415.

Cuevas S J A (2008). El proyecto maestro de maíces criollos Monsanto-CNC. *Imagen Agropecuaria* No. 1. consultado septiembre de 2008.
www.imagenagropecuaria.com

Crossa J, S Taba, and E Wellhausen (1990). Heterotic patterns among Mexican races of maize. *Crop Science* 30:1182-1190.

Di Marco O N y M S Aello. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. Engormix.com/articles. Consultado 01 Agosto 2007.

Donald G W (2004). Plagas y enfermedades del maíz. , American Phytopathological Society. 78 p.

Flexner J L, P H Westigard, R Hilton, and B A Croft. (1995). Experimental Evaluation of Resistance Management for twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on Southern Oregon Pear: 1987-1993. *Journal of Economic Entomology.* 88:1517-1524

Figuroa R M G (2009). Caracterización genética y patogénica a *Fusarium* sp., e identificación de fuentes de resistencia en razas de maíz. Tesis de Maestría. CEPI-ITR. Roque, Celaya, Gto. México. 78 p.

Figuroa R G, J G Ramírez P, J Covarrubias P, E Andrio E, A López B, M Mendoza E (2009). Nivel de resistencia de 13 razas de maíz causada por *Fusarium spp.* Memorias de III Reunión nacional para el mejoramiento, conservación y uso de los maíces criollos. SOMEFI- I.T. Roque, Celaya, Gto. pp 32.

Gerakis P A and D Papacosta-Tasopoulou (1979). Growth dynamics of *Zea mays* L. populations differing in genotype and density and grown under illuminance stress. Oecol. Plant. 14: 13-26 pp.

González H A, Vázquez G L M, Sahagún C J, Rodríguez P J E y Pérez L D J (2007) Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. Agricultura Técnica en México 33(1):33-42

Goodman M N and L W Brown (1988). Races of corn. *In:* G F Sprague, J W Dudley (eds). Corn and Corn Improvement. ASA Monograph No.18, Madison, Wisconsin. pp:33-79.

Hernández X E y G Alanís F (1970). Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5. pp 3-30.

Hunt R (1982). Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Ed. Edward Arnold. Great Britain. 247 p.

INIFAP (1993). Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. Folleto para productores No. 3. CEBAJ, Celaya, México. 33p.

Leslie J F y B A Summerell (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell, 212-218

Mauricio S R A, J D Figueroa, S Taba, M L Reyes, F Rincón, A Mendoza (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Rev. Fitotec. Mex. 27:213-222.

Mendoza E M, E Andrio E, A López B, J R Rodríguez G, L Latournerie M y S A Rodríguez H (2006). Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. Agronomía Mesoamericana. Costa Rica. 17(1):19-24

Moreno M E (1996). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. 113-116 pp.

Munkvold G P, Desjardins A E (1997). Fumonisin in maize. Can we reduce their occurrence. Plant Disease 81: 556-563.

Núñez H G, G F Contreras, C R Faz (2004). Producción, composición química y digestibilidad in vitro de híbridos de maíz de origen tropical y templado en la región árida del norte de México. Avances en investigación agropecuaria 8:01 1-9p

Paliwal R L (1986). Mejoramiento del maíz híbrido. Deposito de documentos de la FAO. USDA. Disponible en www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s16.htm. Consultada en 12 de noviembre de 2008.

Peretti A (1994). Manual para el análisis de semillas. INTA-Fac. de Ciencias Agrarias Universidad del Mar del Plata. Edit Hemisferio Sur. Buenos aires, Argentina 281p.

Reyes C P (1990). El maíz y su cultivo. AGT Editor S.A. México. 460p.

SIAP (2011) Sistema de información agropecuaria de SAGARPA, www.siap.gob.mx. Consulta marzo de 2011.

Salinas M Y, F Martínez B, M Soto H, R Ortega P, J L Arellano V (2003). Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37:006, pp617-628.

Tanaka A and J Yamaguchi, 1972. Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Japan*, Vol 57: 71-132p. Trad. Kohashi S J.

Vázquez C M G, Guzmán B L, Andrés G J L, Márquez S F, Castillo M J (2003) Calidad de grano y tortilla de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 231-238.

Velásquez C G A (2007). Cultivo de maíz en la mesa central de México. *Agrosíntesis*. México, D. F., pp. 8-9.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951). Razas de maíz en México. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales, SAG, México.

Zebarth, B. J., M. Younie., J. W. Paul, S. Bittman. 2002. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in high fertility environment. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 33:665-684.

Manuscrito Publicado en: Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México. 2011. pp. 59-73. Eds. R.E. Preciado-Ortiz y S. Montes-Hernández. SOMEFI, A.C. ISBN 978-607-8029-04-4.

CAPITULO III. COMPONENTES GENETICOS PARA CALIDAD DE SEMILLA EN CRUZAS DIALELICAS DE VARIEDADES CRIOLLAS DE MAÍZ.

Genetic components to seed quality in diallel cross of varieties creoles of maize

3.1. RESUMEN

La utilización de la variabilidad germoplásmica es de importancia esencial en el fitomejoramiento, un aspecto importante en las nuevas variedades de maíz, además de las características agronómicas, es la calidad de su semilla. Se considera que la varianza aditiva contribuye mayormente en caracteres de semilla y plántula que los efectos de dominancia. El objetivo de la presente investigación consistió en estimar los componentes genéticos para características de semilla en cruzamientos dialélicos de variedades criollas. El trabajo experimental se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Gto, en los ciclos P-V 2008 y 2009; se utilizó un diseño de cruzas dialélicas 10x10 y se evaluó el comportamiento de los cruzamientos directos, recíprocos y de los progenitores. Se realizó el ANAVA para calcular los efectos de Aptitud Combinatoria General, Aptitud Combinatoria Específica, Efectos Maternos y Efectos Recíprocos, de acuerdo con el método I de Griffing, se utilizó el programa Diallel-SAS Método I. El ANAVA mostró diferencias significativas para los genotipos, en los caracteres evaluados; encontrándose genotipos sobresalientes y otros con pobre comportamiento en estos parámetros. La ACG contribuye en mayor proporción que la ACE en las variables analizadas y además se observan efectos maternos. Los mejores cruzamientos para Germinación estándar fueron en los que interviene la variedad de la raza Jala, Pepitilla, Ancho pozolero y Tabloncillo; en relación al vigor en las mejores cruzas intervienen las variedades Pepitilla, Ancho pozolero y Celaya. En las cruzas más destacadas para peso de mil semillas, intervino el progenitor Ancho pozolero.

PALABRAS CLAVE: calidad de semilla, componentes genéticos, cruzas dialélicas

3.2. ABSTRACT

The use of germoplasmic variability is of essential importance in plant breeding, an important trait in new varieties of maize, in addition to agronomic traits, it is the quality of its seed. Is the additive variance is greater impact on characters of seed and seedling to the effects of dominance. Proposed estimate the genetic components for seed characteristics of crosses diallelic of landraces of maize seed. Experimental work was held at the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto, in spring-summer cycles 2008 and 2009, in a 10 x 10 mating model, and evaluated it the behavior of the direct and reciprocal crosses, as well as the parents. ANOVA was performed to calculate general combining ability, specific combining ability, maternal and reciprocal effects based on the method I of Griffing, use the Diallel-SAS method I programme. The ANOVA showed significant differences for genotypes, in the evaluated characters; finding outstanding genotypes and others with poor behavior in these parameters. The ACG contributes in greater proportion than the ACE in the analyzed variables and also maternal effects are observed. The best crosses to standard germination were involving the variety of Jala, Pepitilla, Ancho pozolero and Tabloncillo; in relation to the seed vigor, the best crossing involves the varieties Pepitilla, Ancho pozolero and Celaya. In the most important crossing for thousand seed weight, intervened the parent Ancho pozolero.

KEY WORDS: seed quality, genetics components, diallel mating.

3.3. INTRODUCCION

La disponibilidad de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad genética y el conocimiento de su aptitud combinatoria en maíz (*Zea mays* L), es importante para la generación de nuevos cultivares que posean características deseables de comportamiento agronómico y de calidad de semilla (Coutiño *et al.*, 2010). Se ha señalado, por diversos investigadores, la necesidad de ampliar la base genética del germoplasma que se está utilizando en la generación de nuevas variedades, ya que solo se explota una pequeña porción de la misma, pero se reconoce también la dificultad para que científicos que trabajan de manera aislada logren evaluar gran cantidad de materiales y puedan detectar genotipos que resulten con buen potencial para utilizarse como nuevos cultivares (Crossa *et al.*, 1987 y Goodman y Brown, 1988). La importancia del maíz a nivel mundial, la determinan la diversificación de usos que se incrementan cada vez, las tendencias en los hábitos alimenticios en las economías emergentes y esto conlleva al incremento continuo de la superficie cultivada; en este contexto, en 2011 el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estima que se producirán 866.17 millones de toneladas en aproximadamente 160 millones de hectáreas, donde Estados Unidos de Norteamérica, China, la Unión Europea, Brasil, Argentina, México e India son los mayores productores (www.agropanorama.com); la producción nacional se estima para este mismo ciclo en 24.5 millones de toneladas.

Se reconoce a México como el principal centro de origen del maíz, se reporta el registro de 65 razas y subrazas (Coutiño, 2010), lo que lo ubica como el de mayor diversidad en esta especie; sin embargo el aprovechamiento de esta gran riqueza germoplásmica es

limitada, ya que solo se emplea una mínima porción del vigor híbrido existente entre los diversos patrones heteróticos, enfocándose básicamente a características como el rendimiento, a pesar de que autores como Eberhart (1971), Hallauer y Miranda (1988), Holley y Goodman (1988) y Pollak *et al.*, (1991), señalan la importancia de incorporar germoplasma exótico en los programas de mejoramiento de este cultivo.

La variabilidad genética puede ser atribuida al genotipo o al ambiente y ambos afectan la expresión de los caracteres de las plantas y se considera que la varianza aditiva contribuye en mayor proporción que la de dominancia en diversas características de calidad de semilla y de plántula (Ajala y Fakorede, 1988 y Antuna *et al.*, 2003, Cervantes *et al.*, 2006).

La calidad de la semilla es un concepto múltiple, incluye atributos físicos como el tamaño, fisiológicos como el vigor y el poder germinativo; sanitarios y genéticos, y es conocido que la herencia de la misma es compleja y es de vital importancia para los agricultores y en la industria semillera. Para el agricultor, porque determina el número de plantas a establecerse por unidad de superficie cultivada, prefiriendo aquellos lotes que muestran alto vigor; para la industria, la calidad de la semilla es trascendente, por la gran variación existente en tipos, formas y tamaños de semilla que presentan las variedades de maíz (Delouche y Cadwell, 1962). Una herramienta útil para caracterizar progenitores y estimar los parámetros genéticos de estos y sus cruzas son los análisis dialélicos y permiten establecer la metodología de mejoramiento más apropiada (Hallauer y Miranda, 1988). El objetivo de la presente investigación fue estimar los componentes genéticos para atributos de calidad de semilla en variedades criollas de maíz de diferente grupo racial.

3.4. MATERIALES Y METODOS

Se realizó un diseño de cruza dialélicas involucrando 10 variedades de maíz representativas de las razas Tepecintle, Tuxpeño, Jala, Pepitilla, Ancho pozolero, Celaya, Dulce, Reventador, Bolita y Tabloncillo, las cuales fueron proporcionadas por el Banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMyT) y del Programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto Tecnológico de Roque (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acciones de maíces criollos utilizados en cruzamientos dialélicos en Celaya, Gto, 2008 y 2009.

Raza de Maíz	CIMMyT	Origen	Tipo endospermo	Altitud de adaptación
Tepecintle	756	Chiapas	Dentado	1100 m
Tuxpeño	1	Michoacán	Dentado	1300 m
Jala	1655	Nayarit	Dentado	1000 m
Pepitilla	1346	Guerrero	Dentado harinoso	1500 m
Ancho Pozolero	ITR-01	Guanajuato	Semident- harinoso	1700 m
Celaya	1670	Guanajuato	Dentado	1500 m
Dulce	1060	Guanajuato	Dentado cristalino	1700 m
Reventador	1671	Nayarit	Cristalino	100 m
Bolita	5983	Oaxaca	Cristalino	1250 m
Tabloncillo	331	Jalisco	Semident-cristalino	1350 m

Fuente: Banco internacional de germoplasma CIMMyT.

Los cruzamientos se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2008, en el campo experimental del ITR, en Celaya, Gto., el cual se ubica en las coordenadas 20°31' de LN y 100°50' de LO, a una altura de 1766 m; las características del sitio experimental

de acuerdo a García (1988), se considera un clima semicálido, subhúmedo, con una temperatura media anual de 19°C y una precipitación de 600 a 800mm al año; el suelo, según la clasificación de FAO-UNESCO es Vertisol pélico, de textura franco-arcillosa, plano, pH neutro o ligeramente ácido y de alta fertilidad. Con la finalidad de lograr mayor coincidencia en la floración se establecieron dos fechas de siembra, el 24 de marzo y 14 de abril de 2008. El manejo agronómico se realizó de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico para producción de maíz del INIFAP-CEBAJ (1993). Se realizaron todos los cruzamientos posibles ($n(n-1)$) y se incrementó a los progenitores por cruzamientos fraternales. La semilla de las cruzas F_1 y los progenitores se cosecho separadamente en noviembre de 2008, se desgrano y puso a secar al sol hasta homogenizar su contenido de humedad al 12%, posteriormente se procedió a realizar las pruebas de calidad de semilla en el Laboratorio de Análisis de semillas del ITR; se determinaron los caracteres de calidad de la semilla: Germinación estándar (GE), Vigor al 1er conteo de GE (4to día) y el peso de mil semillas (PMS), como lo indica Moreno (1996) e ISTA (2005). Se realizó el ANAVA para calcular aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER) y efectos maternos (EM), de acuerdo con el método I de Griffing (1956), utilizando el programa Diallel-SAS Método I, propuesto por Zhang y Kang (2003).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre genotipos ($p \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados; germinación estándar (GE), vigor y peso de mil semillas (PMS) (Cuadro 2). Mediante la descomposición de los cuadrados medios de Genotipos se detectó que la ACG, ACE, ER y EM, también presentan diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en las características señaladas.

Las diferencias estadísticas de la ACG y ACE, señalan que en estos caracteres se encuentran involucrados genes de efectos aditivos y no aditivos, tal como lo aseveran Antuna *et al.* (2006) y Cervantes *et al.* (2006) en líneas endogámicas de maíz y Cho y Scott (2000), en *Glycine max* (L) Merrill. En este mismo sentido, se muestra que los valores de ACG son mayores a los de ACE; lo que indica que los efectos de varianza aditiva son más importantes que los de varianza de dominancia para las características evaluadas. Estos resultados coinciden con los señalados por Ajala y Fakorede 1988, Antuna *et al.* 2003 y Cervantes *et al.*, 2006, pero difieren de los reportados por Cano *et al.*, 2000, en semilla de melón. Del mismo modo, los efectos recíprocos y maternos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), lo que indica la importancia de seleccionar el progenitor femenino para favorecer la producción y calidad de la semilla, lo que coincide con lo reportado por Cervantes *et al.* 2006.

Cuadro 2. Cuadrados medios para caracteres de calidad de semilla de variedades criollas de maíz, evaluadas en laboratorio. I.T. Roque, Celaya, Gto. México. 2009.

Fuente de Variación	GI	GE	VIGOR	PMS
Repeticiones	3	25.28	271.88**	30.58
Genotipos	99	282.04**	1075.49**	52020.23**
ACG	9	1254.01**	2807.92**	199297.48**
ACE	45	371.03**	950.54**	8212.79**
ER	45	351.43**	1320.48**	48503.97**
EM	9	1262.29**	3052.89**	200837.49**
Error	99	14.46	38.75	52.50
C.V	---	4.12	7.55	1.80

** Diferentes a una probabilidad de 0.01. GE, VIGOR y PMS, corresponden a la germinación estándar, vigor al primer conteo (4^o día) y peso de mil semillas, respectivamente.

En cuanto a su ACG, se detectaron genotipos sobresalientes y otros con pobre comportamiento en los parámetros de calidad de semilla, (Cuadro 3). En la variable GE todos los progenitores presentaron valores positivos y significativos, excepto la variedad Tabloncillo, lo que indica que las variedades estudiadas presentaron un comportamiento favorable, sin embargo la variedad de la raza Tabloncillo (10) sobresale con el comportamiento mas pobre. En relación al vigor de semilla, los genotipos evaluados exhiben valores positivos y negativos significativos, en este parámetro, el mejor comportamiento lo presentó la variedad de la raza Reventador (8) y la variedad con el vigor más bajo fue la perteneciente a la raza Tabloncillo (10); la cual exhibió la menor germinación, e igualmente al evaluar el vigor de la semilla fue consistente en este comportamiento. Con respecto al peso de mil semillas, la variedad Ancho pozolero (5) manifestó el mayor peso de semillas; este comportamiento era esperado por el tamaño de grano que presenta este genotipo, que es superior a todos los materiales evaluados; en este sentido, Palemón *et al.* (2008) señala que el peso de semilla de genotipos

pertenecientes a esta raza oscilan entre 733 a 1040 gr. Por otro lado, las variedades Reventador (8), Tepecintle (1) y Tuxpeño (2) presentaron el más bajo peso de semilla. Al respecto Preciado *et al.* (2005) afirman que cuando se detectan efectos grandes en la ACG, es factible explotar la porción aditiva de la varianza genética disponible, a través de cualquier variante de la selección recurrente.

Cuadro 3. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para caracteres de calidad de semilla de 10 variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto. México, 2009.

Genotipos	G E	Vigor	PMS
Tepecintle(1)	6.093800**	2.623289**	-21.318560**
Tuxpeño (2)	7.441022**	8.534678**	-19.943283**
Jala (3)	5.298244**	9.383289**	19.901717**
Pepitilla (4)	1.617689**	1.091623 ^{ns}	-17.018977**
Ancho Poz (5)	3.593939**	1.725928*	123.211440**
Celaya (6)	7.701022**	7.563845**	-0.205644 ^{ns}
Dulce (7)	3.659494**	6.249817**	61.507588**
Reventador (8)	7.964911**	14.689678**	-55.758560**
Bolita (9)	8.812133**	12.391067**	-4.165366**
Tabloncillo (10)	-52.182255**	-64.253215**	36.804821**

*, ** Diferentes a una probabilidad de 0.05 y 0.01, GE, VIGOR y PMS, corresponden a la germinación estándar, vigor al primer conteo (4º día) y peso de mil semillas, respectivamente.

Al analizar los valores de ACE, para la GE las mejores cruzas fueron 3x5D, 6x10D, 4x5R, 1x4R, (Cuadro 4), en estas combinaciones híbridas están involucradas las variedades 3,4,5 y 10 (Jala, Pepitilla, Ancho pozolero y Tabloncillo); de estos progenitores el que presenta la mayor ACG es Tabloncillo (10). En este sentido, Cervantes *et al.*, 2006, señalan en un estudio de parámetros genéticos con líneas élite de maíz, que para calidad de semilla, en las mejores cruzas específicas participó al menos un progenitor de alta ACG, asimismo otros autores (Gómez *et al.*, 1988 y Antuna *et al.*, 2003) puntualizan este mismo comportamiento en caracteres agronómicos en líneas endogámicas de maíz. Dentro de las cinco cruzas con más baja ACE, el cruzamiento menos sobresaliente es el 4x10R (Tabloncillo x Pepitilla) y en las cuatro restantes combinaciones híbridas interviene también como hembra el progenitor 10 (Tabloncillo); caso contrario ocurre cuando participa como progenitor masculino (Cuadro 4). Esto nos indica la acción de los efectos maternos, lo cual es respaldado por los resultados de los efectos de las varianzas aditivas y no aditivas, siendo de mayor magnitud los efectos maternos (Cuadro 2).

El comportamiento del vigor de la semilla, es de gran importancia en el establecimiento inicial de los cultivos y en la determinación de su capacidad de almacenamiento (Delouche, 1985) y depende en gran medida del genotipo; en este sentido cuando se analiza el comportamiento de cruzas específicas (ACE), se observa a las cruzas 5x6D, 2x6D, 1x4R (Cuadro 4), como las que manifiestan un mayor vigor y en ellas están involucrados los progenitores 4, 5 y 6, que no necesariamente observan valores altos de ACG para esta característica (Cuadro 3), e incluso en el progenitor 4 (Pepitilla) este efecto es no significativo; esta inconsistencia en el comportamiento de la aptitud

combinatoria de las variedades en esta característica, indica que el comportamiento de los cruzamientos híbridos no necesariamente tiene que coincidir con la habilidad combinatoria a través de sus cruzas (ACG), tal como lo manifestó Baker (1978).

En relación a las cruzas que manifestaron la menor ACE en vigor, en todas esta involucrada la variedad 10 (Tabloncillo) como progenitor femenino (Cuadro 4), y del mismo modo en la variable germinación, lo que resalta la importancia de los efectos maternos en la calidad fisiológica de la semilla (Cuadro 2).

De las características físicas el tamaño también puede tener influencia en el comportamiento de la calidad y en este estudio se puede observar que los progenitores que presentaron la mayor ACG no fueron consistentes en sus combinaciones híbridas específicas, por ejemplo la variedad Ancho pozolero posee la más alta ACG para PMS, sin embargo cuando se analizan las mejores 10 cruzas específicas esta participa solo en tres y la más sobresaliente para esta variable fue la 5x8R (Reventador x Ancho pozolero). Referente a los cruzamientos menos destacados en este mismo carácter fue la crusa 4x10R (Tabloncillo x Pepitilla); no obstante el progenitor 5 (Ancho pozolero) participa en tres combinaciones híbridas de bajo valor de ACE para PMS, esto se puede atribuir a que los efectos genéticos de ACG son 25 veces mas grandes que los efectos genéticos de ACE y aunado a esto se encuentran efectos maternos significativos (Cuadro 2). Respecto a estos resultados, Baker en 1978, estableció que el comportamiento de los cruzamientos no puede ser predicho en base a la ACG de sus progenitores.

Cuadro 4. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para caracteres de calidad de semilla, de los 10 cruzamientos más sobresalientes y los cinco menos destacados, entre variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto. México, 2009.

Genotipo	GE	Genotipo	Vigor	Genotipo	PMS
3x5D	7.92**	1x8D	12.60**	8x10D	94.31**
4x9D	6.39**	2x6D	14.31**	2x8D	41.98**
2x10D	6.63**	2x9D	9.43**	6x7D	39.21**
3x10D	6.10**	4x6D	12.26**	3x8R	92.60**
6x10D	6.60**	5x6D	15.12**	4x7R	43.74**
1x4R	8.00**	6x7D	10.10**	5x6R	161.87**
1x5R	7.50**	6x10D	12.33**	5x8R	240.51**
2x7R	5.75**	1x4R	13.00**	5x9R	66.49**
3x7R	5.62**	3x5R	8.00**	6x7R	97.18**
4x5R	8.50**	4x5R	11.50**	6x8R	85.66**
1x10R	-65.84**	3x10R	-79.95**	1x5R	-124.57**
7x10R	-63.48**	4x10R	-90.74**	2x5R	-120.07**
4x10R	-69.03**	8x10R	-75.39**	4x5R	-98.96**
9x10R	-60.83**	9x10R	-77.94**	4x10R	-146.80**
3x10R	-59.10**	6x10R	-60.77**	7x10R	-113.62**

*** Diferente a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. D, R, GE, Vigor y PMS, corresponden a las cruzas directas, cruzas recíprocas, germinación estándar, vigor por 1er. Conteo de GE y peso de mil semillas, respectivamente.

3.6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, los efectos de la ACG son mayores que los de ACE en todas las variables analizadas. Esto indica la presencia de genes aditivos explotables a través de alguna técnica de mejoramiento, que puede ser hibridación y/o selección recurrente.

Por su ACG para germinación, el mejor progenitor fue la variedad Bolita, para vigor la variedad Reventador y para peso de mil semillas la variedad Ancho pozolero. Por su ACE, los mejores cruzamientos para germinación fueron Pepitilla x Ancho pozolero y Tepecintle x Pepitilla; para vigor la cruza Ancho x Celaya y Tuxpeño x Celaya; para peso de mil semillas Ancho pozolero x Reventador y Ancho pozolero x Celaya.

En este grupo de razas de maíz existieron efectos maternos significativos en los atributos de la calidad de semillas; por lo tanto, debe considerarse la elección del progenitor femenino en la producción de semillas.

3.7. LITERATURA CITADA

- Ajala, S.O and M.A.B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigour and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica*. 33:121-129.
- Antuna G, O., F. Rincón S, E. Gutiérrez del R, N.A Ruíz T y L.A. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1)11-17.
- Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Cano R, P., G. Ramírez R, J. Ortégón P, J.H. Esparza M y S. Rodríguez H. 2000. Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Agrociencia* 34:337-342.
- Cervantes, O. F, G. García, A. Carballo C., D. Bergvinson, J. Crossa, M. Mendoza E., y E. Moreno M. 2006. Análisis dialélicos para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México* 32:(1)77-87
- Cho, Y. and R.A. Scoot. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112:145-150.
- Coutiño E.B. 2010. www.sinarefi.org.mx/cursospoliticasmaiz/Mexico.pdf
- Coutiño, E B, V.A Vidal M, B. Cruz G, C. Cruz V. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (Núm. Especial 4): 57 – 61.

- Crossa, J., C.O. Gardner and R.F. Mumm. 1987. Heterosis among populations of maize (*Zea mays* L.) with different levels of exotic gemoplasm. *Theor. Appl. Genet.* 73: 445-450.
- Delouche, J. C. 1985. Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas. *In: Memorias Tecnológicas de Semilla.* CIAT. Colombia. p. 34.
- Delouche, J. C. and W.P. Cadwell. 1962. Seed vigour and vigour test. *Proc. Assoc. Offic. Seed Anal.* 50:124–129.
- Eberhart, S.A. 1971. Regional maize diallels with US and semiexotic varieties. *Crop Sci.* 11:911-914.
- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 246 p.
- Gómez, M.N., R. Valdivia, B. y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la Región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:103-120.
- Goodman, M.M., and W.L. Brown, 1988. Races of corn. Pp 39-79. In G.F. Sprage and J.W. Dudley (eds). *Corn and corn improvement.* Agron. Monogr. Num. 18. ASSA, CSSA and SSSA, Madison, WI. USA.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd Ed. Iowa State Univ. Press. Ames.USA. 468p.

Holley, R.N., and M.M. Goodman. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. Crop Sci. 28 213-218.

<http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Maiz.htm>, consultado 31 de julio de 2011.

INIFAP. 1993. Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. Folleto para productores No. 3. CEBAJ, Celaya, México. 33p.

ISTA (International Seed Testing Ass). 2005. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. Switzerland. 243p.

Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. México. 389p.

Palemón, A.F., F. Castillo, G., N.O. Gómez, M., P. Ramírez, V, J.D. Molina G., S. Miranda C. 2008. Diversidad Fenotípica de Maíz ancho. XXII Congreso Nacional y 2º. Internacional de Fitogenética. Somefi, A.C. U.A. Chapingo.

Pollak, L.M., S. Torres C, and A. Sotomayor R. 1991. Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical x temperate maize populations. Crop Sci. 31:1480-1483.

Preciado O R E, A Terrón, N Gómez M, E Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. Agron. Mesoam. 16:145-151.

Zhang, Y. and M.S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallels methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders, M.S. Kang (ed). FPP. New York-London-Oxford. pp 1-9.

Anexo No. 1. Oficio de Recepción de contribución en extenso para libro "Tópicos Selectos en Agronomía Tropical", Vol. II. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Septiembre de 2011.

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
"ESTUDIO EN LA DUDA, ACCIÓN EN LA FE"



2do Congreso
Internacional de
Agronomía Tropical y 3er
Simposio Nacional
Agroalimentario
Congreso2011.ujat@gmail.com
Teléfono/fax 01.993.1429150
Villahermosa, Tab., a 20 de septiembre de 2011

Recepción

Artículo en extenso: "Componentes genéticos para calidad de semilla en cruzas dialélicas de variedades criollas de maíz"

Autores: Andrio Enriquez Enrique, Rodríguez Herrera Sergio A, Cervantes Ortiz Francisco, Palomo Gil Arturo, Espinoza Banda Armando, Rivera Reyes J. Guadalupe, Cortez Baheza Elvira, Mondragón Moreno Wendy y Mendoza Elos Mariano

Fue recibido para su posible publicación en el libro Científico "Tópicos Selectos en Agronomía Tropical" Vol. 2, el cual será enviado a un par de editores técnicos para que sea dictaminado.

Reciban un saludo respetuoso.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro
Editor del libro científico

c.c.p. Archivo

CAPITULO IV. ESTIMACIÓN DE LA APTITUD COMBINATORIA Y EFECTOS RECÍPROCOS EN CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE MAÍCES CRIOLLOS.

Combining ability and reciprocal effects for agronomic traits of maize landraces

4.1 RESUMEN

Con el objetivo de determinar los componentes genéticos de características agronómicas y del rendimiento en cruzas dialélicas entre variedades criollas de maíz de diferente grupo racial, se utilizó un diseño de apareamiento dialélico donde intervinieron 10 variedades producidas en el campo experimental del I.T. de Roque, en Celaya, Gto, en el ciclo P-V 2008. Los 100 genotipos obtenidos fueron evaluados en campo, en el ciclo P-V 2009. De las características agronómicas se evaluó los días a floración masculina y femenina, altura de planta, el número de hojas totales y la prolificidad; asimismo, las variables que conforman el rendimiento y sus componentes; peso de mil granos, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca. Para el análisis de la información se utilizó el método I de Griffing, con el programa Diallel-SAS propuesto por Zhang y Kang. El ANVA mostró diferencias significativas para los genotipos, en los caracteres evaluados y en los efectos de ACG y ACE para la mayoría de las variables. Los efectos genéticos aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos no aditivos. Los efectos recíprocos se observaron en todos los rasgos excepto en altura de planta y prolificidad, atribuidos principalmente a efectos maternos (recíproco general); lo que resalta la importancia de la definición del progenitor femenino en los sistemas de apareamiento. Los progenitores Bolita y Tabloncillo mostraron los menores estimadores para la floración y Tuxpeño y Jala, los estimadores más altos. Para el rendimiento los progenitores con el mayor

estimador fueron Tuxpeño y Celaya, para longitud de mazorca destacó la variedad Jala, mientras que en el peso de mil granos correspondió para el Ancho pozolero. Las cruzas específicas Tabloncillo por Pepitilla y Pepitilla por Tabloncillo mostraron efectos negativos para floración femenina y para floración masculina fueron Tabloncillo por Bolita y Tabloncillo por Dulce. Para rendimiento las cruzas más sobresalientes fueron Tepecintle por Dulce y Celaya por Tuxpeño, para longitud de mazorca las cruzas Dulce por Jala y Jala por Bolita presentaron el estimador más alto, y para el peso de mil granos la participación del progenitor Ancho pozolero generó los estimadores positivos más altos.

PALABRAS CLAVE: Análisis dialélico, ACG, ACE, efectos genéticos maternos y no maternos, variedades nativas de maíz

4.2 ABSTRACT

A design of mating diallelic where involved 10 varieties produced in the experimental field of Instituto Tecnológico of Roque, Celaya, Gto, in the Spring-Autumn 2008 cycle, was used in order to determine the genetic components of agronomic characteristics and performance in crossing diallelics among different racial group maize landraces. 100 obtained genotypes were evaluated in field, in the Spring-Autumn 2009 cycle. Agronomic characteristics are evaluated days to male and female flowering, height plant, the total leaf number and prolificity; also, the variables that make up the yield and its components; weight of thousand grains, number of rows by ear, number of grains by row, length and diameter of ear. The Griffing's method I and Diallel-SAS program proposed by Zhang and Kang, was used for the analysis of the information. The ANOVA

showed significant differences for the genotypes evaluated characteristics and the effects of GCA and SCA for most of the variables. Additive genetic effects contribute in greater proportion than not additive effects. Reciprocal effects were observed in all the features except height plant and prolificity, attributed mainly to maternal effects (reciprocal general); It highlights the importance of the definition of the parent female mating systems. Bolita and Tabloncillo parents showed estimators minors for flowering and Tuxpeño and Jala, the estimators most high. For grain yield better estimator parents were Tuxpeño and Celaya, for length of ear underlined the variety Jala, while thousand grain weight for Ancho pozolero. The specific crossing Tabloncillo by Pepitilla and Pepitilla by Tabloncillo showed negative effects for female flowering and for male flowering were Tabloncillo by Bolita and Tabloncillo by Dulce. For grain yield the most outstanding crossing were Tepecintle by Dulce and Celaya by Tuxpeño, for length of ear the crossing Dulce by Jala, Jala by Bolita presented the estimator more high, and the weight of thousand grains the participation of the parent Ancho pozolero generated more positive estimators high.

KEY WORDS: Diallel mating, GCA, SCA, genetics effects maternal and no maternals, maize landraces.

4.3 INTRODUCCION

En maíz (*Zea mays* L), características agronómicas sobresalientes, potencial de utilidad y de calidad de la semilla, deben considerarse al generar nuevos cultivares (Coutiño *et al.*, 2010). En este sentido, Crossa *et al.*, 1987 y Goodman y Brown, 1988, señalan la necesidad de considerar la ampliación de la base genética del germoplasma que se utiliza en la generación de nuevas variedades, ya que solo se explota una pequeña porción de la variabilidad existente en los bancos de germoplasma; sin embargo, la problemática que implica a los fitomejoradores, el evaluar gran cantidad de materiales para detectar genotipos que representen buen potencial para utilizarse como nuevos cultivares, es reconocida, sobretodo cuando la vinculación entre las instituciones relacionadas es escasa.

A nivel mundial, la importancia del maíz se ha incrementado considerablemente, por la diversificación en la utilización que este tiene, las modificaciones en los hábitos alimenticios de la población, sobre todo en las economías emergentes y esto ha generado un aumento continuo de la superficie cultivada; en este contexto, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estima que en 2011, se producirán 866.17 millones de toneladas, en una superficie de 160 millones de hectáreas cultivadas y donde Los Estados Unidos de Norteamérica, China, la Unión Europea, Brasil, Argentina, México e India son los mayores productores (www.agropanorama.com); asimismo señala que la producción de este cereal en México, en el presente año será de 24.5 millones de toneladas.

Se reconoce a México como el principal centro de origen del maíz, se reporta el registro de 65 razas y subrazas (Coutiño, 2010), lo que lo ubica como el poseedor de mayor diversidad en esta especie; sin embargo, el aprovechamiento de esta gran riqueza germoplásmica es limitada, ya que solo se emplea una mínima porción del vigor híbrido existente entre los diversos patrones heteróticos, a pesar de que autores como Eberhart (1971), Hallauer y Miranda (1981), Holley y Goodman (1988) y Pollak *et al.*, (1991), señalan la importancia de incorporar germoplasma exótico a los programas de mejoramiento de este cultivo, lo que daría a los nuevos cultivares, mejores características agronómicas, como rendimiento, adaptabilidad, tolerancia a estrés, arquetipo, precocidad, entre otras.

En el mejoramiento genético de plantas, la utilización de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad, de patrón heterótico contrastante, así como el conocimiento de su aptitud combinatoria, es esencial para lograr avances significativos en el proceso de generación de nuevas variedades. La capacidad de un individuo o población para combinarse con otros, determinada a través de su progenie, Márquez, (1988) lo define como aptitud combinatoria y Poehlman y Allen (2003), denominan al comportamiento medio de una determinada línea parental en una serie de combinaciones híbridas como aptitud combinatoria general. En este sentido Sprague y Tatum (1942), definieron a la aptitud combinatoria general como el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, mientras que, la aptitud combinatoria específica (ACE) separa las combinaciones híbridas que resulten mejor o peor de lo esperado, en relación con la media de la ACG de los parentales. En este mismo sentido, Baker (1978), establece que la proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados

medios, indica el tipo de acción génica aditiva y de dominancia, respectivamente, de las características bajo estudio.

La variabilidad genética es atribuida al genotipo, que junto al ambiente y su interacción, determinan la expresión de los caracteres de las plantas, y se considera que el componente aditivo de la varianza genética contribuye en mayor proporción que el de la de dominancia, en diversas características agronómicas, de calidad de semilla y de crecimiento inicial de plántula (Poehlman, 2003; Ajala y Fakorede, 1988; Antuna *et al.*, 2003 y Cervantes *et al.*, 2006).

En 1956, Griffing definió cuatro métodos de análisis dialélicos, según los genotipos que fueran incluidos para estimar la ACG y ACE y en la actualidad estos son de los más utilizados para estimar parámetros genéticos de las líneas progenitoras de híbridos o bien de las poblaciones de donde estas se han derivado. Hallauer y Miranda, (1988), los consideran como una herramienta útil para caracterizar progenitores y estimar los parámetros genéticos de estos y sus cruzas y permiten establecer la metodología de mejoramiento más apropiada a utilizar. En 1964 Castro, realizó un estudio con las 25 razas de maíz descritas hasta entonces, utilizó un diseño de cruzas dialélicas, donde evaluó todas las cruzas posibles y sus progenitores, en diferentes localidades; para estimar ACG y ACE e identificar los grupos heteróticos entre estas 25 razas mexicanas de maíz y para utilizar de forma más eficiente el germoplasma en el desarrollo de nuevos cultivares para los trópicos. En la presente investigación el objetivo fue estimar los componentes genéticos de características agronómicas y del rendimiento en cruzamientos dialélicos entre variedades criollas de maíz de diferente grupo racial.

4.4 MATERIALES Y METODOS

Se realizó un diseño de cruza dialélicas con 10 colectas de maíz, representativas cada una de las razas Tepecintle, Tuxpeño, Jala, Pepitilla, Ancho, Celaya, Dulce, Reventador, Bolita y Tabloncillo, que fueron obtenidas del Banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y del Programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto Tecnológico de Roque (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acciones de maíces criollos utilizados en cruzamientos dialélicos en Celaya, Gto, 2008 y 2009.

Raza de Maíz	Colecta CIMMYT	Origen	Tipo endospermo	Altitud de adaptación
Tepecintle	756	Chiapas	Dentado	1100 m
Tuxpeño	1	Michoacán	Dentado	1300 m
Jala	1655	Nayarit	Dentado	1000 m
Pepitilla	1346	Guerrero	Dentado harinoso	1500 m
Ancho	ITR-01	Guanajuato	Semident-harinoso	1700 m
Celaya	1670	Guanajuato	Dentado	1500 m
Dulce	1060	Guanajuato	Dentado cristalino	1700 m
Reventador	1671	Nayarit	Cristalino	100 m
Bolita	5983	Oaxaca	Cristalino	1250 m
Tabloncillo	331	Jalisco	Semident-cristalino	1350 m

Fuente: Banco internacional de germoplasma del CIMMYT.

Los cruzamientos se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2008, en el campo experimental del ITR, en Celaya, Gto., ubicado a 20°31' de LN y 100°50' de LO, a una altitud de 1766 msnm. Las características del sitio experimental incluyen un clima semicálido, subhúmedo, con una temperatura media anual de 19°C y una precipitación

de 600 a 800 mm al año, (García, 1988); el suelo, según la clasificación de FAO-UNESCO es vertisol pélico, de textura franco-arcillosa, plano, pH neutro o ligeramente ácido y de alta fertilidad.

El 15 de abril de 2009, se sembraron las 90 cruzas y los 10 progenitores en el campo experimental del I.T. Roque. La parcela experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 0.75 m y la separación entre plantas fue de 20 cm, originando una población de 69300 plantas ha⁻¹. Se utilizó un diseño bloques completos al azar con dos repeticiones. La conducción agronómica del ensayo, se realizó de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico para producción de maíz del INIFAP-CEBAJ (1993). La cosecha se realizó durante la segunda quincena de octubre, de dos surcos eliminando 0.50 m en cada extremo de los mismos. Se midieron las variables agronómicas días a floración femenina, días a floración masculina, altura de planta, prolificidad y número de hojas totales, además se cuantificó el rendimiento y sus componentes; peso de mil granos, longitud de mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera. Se realizó el ANVA para calcular los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER), efectos maternos (EM) y efectos no maternos (ENM), de acuerdo con el Método I de Griffing (1956), con el programa Diallel-SAS Método I, propuesto por Zhang y Kang (2003).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre genotipos ($p \leq 0.01$) en los caracteres evaluados; floración femenina, floración masculina, prolificidad y número de hojas totales y hubo efecto significativo ($p \leq 0.05$) para altura de planta (Cuadro 2).

En la descomposición de los cuadrados medios de Genotipos se detectó que la ACG, presenta diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en todas las características señaladas; la ACE ($p \leq 0.01$) solo presentó efecto en los días a floración femenina y masculina; los ER mostraron el mismo efecto en las variables antes señaladas y efecto significativo ($p \leq 0.05$) para el número de hojas totales; por otro lado, los EM fueron significativos solo

Cuadro 2. Cuadrados medios para ACG, ACE, ER, EM y ENM de caracteres agronómicos, rendimiento y sus componentes, de híbridos intervarietales de maíces criollos, evaluados en I.T. de Roque, Celaya, Gto. Méx. 2009.

Fuente de Variación	g.l	FF (días)	FM (días)	AP (m)	Prolificid	No. Hojas Totales	Rendimiento (kg ^h ⁻¹)	PMG (g)	No. Hil/maz	No. Gr/hil	Long. Maz	Diam. Maz.
Repet	1	10.12	0.125	0.00072	0.0264	9.245	2872794.9	846.49	1.548	4.882	1.265	14.42
Genotipos	99	113.34**	130.216**	0.155*	0.0686**	7.528**	147241.7**	13528.24**	6.332**	49.225**	4.943**	13.186ns
ACG	9	223.62**	327.478**	0.441**	0.2143**	23.490**	6925367.4**	52832.00**	24.483**	99.484**	13.229**	1.168**
ACE	45	49.30**	44.4438**	0.092ns	0.0461ns	3.721ns	3868622.0**	7588.65**	1.619*	37.050*	3.406ns	0.343**
ER	45	137.58**	150.5166**	0.108ns	0.0559ns	6.359*	3637853.3**	10796.34**	4.482**	50.507**	4.507*	0.452**
EM	9	478.98**	517.209**	0.265ns	0.0675ns	16.230**	4948959.4**	27557.39**	12.260**	71.629**	12.576**	0.463*
ENM	36	50.22**	56.266**	0.0664ns	0.0512ns	3.642ns	2071844.04**	6164.14**	2.342**	46.434**	2.607ns	14.764ns
Error	99	16.95	24.761	0.11	0.0389	3.747	1153335.2	1572.09	1.027	23.317	2.731	0.190
C.V (%)	---	5.6	6.44	11.22	26.38	12.27	21.1	11.16	8.54	15.43	9.89	10.21

** * Diferentes a una probabilidad ≤ 0.01 y 0.05 , respectivamente; FF.

para floración femenina, floración masculina y número de hojas totales, mientras que los efectos no maternos (ENM), solo afectaron las floraciones femenina y masculina.

En los caracteres señalados se observa la mayor magnitud de los efectos de ACG en relación a los de ACE, lo que indica que los efectos aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos de dominancia en la expresión genotípica de los mismos; condición similar ha sido reportada por Antuna *et al.* (2003), Cervantes *et al.* (2007) en líneas endogámicas de maíz y Cho y Scott (2000) lo reportaron en *Glycine max* (L) Merrill, del mismo modo, Pérez *et al.* (1991) y Dzib *et al.* (2011) reportan resultados semejantes en variedades criollas y Coutiño *et al.* (2010) reportan este mismo comportamiento para contenido de azúcares. Sin embargo, no coinciden con los resultados obtenidos por de la Cruz *et al.* (2003) y Ávila *et al.* (2009), quienes señalan que los efectos de ACE fueron mayores a los de ACG en líneas endogámicas de maíz.

En relación a efectos recíprocos, los resultados indican que existe influencia del progenitor hembra, lo cual debe ser tomado en consideración al definir la función de los progenitores en los cruzamientos. Esto coincide por lo reportado por Hansen y Bagget 1977, Ávila *et al.* 2009 y Sámano *et al.* 2009; en la descomposición de los cuadrados medios de los ER para la obtención de efectos maternos y no maternos, se encontró efecto altamente significativo en días a floración femenina y masculina, resaltando que los efectos maternos fueron de mayor magnitud que los efectos no maternos; este comportamiento difiere al reportado por Ávila *et al.* 2009 y consistentes con los de Cervantes *et al.* (2007). Zhang y Kang (1997) mencionan que el efecto materno (recíproco general) se refiere al efecto del genotipo o tejido materno sobre alguna característica de su progenie, mientras que Kang *et al.* (1999) señalan que el

componente no materno (recíproco específico) es la interacción entre factores nucleares y extranucleares en los cruzamientos.

En el cuadro 3, se presentan los efectos de la ACG, para los caracteres agronómicos estudiados, y se observa que para las floraciones masculina y femenina los genotipos Bolita y Tabloncillo destacan como los más precoces, por otro lado Tuxpeño y Jala presentaron los valores más altos positivos, siendo los más tardíos. Para altura de planta, Bolita presenta un porte bajo y el de mayor altura es el Pepitilla.

Con respecto al número de mazorcas por planta sobresalen Celaya y Bolita y el menos sobresaliente corresponde al Ancho pozolero. Tepecintle y Tuxpeño destacan en número de hojas totales con los valores más altos positivos y el maíz dulce expreso la menor cantidad de hojas.

Al analizar el comportamiento de los cruzamientos específicos (ACE), de estos mismos caracteres, podemos destacar a las cruzas Tabloncillo por Pepitilla (10x4) y Pepitilla por Tabloncillo (4x10) como las más precoces, respecto a la floración femenina; en relación a la floración masculina las que presentaron menos días fueron también Tabloncillo por Bolita (10x9), Tabloncillo por Dulce(10x7). En altura de planta la cruza Dulce por Jala (7x3) y Bolita por Pepitilla (9x4) fueron consistentes con el valor más alto. Respecto a la prolificidad, Reventador por Tepecintle (8x1), Pepitilla por Tabloncillo (4x10) y Reventador por Jala (8x3) son los genotipos más destacados; mientras que Jala por Tabloncillo (3x10) y Celaya por Tepecintle (6x1), presentaron el efecto contrario, por último, las cruzas Bolita por Jala (9x3) y Ancho pozolero por Tepecintle (5x1) presentaron la

Cuadro 3. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para caracteres agronómicos, rendimiento y componentes entre variedades criollas de maíz. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.

Genotipos	FF (días)	FM (días)	AP (m)	Prolif	No. Hojas Totales	Rendimiento (kg ^h ⁻¹)	PMG (g)	No. Hil/maz	No. Gr/hil	Long. Maz	Diam. Maz.
Tepecintle(1)	1.878**	1.982*	-0.040 ns	0.082*	0.908**	396.539*	-38.537**	0.522**	-0.010 ns	0.273 ns	0.065 ns
Tuxpeño (2)	5.240**	6.177**	0.110 ns	-0.008ns	0.949**	545.001**	-1.415 ns	0.589**	1.830*	0.545 ns	0.273**
Jala (3)	3.712**	4.149**	0.079 ns	-0.024ns	0.695*	250.886ns	10.656 ns	-0.047 ns	-1.342 ns	0.755**	0.096 ns
Pepitilla (4)	1.878**	3.927**	0.134*	-0.053ns	0.731*	-524.825**	19.273 **	-0.049 ns	-2.230**	-0.021 ns	0.307**
Ancho Poz (5)	1.795**	1.344ns	0.011 ns	-0.008ns	0.058ns	514.378*	51.434 **	-1.150**	-1.313 ns	-0.760**	0.130 ns
Celaya (6)	-0.621ns	0.371ns	0.050 ns	0.106 **	-0.205ns	593.602**	0.665 ns	0.901**	-0.380 ns	0.134 ns	0.082*
Dulce (7)	-0.704ns	-1.628ns	-0.141*	-0.061ns	-1.164**	-640.298**	-81.967 **	0.977**	-2.194**	-0.917**	0.017 ns
Reventador (8)	-1.593*	-1.628ns	-0.154 **	0.047**	-0.893**	117.669ns	-26.142**	-0.121 ns	1.744*	0.028 ns	-0.209**
Bolita (9)	-2.221**	-2.517**	-0.140*	0.094**	-0.780*	112.799ns	24.165**	-1.432**	-2.600**	-0.892**	-0.180*
Tablón (10)	-9.466**	-12.180**	0.089 ns	-0.274ns	-0.298ns	-1266.753ns	41.864 ns	-0.189 ns	6.498 ns	0.855 ns	-0.683 ns

mayor cantidad de hojas por planta y el cruzamiento entre Tepecintle y Tabloncillo (1x10) la menor (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz en caracteres agronómicos, I.T de Roque, Celaya, Gto. 2009.

Gen	FF(días)	Gen	FM (días)	Gen	AP(m)	Gen	Prolific	Gen	NHT
2x8R	13.50**	9x2R	11.25**	7x3R	0.34**	8x1R	0.32**	9x3R	2.87**
3x8R	13.00**	8x2R	11.00**	9x4R	0.33*	4x10D	0.31**	5x1R	2.75**
2x6R	11.75**	7x2R	11.00**	6x2R	0.32ns	8x3R	0.24*	7x3R	2.52*
4x6R	11.00**	6x4R	11.25**	5x2R	0.26ns	1x6D	0.19*	8x2R	2.00*
2x9R	10.75**	8x3R	10.25**	6x9D	0.24ns	4x2R	0.16ns	1x5D	1.71*
2x7R	9.25**	6x2R	10.00**	4x7D	0.23ns	9x3R	0.15ns	3x2R	1.70ns
1x5D	8.58**	5x4R	10.00**	3x7D	0.21ns	5x2R	0.14ns	6x2R	1.62ns
2x8D	4.61*	1x10D	8.04**	6x7D	0.22ns	2x6D	0.14ns	4x3R	1.62ns
1x3D	3.91*	7x3R	8.00**	7x1R	0.23ns	1x8D	0.10ns	8x3R	1.62ns
1x10D	5.04*	6x3R	9.25**	8x2R	0.28ns	4x7D	0.12ns	6x1R	1.62ns
10x4R	-10.05*	10x9R	-11.51*	3x9D	-0.29*	3x10D	-0.25*	1x10D	-3.30**
4x10D	-9.20**	10x7R	-10.62*	1x4D	-0.26ns	6x1R	-0.24*	9x7R	-1.75ns
3x1R	-8.75**	2x1R	-10.00**	1x7D	-0.25ns	6x8D	-0.19*	2x9D	-1.23ns
1x2D	-5.85**	3x1R	-7.00**	4x6D	-0.19ns	9x7R	-0.17ns	3x5D	-1.20ns
5x6D	-3.66**	3x2R	-7.25**	4x2R	-0.21ns	6x2R	-0.18ns	10x1R	-1.30ns

*, ** Diferente a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. Gen, D, R, FF, FM, AP, Prolif y NHT corresponden a genotipos, cruzas directas, cruzas recíprocas, floración femenina, floración masculina, altura de planta, prolificidad y número de hojas totales, respectivamente.

En el grupo de variables del rendimiento y sus componentes; presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados a excepción del diámetro de mazorca. Del mismo modo los efectos de ACG fueron altamente significativos para la totalidad de los rasgos en estudio. Por otro lado los efectos de ACE son significativos ($p \leq 0.01$) para el rendimiento, peso de mil granos y diámetro de mazorca y muestran efectos al 95% de confianza en número de hileras por mazorca y número de granos por hilera; este mismo componente no presentó efecto estadístico en la longitud de la mazorca. En todos los caracteres antes señalados los efectos de ACG son mayores a los correspondientes a la ACE, aunque es importante señalar también la presencia de genes dominantes, sin embargo, los efectos de genes aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos no aditivos en la expresión del fenotipo; resultados similares reportan Reyes *et al.* en 2004 en líneas derivadas de la raza tuxpeño, Caballero y Cervantes (1990), con la variedad V-520C, Vargas *et al.* (1982) y Sahagún *et al.* (1991) en la Variedad Zac-58 original, para rendimiento, aunque De la Cruz *et al.* (2003) y Ávila *et al.* (2009), reportaron resultados diferentes.

En relación a los efectos recíprocos para el rendimiento y sus componentes se determinaron diferencias estadísticas, debidas principalmente a la influencia del efecto materno (recíproco general), a excepción del diámetro de mazorca que fue determinado por los efectos no maternos (ENM), (Cuadro 2). También Kalsy y Sharma (1972) y Khehra y Bhalla (1976) reportaron que la utilización de materiales con alta variabilidad genética y/o de diferente origen geográfico manifiestan este comportamiento. Ávila *et al.* (2009), concluyeron que el componente no materno fue más importante en la

expresión de los efectos recíprocos para el rendimiento y la longitud de mazorca, cuando trabajaron con líneas endogámicas de maíz para Valles Altos.

Respecto a los valores observados de ACG para el rendimiento y sus componentes, sobresalen con los estimadores más altos para rendimiento las variedades Tuxpeño, Ancho pozolero y Celaya, y los menos destacados fueron el Dulce, Tabloncillo y Pepitilla. Para la variable peso de mil granos sobresalió el Ancho pozolero con el valor mas alto y el Dulce y Tepecintle presentaron el menor peso de grano. En cuanto a número de hileras por mazorca destacan los genotipos Celaya, Dulce, Tuxpeño y Tepecintle con los estimadores positivos más altos y Bolita y Ancho pozolero mostraron valores negativos, indicando menor número de hileras. Para número de granos por hilera, Tuxpeño y Reventador fueron los mayores, mientras que Pepitilla, Dulce y Bolita presentaron el menor número de granos por hilera; para longitud de mazorca, Jala presentó el más alto estimador positivo y los valores negativos más altos correspondieron a Dulce y Bolita. Respecto al diámetro de mazorca, Tuxpeño y Pepitilla presentaron el mayor valor, mientras que Reventador y Bolita el menor, (Cuadro 3).

La aptitud combinatoria específica, nos orienta sobre el comportamiento de los progenitores en cruzamientos, en este sentido las mejores cruzas para rendimiento fueron Tepecintle por Dulce y Celaya por Tuxpeño (1x7 y 6x2 respectivamente), mientras que Tabloncillo por Celaya (1x7) y Tabloncillo por Dulce (10x7) presentaron el rendimiento más bajo. Para peso de mil granos correspondió a las cruzas Celaya por Ancho pozolero (6x5), Reventador por Tabloncillo (8x10), Reventador por Ancho

pozolero (8x5), Bolita por Ancho Pozolero (9x5) y Tabloncillo por Ancho pozolero (9x5) los mayores estimadores y los peores Jala por Tabloncillo (3x10), Ancho Pozolero por Tabloncillo (5x10). Para número de hileras por mazorca los mejores fueron Tabloncillo por Jala (10x3), Tabloncillo por Ancho pozolero (10x5) y Tabloncillo por Tuxpeño (10x2) y los genotipos con el estimador más negativo, Reventador por Tabloncillo (8x10) y Dulce por Ancho pozolero (7x5). En cuanto a número de granos por hilera la cruza Reventador por Tabloncillo (8x5) y Dulce por Tepecintle (7x1) mostraron el mejor estimador, mientras que las cruzas Jala por Dulce (3x7), Tepecintle por Pepitilla (1x4) y Dulce por Jala (7x3) presentaron los estimadores más negativos. En otro sentido, Dulce por Jala (7x3) y Bolita por Celaya (9x6) fueron las mejores combinaciones híbridas para longitud de mazorca y Jala por Reventador (3x8) y Celaya por Tabloncillo (6x10) fueron los genotipos menos sobresalientes para este carácter. Para Diámetro de mazorca sobresalen las cruzas de Pepitilla por Dulce (4x7) y Celaya por Pepitilla (6x4), mientras que las de Tabloncillo por Jala (10x3) y Dulce por Pepitilla (7x4), fueron las menores (Cuadros 5 y 6).

La detección de cruzamientos específicos sobresalientes en los caracteres más importantes considerados en la generación de nuevos cultivares, es la parte de mayor importancia del trabajo del fitomejorador. Al analizar los resultados obtenidos en los grupos de variables agronómicas y del rendimiento y sus componentes, se pudo observar que los progenitores que mostraron alta ACG intervinieron en algunas cruzas específicas sobresalientes, lo cual concuerda con lo reportado por Gómez *et al.* (1988), Reyes *et al.* (2004), Cervantes *et al.* (2007) y Ávila *et al.* (2009), quienes señalan que

una craza específica será destacada, si al menos uno de sus progenitores es de alta ACG.

Cuadro 5. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz para rendimiento y componentes. I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.

Genotipos	Rendimiento (kg/ha)	Genotipos	PMG (g)	Genotipos	No. Hil/maz
1x7D	3778**	6x5R	131.6**	10x3R	3.49**
2x4D	1271**	8x10D	122.8**	10x5R	3.38**
2x5D	954*	8x5R	117.2**	10x2R	3.13**
5x9D	1480**	9x5R	114.6**	10x1R	3.11**
8x10D	1664*	10x5R	95.6*	9x7R	2.40**
6x1R	1432**	4x9D	81.4**	7x10R	2.32*
8x1R	1119*	5x6D	77.0**	5x4R	2.30**
6x2R	2421**	9x4R	75.9**	5x10D	2.24**
8x4R	1604**	4x3R	69.9**	2x6D	1.23**
7x6R	1253*	9x10D	69.4**	9x1R	1.40**
10x6R	-2731*	3x10D	-106.3**	8x10D	-2.19*
10x7R	-2233*	5x10D	-104.5**	7x5R	-1.95**
8x7R	-2081**	5x4R	-95.9**	6x5R	-1.80**
4x1R	-2023**	9x7R	-90.3**	4x1R	-1.45**
3x1R	-1715**	3x1R	-69.6**	6x1R	-1.00*

*,** Diferente a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. Gen, D, R, rend(kg/ha), PMG y No. Hil/maz corresponden a genotipos, cruzas directas, cruzas recíprocas, rendimiento en kg/ha, peso de mil granos y número de hileras por mazorca, respectivamente.

Por otro lado, se observó falta de consistencia en el comportamiento de la mejor ACE con respecto a los estimadores de los progenitores con la mayor ACG; y a lo cual Baker

(1978) puntualiza, que el comportamiento de las cruzas específicas no puede ser predicho totalmente en base a los estimadores de la ACG de sus parentales.

Cuadro 6. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 10 cruzas más sobresalientes y las cinco menos destacadas entre variedades criollas de maíz para componentes de rendimiento, I.T de Roque, Celaya, Gto., 2009.

Genotipo	No. Gr/hil.	Genotipo	Long. Maz.	Genotipo	Diam. Maz.
8x10R	11.16*	3x9D	1.60*	4x7D	1.05**
7x1R	8.26**	5x1R	1.75*	6x4R	0.78**
6x2R	6.79**	7x1R	1.75*	8x3R	0.58**
1x6D	5.85**	6x2R	1.75*	7x2R	0.46*
5x1R	5.37*	7x3R	1.92*	1x10D	0.41ns
4x7D	5.36*	9x6R	1.91*	2x1R	0.29ns
8x3R	5.30*	8x3R	1.37ns	8x2R	0.33ns
9x8R	5.27*	9x3R	1.33ns	8x4R	0.29ns
6x4R	4.87*	7x5R	1.75ns	9x5R	0.35ns
8x9D	4.26*	9x8R	1.23ns	8x6R	0.32ns
3x7D	-6.38**	3x8D	-2.21**	10x3R	-1.21*
1x4D	-6.32**	6x10D	-2.29*	7x4R	-1.10**
7x3R	-6.19*	3x10D	-1.93*	3x10D	-1.09**
5x9D	-5.20*	1x5D	-1.51*	1x7D	-0.47*
4x1R	-5.05*	8x7R	-1.30ns	3x10D	-0.45*

*,** Diferente a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. Gen, D, R, No.Gr/hil, Long.Maz.y Diam.Maz corresponden a genotipos, cruzas directas, cruzas recíprocas, número de granos por hilera, longitud de mazorca y diámetro de mazorca, respectivamente.

4.6. CONCLUSIONES

- Los efectos de ACG fueron de mayor magnitud que los de ACE; lo que indica, que la presencia de los efectos aditivos son de mayor importancia que los de dominancia.
- En la mayoría de los caracteres hubo presencia de efectos recíprocos, donde la mayor proporción se atribuyó a los efectos maternos (recíproco general).
- Los progenitores Bolita y Tabloncillo fueron los más precoces mientras los más tardíos Tuxpeño y Jala.
- En el rendimiento los progenitores con el mayor estimador fueron Tuxpeño y Celaya, para longitud de mazorca destacó la variedad Jala, mientras que en el peso de mil granos correspondió para el Ancho pozolero.
- Hubo falta de consistencia entre los progenitores con la más mayor ACG en la formación de cruzas de alta ACE.

4.7 LITERATURA CITADA

- Ajala, S.O and M.A.B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigour and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- Antuna G, O., F. Rincón S, E. Gutiérrez del R, N.A Ruíz T y L.A. Bustamente G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1)11-17.
- Ávila, P. M.A, S.A. Rodríguez H, M.E. Vázquez B, F. Borrego E, A.J. Lozano R del, A. López B. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agricultura Técnica en México* Vol. 35 Núm.3. 285-293.
- Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Caballero H.F y T. Cervantes S. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la Raza Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 1 (2): 43-64.
- Cano R, P., G. Ramírez R, J. Ortegón P, J.H. Esparza M y S. Rodríguez H. 2000. Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Agrociencia* 34:337-342.
- Castro, G.M. 1964. Rendimiento y heterosis con cruzas interraciales de maíz en México. Tesis M.C., Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura (ENA), Chapingo, México.

- Cervantes, O. F, G. García, A. Carballo C., D. Bergvinson, J. Crossa, M. Mendoza E., y E. Moreno M. 2006. Análisis dialélicos para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México* 32:(1)77-87.
- Cervantes, O. F, G. García, A. Carballo C., D. Bergvinson, J. Crossa, M. Mendoza E., y E. Moreno M. 2007. Herencia del vigor de plántula y relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41(4): 425-433.
- Cho, Y and R.A. Scoot. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112:145-150.
- Coutiño E.B. 2010. www.sinarefi.org.mx/cursospoliticasmaiz/Mexico.pdf
- Coutiño, E B, V.A Vidal M, B. Cruz G, C. Cruz V. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (Núm. Especial 4): 57 – 61.
- Cruz de la, L.E, Gutiérrez del R.E, Palomo G.A y Rodríguez H.S. 2003. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:279-284.
- Crossa, J., C.O. Gardner and R.F. Mumm. 1987. Heterosis among populations of maize (*Zea mays* L.) with different levels of exotic gemoplasm. *Theor. Appl. Genet.* 73: 445-450.

- Delouche, J. C. 1985. Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas. *In: Memorias Tecnológicas de Semilla*. CIAT. Colombia. p. 34.
- Dzib A, L.A, Segura C. J.C, Ortega P. R y Latournerie M, L. 2011. Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Tropical and Subtropical Agrosystems*. 14:119-127.
- Eberhart, S.A. 1971. Regional maize diallels with US and semiexotic varieties. *Crop Sci*. 11:911-914.
- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 246 p.
- Gómez, M.N., R. Valdivia, B. y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la Región cálida. *Rev. Fitotec. Mex*. 11:103-120.
- Goodman, M.M., and W.L. Brown, 1988. Races of corn. Pp 39-79. In G.F. Sprage and J.W. Dudley (eds). *Corn and corn improvement*. Agron. Monogr. Num. 18. ASSA, CSSA and SSSA, Madison, WI. USA.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci*. 9: 463-493.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd Ed. Iowa State Univ. Press. Ames.USA. 468p.

Hansen, L. A. and Bagget, J. R. 1977. Reciprocal differences for plant and ear characteristics in sweet corn. Hort. Sci. 12:60-62.

Holley, R.N., and M.M. Goodman. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. Crop Sci. 28 213-218.

<http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Maiz.htm>, consultado 31 de julio de 2011.

INIFAP. 1993. Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. Folleto para productores No. 3. CEBAJ, Celaya, México. 33p.

ISTA (International Seed Testing Ass). 2005. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. Switzerland. 243p.

Kalsy, H.S and Sharma, D. 1972. Study of cytoplasmic effects in reciprocal crosses of divergent varieties of maize (*Zea mays* L.). Euphytica 21: 537-533.

Khehra, A.S and Bhalla, S.K. 1976. Cytoplasmic effects on quantitative characters in maize (*Zea mays* L.). Theor. Appl. Genet. 47:271-274.

Márquez, S.F. 1988. Genotecnia vegetal, Métodos Teoría Resultados. Vol II. AGT Editor S.A. México. 665p.

- Moll R.H, H.F. Robinson. 1967. Quantitative Genetics in investigations of yield of Maize. Sonderabdrucks aus. Der Zuckter. 37. Band, Heft 4, Spring-Verlag. Berlín. 37: 191-199.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. México. 389p.
- Palemón, A.F., F. Castillo, G., N.O. Gómez, M., P. Ramírez, V, J.D. Molina G.,S. Miranda C. 2008. Diversidad Fenotípica de Maíz ancho. XXII Congreso Nacional y 2º. Internacional de Fitogenética. Somefi, A.C. U.A. Chapingo.
- Pérez, T.R.A, Carballo, C.A Castillo, G.F y Covarrubias, P.J. 1991. Identificación de patrones heteróticos en un grupo de variedades precoces de maíz. Agrociencia serie Fitociencia 2: 69-79.
- Poelhman, J.M. y D.S. Allen. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Guzmán, O. M.; Hernández, C. M. A. y Serrano, C. L. M. (Trad.). 2ª. Ed. Ed. Limusa. México.
- Pollak, L.M., S. Torres C, and A. Sotomayor R. 1991. Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical x temperate maize populations. Crop Sci. 31:1480-1483.
- Preciado O. R E, A Terrón, N Gómez M, E Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. Agron. Mesoam. 16:145-151.

Sahagún C.L., J.D. Molina, G.F. Castillo, J.C. Sahagún (1991). Efecto de la selección masal en las varianzas de la variedad de maíz Zac-58. *Agrociencia* 2(1): 65-79

Sámano G. D, Rincón S. F, Ruíz T. N.A, Espinoza V. J y León de C. H. 2009. Efectos genéticos en cruzas directas y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos germoplásmicos de maíz. *Rev. Fitotecnia Mex.* 32(1), 67-74.

Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932.

Vargas S.J.E, J.D. Molina, T. Cervantes S. 1982. Selección masal y parámetros genéticos en la variedad de maíz Zac-58. *Agrociencia* 48: 93-105.

Zhang, Y. and M.S. Kang. 1997. Diallel-SAS: A SAS program for Griffing's diallels analyses. *Agron. J.* 89:176-182.

Zhang, Y. and M.S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallels methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders, M.S. Kang (ed). FPP. New York-London-Oxford. pp 1-9.

CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL

El centro de origen del maíz, mas convincente y reconocido en la actualidad, es México y se sustenta en la gran variabilidad genética registrada y descrita a la fecha (Ortega, *et al*, 2011 y Coutiño, 2010), 59 razas. Sin embargo, a pesar de la gran disponibilidad de germoplasma nativo y parientes silvestres solo aproximadamente el 12%, se ha explotado por los diversos programas de mejoramiento genético, públicos y privados para la formación de cultivares mejorados; a pesar de la necesidad de incorporar germoplasma exótico en los diversos programas de mejoramiento, ha sido ya señalada (Hallauer y Miranda (1988), Crossa *et al*. 1990). El comportamiento contrastante de las variedades criollas empleadas en este estudio se evidencia por medio de los días a floración femenina que oscila de 60 hasta 101 días, lo que tiene implicaciones en los procedimientos de los métodos de mejoramiento y el manejo agronómico. En cuanto a la calidad de la semilla, física y fisiológica, el peso de mil semillas y el vigor presentan valores extremos, como 76.6 a 93.3% y 513 a 189.7g para el peso de mil semillas, estos atributos influyen en la capacidad de establecimiento en campo y en el mismo sentido sobre el potencial de almacenamiento de la semilla. Respecto a la tolerancia al ataque de hongos, específicamente los del genero *Fusarium*, la mayor susceptibilidad se encontró en la variedad de la raza Zapalote chico (66.6%), a lo cual Cerovich *et al*. (2004) señalan de las desventajas del empleo de germoplasma de esta raza en programas de mejoramiento por su gran interacción con patógenos de este tipo.

La estimación de los componentes genéticos de las poblaciones, implica el conocimiento de su ACG y ACE y determina la presencia de genes de efectos aditivos o de dominancia, lo cual será de utilidad en la definición del mejor método de mejoramiento a aplicar (Preciado *et al.* 2005), en este sentido, en las características de calidad fisiológica y física de la semilla están involucrados efectos de genes aditivos y de dominancia, aunque, los primeros son los de mayor proporción, como lo señalan Cervantes, *et al.* 2006, Antuna *et al.* 2003, Cho y Scoot, 2000 y Ajala y Fakorede 1988. Existió presencia de efectos recíprocos lo cual debe considerarse en la definición del progenitor femenino en programas de producción de semilla.

En los caracteres agronómicos de las cruzas, los cuadrados medios de los efectos aditivos (ACG) fueron de mucho mayor magnitud que los efectos dominantes (ACE), lo que indica presencia de varianza genética aditiva y de dominancia, como lo señala Baker en 1978. Es necesario mencionar que las características prolificidad, floración y el rendimiento son características poligénicas, y por tanto, si la necesidad es mejorar alguna población en particular, es recomendable emplear métodos de selección recurrente intrapoblacional, en caso de que el objetivo sea aprovechar ambas varianzas, se propone utilizar la hibridación o la selección recurrente interpoblacional.

En la mayoría de las características en estudio, hubo presencia de efectos recíprocos, debidos principalmente a los efectos maternos (recíproco general) a excepción de altura de planta y prolificidad, lo que coincide por lo señalado por Cervantes *et al.* 2007 y Zhang y Kang, 1997.

La expresión de la heterosis o vigor híbrido, en las diversas características se incrementa cuando participan progenitores (líneas y/o poblaciones) contrastantes fenotípica y genotípicamente. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación señalan que los contrastes extremos en características como floración, altura de planta, entre otros, complican el proceso de mejoramiento genético y manejo agronómico. Por lo que se requiere disponer de información, que permita agrupar los genotipos de acuerdo a características fenotípicas que faciliten el aprovechamiento de los patrones heteróticos entre ellos existentes.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES GENERALES

- En la calidad de la semilla de los progenitores, la germinación se ubicó entre 92 al 98%; el vigor entre 76.6 y 93%; el peso de mil semillas estuvo comprendido entre 513.2 y 189.7 g.
- La variedad de la raza Tuxpeño y Celaya, presentaron una extraordinaria producción de área foliar, relacionado con la cantidad de hojas que las caracteriza, 18.33 y 16.33, respectivamente; las variedades de las razas Zapalote Chico y Cristalino de Chihuahua, presentan un área foliar sustancialmente menor y según la RAF registrada se considera a estos genotipos como más eficientes.
- La floración femenina varió de 60 a 101 días.
- En cuanto a la tolerancia a insectos, específicamente araña roja, se encontró poblaciones de ácaros-día-hoja en menor grado de infestación en los criollos Jala, Dulce, Zapalote Chico y Celaya.
- Para tolerancia a *Fusarium*, las variedades presentan una variabilidad comprendida entre 79.5 y 66.6% de plantas sanas.
- De acuerdo a las características de calidad de masa y tortilla, resulto como mejor genotipo la variedad perteneciente a la raza Jala.
- En caracteres de calidad de semillas, los efectos de la ACG son mayores que los de ACE.

- En la ACG para germinación, el mejor progenitor fue la variedad Tabloncillo, para vigor la variedad Reventador y para peso de mil semillas la variedad Ancho pozolero.
- En la ACE para germinación los mejores cruzamientos fueron Pepitilla x Ancho pozolero y Tepecintle x Pepitilla; para vigor la cruza Ancho x Celaya y Tuxpeño x Celaya; para peso de mil semillas Ancho pozolero x Reventador y Ancho pozolero x Celaya.
- Existieron efectos maternos significativos en los atributos de la calidad de semillas; por lo tanto, debe considerarse la elección del progenitor femenino en la producción de semillas.
- En las características agronómicas y del rendimiento los efectos de ACG fueron de mayor magnitud que los de ACE; lo que indica, que la presencia de los efectos aditivos son de mayor importancia que los de dominancia.
- En la mayoría de los caracteres hubo presencia de efectos recíprocos, donde la mayor proporción se atribuyó a los efectos maternos (recíproco general).
- Los progenitores Bolita y Tabloncillo fueron los más precoces y los más tardíos Tuxpeño y Jala.
- En el rendimiento los progenitores con el mayor estimador fueron Tuxpeño y Celaya, para longitud de mazorca destacó la variedad Jala, mientras que en el peso de mil granos correspondió para el Ancho pozolero.
- Hubo falta de consistencia entre los progenitores con la más mayor ACG en la formación de cruza de alta ACE.

- Lo antes señalado indica la presencia de genes aditivos que pueden ser explotados a través de alguna técnica de mejoramiento, como selección recurrente y/o hibridación.

CAPITULO VII. LITERATURA CITADA GENERAL

Ajala, S.O and M.A.B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigour and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.

Antuna G, O., F. Rincón S, E. Gutiérrez del R, N.A Ruíz T y L.A. Bustamente G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1)11-17.

Anderson, V.L. and Kempthorne, O. 1954. A model for the study of quantitative inheritance. *Genetics* 39: 883-898.

Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.

Brown, W.L and M.M Goodman. 1977. Races of corn. P. 49-88. *In* G.F Sprague (ed) *Corn and corn improvement*. 2nd. Ed. Agron Monogr. 18. ASA, Madison, Wi.

Cerovich, M, F Miranda, A López, R Figueroa y A Trujillo (2004). El peso específico como indicador de calidad física y fisiológica en semilla certificada en arroz. *Maracay. Agronomía Trop.*54:1

Cervantes, O. F, G. García, A. Carballo C., D. Bergvinson, J.,Crossa, M. Mendoza E., y E. Moreno M. 2007. Herencia del vigor de plántula y relación con caracteres de

planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41(4): 425-433.

Coutiño E.B. 2010. www.sinarefi.org.mx/cursospoliticasmaiz/Mexico.pdf

Cho, Y and R.A. Scoot. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112:145-150.

Eberhart, S .A. 1971. Regional maize diallels with US and semiexotic varieties. *Crop Sci.* 11:911-914.

Goodman, M.M and R. McK. Bird. 1977. The races of maize IV. Tentative grouping of 219 Latin American races. *Econ. Bot.* 31:204-221.

Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd Ed. Iowa State Univ. Press. Ames.USA. 468p.

Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39: 789-809.

Hayman, B. I. 1958. The theory and analysis of diallel crosses II. *Genetics* 43: 63-85.

Hayman, B. I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses III. *Genetics* 45: 157-172.

Holley, R.N., and M.M. Goodman. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. *Crop Sci.* 28 213-218.

<http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Maiz.htm>, consultado 31 de julio de 2011.

Iglesias, C.A and A.R. Hallauer. 1989. S2 recurrent selection in maize populations with exotic germoplasm. *Maydica* 34:133-140.

Kang, M.S, Kushairi, D.A, Zhang, Y and Magari, R. 1999. Study of cytoplasmic effects reciprocal crosses of divergent varieties of maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 21:527-533.

Mangelsdorf, P.C. 1974. Corn, its origin, evolution and improvement. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.

Mangelsdorf, P.C, R.S MacNeish and W.C Galinat. 1964. Domestication of corn. *Science* 143:538-545.

MacNeish, R.S. 1964. Ancient mesoamerican civilization. *Science* 143:531-537.

Michellini, L.A and A.R. Hallauer. 1993. Evaluation of exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) germoplasm crosses. *Maydica* 38:262-275.

Mungoma, C and L.M. Pollack. 1988. Heterotic patterns among ten Corn Belt and exotic maize populations. *Crop Sci.* 28:500-504.

Ortega C. A, M.J. Guerrero H, O. Cota A, R.E. Preciado O. 2011. Situación Actual de los maíces nativos y sus parientes silvestres en México. *In* Amplitud. Mejoramiento, usos y Riesgos de la diversidad genética maíz en México. Eds. Preciado, O. R.E y S. Montes H. SOMEFI, A.C. pp 15-42.

Oyervides, G.M, A.R. Hallauer and H. Cortez M. 1985. Evaluation of improvement maize populations in Mexico and the U.S. corn belt. *Crop Sci.* 25:115-120.

Pollack, L.M, S. Torres C and A. Sotomayor R. 1991. Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical x temperate maize populations. *Crop Sci.* 31:1480-1483.

Preciado O. R E, A Terrón, N Gómez M, E Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.* 16:145-151.

Reyes C P (1990). El maíz y su cultivo. AGT Editor S.A. México. 460p.

Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951) Razas de maíz en México. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales, SAG, México.

Zhang, Y. and M.S. Kang. 1997. Diallel-SAS: A SAS program for Griffing's diallels analyses. *Agron. J.* 89:176-182.