

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Aptitud Combinatoria de Caracteres Agronómicos de Cinco Razas de Maíz

Por:

**ELOISA ANDREA JIMENEZ MATA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aptitud Combinatoria de Caracteres Agronómicos de Cinco Razas de Maíz

Por:

**ELOISA ANDREA JIMENEZ MATA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada



Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera  
Asesor Principal



Ing. Alfredo Fernández Gaytán  
Coasesor



M.C. Luis Ángel Muñoz Romero  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía  
Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre de 2014

## *Agradecimientos*

*A Don Antonio Narro*

*Por soñar y enseñar a los jóvenes a alcanzar sus sueños...*

*Al Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera*

*Por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo de tesis y por compartir conmigo sus conocimientos, además de su grata amistad, Dios me lo bendiga siempre*

*Al Ing. Alfredo Fernández Gaytán*

*Por su apoyo a la realización de este trabajo, así como a las revisiones del mismo. Además por ser un excelente profesor y amigo, por los gratos momentos vividos en clase y fuera de ella, gracias por todo.*

*Al M.C. Luis Ángel Muñoz Romero*

*Por su apoyo y dedicación a la revisión de este trabajo de investigación, así como su amistad y enseñanzas en mi travesía por esta noble Institución.*

*Al M.C. Modesto Colín Rico*

*Por su apoyo en la revisión de este trabajo*

*Al Ing. Efrén Mata Rocha*

*Por su apoyo en la realización de este trabajo, por su amistad, amor y cariño que nos tenemos a un después de 11 años de nuestra llegada a esta gran institución.*

*Al MC. Agustín Hernández Juárez*

*Por su apoyo y por la información proporcionada para la realización de este proyecto.*

*Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)*

*Por la aportación del material genético utilizado en el presente trabajo.*

*A mis maestros*

*Por su amistad y conocimientos compartidos.*

*A mi coach Ing. Gabino Herrera*

*Por su amistad y enseñanzas en mi travesía por el equipo de volibol de la UAAAN.*

*A la Lic. Sandra R. López Betancourt*

*Por su apoyo en acomodo final y la impresión de este trabajo*

*A todo el personal de la Universidad*

*Biblioteca, banco de tesis, Laboratorios, comedor, deportivo, Secretarías y a cada uno de los departamentos donde curse clases, gracias por hacer de la mejor manera su trabajo.*

*A mis amigos*

*Anita, Toño, Lalo, Bony, Paola, Magda, Arely, Machuca, Libia, Aidé, Hilda, Adriana, Perí, Juan (+), Noé, Magaly, Roberto, Orlando, Gis, Ricardo, Estela, Pancholín, Gerardo (Pollo), Armando.*

*Por hacerme sentir en familia y hacer de esta manera más grata mi estancia en la Narro, fue un gusto y placer conocerlos, les agradezco haber contribuido para hacer de mí una mejor persona, los quiero y llevo en mi corazón.*

*A mis compañeros y amigos de la generación CIV de Ingenieros Agrónomos en Producción*

*Oswaldo, Toledo, Efrén, Rudy, Maurilio, Charly, Moisés, Chuma, Misael, Carpío, Alonso, Galileo, Lucio, Simón, Eliazín, Luis (borre), Tenango, Nájera, Ubaldo, Estrella, Sadía, Oaxaco, Saúl, Juan Manuel, Elmer, Pancho, Mago, Isaac, Obed, Julio Cesar.*

*Por su apoyo y amistad brindada durante la carrera, gracias por consentirme tanto, se les quiere colegas.*

# *Dedicatoria*

## *A Dios*

*Por darme vida, salud y fortaleza para culminar mis estudios universitarios.*

## *A mis padres*

*Rey David Jiménez R. y Ma. Del Socorro Mata N.*

*Por su apoyo incondicional ante este capítulo de mi vida que hoy culmina, porque sé que a su manera me aman y a pesar de lo que nos tocó vivir, siempre han estado conmigo y aunque fue de manera separada me educaron, perdonaron mis errores y festejaron mis aciertos, porque a pesar de ser tan difícil de carácter, me siguen apoyando en todas mis locas ideas, los amo...*

## *A mis hermanos*

*Claudia y Rey*

*Por su amistad y apoyo ante las adversidades que juntos pasamos, gracias por jamás dejarme sola, en especial a mi hermana y mi mejor amiga, gracias por apoyarme tanto y estar siempre para mí, porque tengo la fortuna de tenerlos como hermanos.*

## *A mis hijos*

*Andrea y Efrén*

*Dios me dio el honor de ser su mamá, Gracias hijos por ser el motor y la inspiración que impulsa mi corazón, los amo...*

*A mis sobrinos*

*Mis niños hermosos los amo y le doy gracias a Dios por ser mis hijos, aunque no los haya llevado en el vientre, son mi inspiración.*

*A mis suegros*

*Andrés y Carmen*

*Agradezco a Dios por darme el honor de pertenecer a su familia y de haberme recibido con los brazos abiertos, que con su ejemplo me enseñaron el valor del matrimonio y la familia.*

*A mi cuñado*

*Bernabé Rodríguez Sosa*

*Por tu apoyo incondicional, gracias por estar siempre presente, eres el consentido (a solo te tengo a tí jajaja).*

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Producción nacional.....	5
2.2 Orden y clasificación.....	6
2.3 Diversidad.....	7
2.4 Descripción botánica.....	7
2.5 Origen y Distribución.....	9
2.6 Efectos genéticos.....	14
2.6.1 Mejoramiento genético.....	14
2.6.2 Diversidad genética.....	15
2.6.3 Cruzamientos dialélicos.....	17
2.7 Descripción de razas.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1 Material genético.....	30
3.2 Descripción de la localidad.....	30
3.4 Variables agronómicas evaluadas.....	31
3.5 Análisis de varianza.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
V. CONCLUSIÓN.....	42
VI. LITERATURA CITADA.....	43



## ÍNDICES DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco características evaluadas en maíces criollos.....	34
Cuadro 2. Medias de carácter agronómicos de maíces criollos y sus cruzas...36	
Cuadro 3. Estimación de efectos genéticos para las variables agronómicas...39	
Cuadro 4. Componentes de varianza de variables agronómicas.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de cereales de importancia en México durante el año 2013.....	6
Figura 2. Clasificación taxonómica del maíz.....	7
Figura 3. Localización de los centros de origen.....	10
Figura 4. Localización de los sitios de colecta.....	12
Figura 5. Muestra de mazorca de la raza tuxpeño.....	22
Figura 6. Muestra de mazorca de la raza Celaya.....	24
Figura 7. Muestra de mazorcas de la raza dulce.....	25
Figura 8. Muestra de mazorcas de la raza pepitita.....	27
Figura 9. Muestra de mazorcas de la raza jala.....	29

# **APTITUD COMBINATORIA DE CARACTERES AGRONÓMICOS DE CINCO RAZAS DE MAÍZ**

## **RESUMEN**

La amplia diversidad genética del maíz, ha generado programas de mejoramiento

Genético. El objetivo del presente trabajo de estudio es el de dar a conocer ampliamente el tipo de acción genética y la aptitud combinatoria de cinco caracteres agronómicos de cinco criollos de maíz y sus cruzas. El material genético utilizado consto de las razas jala, tuxpeño, celaya, pepitilla y dulce, y la craza entre estas. Se evaluó altura de planta, días de floración masculina y femenina, rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ( $P < 0.01$ ) entre los genotipos, asimismo en los efectos de ACG en todas las variables, excepto en el rendimiento de materia seca. En ACE la altura de planta y días a floración femenina no presentaron diferencias estadísticas. Se identificaron las cruzas Pepitilla x Dulce y Jala x Tuxpeño y los progenitores Jala y Celaya con un buen potencial de rendimiento de materia seca y rendimiento de grano. La altura de planta, los días a floración masculina y los días a floración femenina y el rendimiento de grano estuvieron determinados por efectos aditivos, en tanto que el rendimiento de materia seca estuvo bajo el control de acción génica no aditiva.

Palabras clave: *Zea mays* L., cruzas dialélicas, efectos genéticos, componentes de varianza.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), uno de los tres granos básicos que alimentan la humanidad, tuvo su origen y diversificación inicial en las montañas y valles de México, por medio de la intervención de los antiguos pobladores de este territorio en un proceso co-evolutivo que condujo a la formación de una de las plantas cultivadas de mayor diversidad genética, cuya riqueza aún se mantiene en este país, principalmente por los productores del medio rural (Bye Boettler 2009).

La diversidad genética del maíz en el mundo es de más de 300 razas (Wellhausen, 1978; Goodman y Brown, 1988), las cuales se encuentran representadas en los bancos de germoplasma con cerca de 60,000 colectas (Geric *et al.*, 1989). La colección, conservación, valoración y uso de los recursos genéticos es una actividad inherente de los programas de mejoramiento (Montenegro *et al.*, 2002). De éstos la conservación es quizá el aspecto más importante, dada la gravedad que tiene la pérdida de los recursos naturales (Palomino, 1991).

Tradicionalmente, la conservación de estos materiales se realiza a través de estrategias de conservación *ex situ*, sin embargo, se ha reconocido que el manejo de las poblaciones por los agricultores es una importante estrategia para conservar y aprovechar su variación genética (Hammer, 2003). Asimismo, se ha sugerido que tanto la conservación como el aprovechamiento sustentable

de la variabilidad genética pueden lograrse en los sistemas de agricultura tradicional (Dempsey, 1996; Louette y Smales, 1996). El aprovechamiento de la diversidad del maíz en una región determinada debe enfocarse tanto a detectar poblaciones para enriquecer la variación usada en los programas de mejoramiento como a evitar la pérdida de la diversidad útil que han generado y conservado los agricultores (Márquez, 1994)

Mediante unos cuantos ciclos de selección las variedades exóticas de maíz pueden ser adaptadas a ambientes diferentes; además, la selección practicada en generaciones avanzadas puede conducir a la formación de variedades más rendidoras y con buena heterosis en sus cruzas (Vega, 1975; Martínez, 1990; Navas y Cervantes, 1991; Pérez *et al.*, 2000). En condiciones ambientales favorables algunas variedades de estas razas pueden llegar a rendir de seis a ocho toneladas de grano (Wellhausen, 1981).

## OBJETIVOS

- ✓ El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el potencial genético de rendimiento de cinco razas de maíz criollo y de sus cruzas.
- ✓ Ampliar la información de los caracteres agronómicos y de sus efectos de la actitud combinatoria general y específica.

## HIPÓTESIS

- ✓ Existen diferencias significativas en variabilidad genética, en los valores de ACG y ACE y heterosis de características importantes en relación a varios caracteres agronómicos entre los criollos sus cruzas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

En lo académico, en lo científico, en lo social y en lo económico, el maíz es de las plantas más útiles al hombre. Como especie el maíz es una de las plantas entre aquellas de mayor adaptación, útiles al hombre y cultivadas por él, ya que se cultiva desde el Ecuador a diferentes latitudes norte y sur, desde el nivel del mar hasta más de 3200 msnm, en suelo y climas muy variables y con una tecnología muy diversa. En el siglo XV se cultivaban en varios países de América y en la actualidad se produce en 134 países del mundo. (Reyes, 1985)

En el año 2013 hubo una producción de 22, 663,953 toneladas de maíz de grano; el cual aportó un 33.5 por ciento, es decir, solo este grano aportó un valor de casi un 35 por ciento en ingresos a nivel nacional al compararse con todos los cultivos que se siembran en México, es por eso que el maíz es un cultivo y alimento básico importante para nuestro país (SAGARPA, 2014)

En la actualidad el maíz se cultiva todos los meses del año en diversos sitios del mundo llegando a ocupar el 1 lugar a nivel mundial superando la producción de trigo y el arroz.

En el 2010, México ocupó el 4 lugar en producción de maíz a nivel mundial aportando más de 20 millones de toneladas, siendo el estado de Sinaloa el principal productor con una participación del 25 por ciento; cabe destacar que el principal productor de maíz es el país de Estados Unidos (SAGARPA, 2011).

En México el maíz es el principal cereal con una superficie sembrada de 7, 487,399 hectáreas y un volumen de producción de 22, 663,953.35 toneladas en 2013; por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada, arroz y avena principalmente (fig. 1) (SIAP, 2014).

Dentro de los tipos de maíz, México es superavitario en la producción de maíz blanco con un consumo de 13, 931.2 toneladas, maíz amarillo con un consumo de 6, 57 millones toneladas, sin embargo gran parte del maíz amarillo que se está consumiendo en México es GM, importado de Estados Unidos, a razón de 7.23 millones de toneladas aproximadamente por año y un consumo de maíz grano y forrajero con 31, 893.4 toneladas (CIBIOGEM, 2014; SIAP, 2014).

Los estados con mayor producción son Sinaloa con 3, 626,777.51 toneladas y Jalisco con 3, 303,498.08 toneladas con un rendimiento de 5.29 y 5.27 ton/ha respectivamente; seguidos por Estado de México, Michoacán, Chiapas, Guanajuato, Chihuahua y Veracruz, todos con una producción superior al 1, 000,000.00 de toneladas y un rendimiento de entre 1.9 – 6.6 ton/ha para una media nacional de 3.5 ton/ha en el 2013 (SIAP, 2014).



Fig. 1. Producción de cereales de importancia en México durante el año 2013 (SIAP, 2014).

Cultivos	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
<b>Maíz grano</b>	7,487,399	7,095,629	22,663,953	4.0	3,413	76,281,605
<b>Trigo grano</b>	683,044	643,240	3,357,306	3.9	3,442	11,923,675
<b>Sorgo grano</b>	2,012,330	1,688,916	6,308,146	3.70	2,952.91	18,414,685
<b>Cebada grano</b>	320,956	296,912	594,437	2.58	3,543	2,153,297
<b>Arroz palay</b>	34,018	33,137	179,775	5.40	3,943	703,676
<b>Avena grano</b>	49,442	49,354	91,049	2.33	3,693	322,029
<b>maíz forrajero</b>	566,304	561,455	12,614,755	24.88	564	7,066,795
<b>Maíz grano semilla</b>	6,509	6,484	44,332	7.21	6,183	287,508
<b>Maíz palomero</b>	576	576	289	4.71	5,350	15,749

Valor 2013: **76 mil 281 millones de pesos\*** Porcentaje de volumen respecto a la producción agrícola nacional: **10.3%**.

### Orden y clasificación

Comúnmente conocidos como zacates, la familia *Poaceae* comprende más de 600 géneros distribuidos principalmente en regiones templadas y cálidas de todo el mundo. El maíz taxonómicamente se ubica dentro del género *Zea* y la especie *Mays L.*,

La fundación Manuel Mejía (2008) menciona la siguiente clasificación (Fig. 2).

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Sub-clase:	Liliidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Tribu:	Maydeae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>mays</i>

Fig. 2 Clasificación taxonómica del Maíz

### Diversidad

El género *Zea* pertenece a la familia Poaceae, comúnmente conocidos como zacates, esta familia comprende más de 600 géneros, distribuidos en todo el mundo. Los dos géneros del Nuevo Mundo más emparentados del maíz son *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1977; Rzedowski, 2001); citados por Mera y Mapes, 2009). *Zea mays* L. ssp *mays*, el maíz cultivado propiamente, se distribuye en casi todo el territorio nacional (Mera y Mapes, 2009). Este es catalogado como una especie central en la alimentación, sociedad, cultura y economía de México (Kato *et al.*, 2009).

### Descripción Botánica del maíz

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; de tallo simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, presenta nudos y entrenudos y una médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por

encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988)

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, conocida como panícula (o espiga) esta se forma por flores estaminadas con tres estambres donde se forma el polen. que consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrolla el polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavides *et al.*, 2010).

Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en una o más espigas solitarias y axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, que formaran los granos, los cuales van desde 400 a 1000 por mazorca. Cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo, con propiedades estigmáticas donde germina el polen. La inflorescencia femenina puede formar alrededor de 400 a 1000 granos, arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca;

todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas, los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso, saliente, filiforme y colgantes después de la floración, gruesos y enteramente cubiertas de vainas coriáceas, imbricadas en la madurez y se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavides *et al.*, 2010).

En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósido, sub-globoso y duro que está insertado en el olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitado por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Mera y Mapes, 2009).

### **Origen y distribución**

El maíz es originario de Mesoamérica y existen varios centros de diversidad a lo largo de la cordillera de los Andes (Gear, 2006). Uno de los más grandes genetistas del siglo XX y estudioso de las plantas cultivadas, Nikolai Vavilov, consolidó el concepto de centro de origen (Serratos-Hernández, 2006); es gracias a sus estudios que se conocen y exploran las ocho grandes regiones del mundo en las que se originaron las plantas cultivadas.

En particular, Vavilov toma en cuenta varios aspectos para definir a los centros de origen de los cultivos agrícolas:

1) Se trata de áreas geográficas en las que éstos se siguen cultivando; 2) se asocian a grandes extensiones de territorio y; 3) los focos primarios del origen de los cultivos se encuentran en las regiones montañosas. Según las observaciones de Vavilov, el origen del maíz junto con aproximadamente 49 especies más, está en el Centro Primario VII (figura 3).

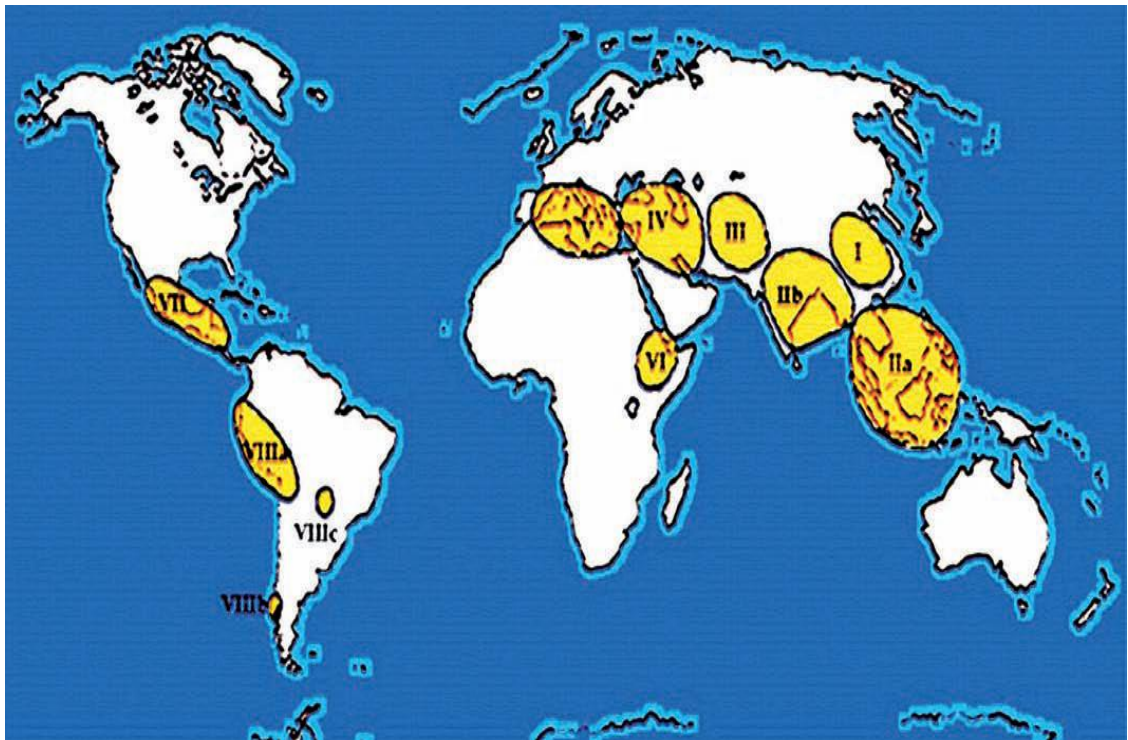


Figura 3. Localización de los centros de origen/domesticación de las plantas cultivadas, según Vavilov. Adaptado por Antonio Serratos de: <http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=2718>

Después de 100 años de investigación, sobre el origen y domesticación del maíz, hay un consenso generalizado con la aceptación de que el Teocintle

es el ancestro del maíz, con suficiente validez científica, después de desechada en los años 70's la hipótesis tripartita que establecía que el Teocintle es el producto de la hibridación del maíz con *Tripsacum*, eliminándose la idea del maíz silvestre extinto (Kato, 2009).

Surge una nueva evidencias de que el maíz fue domesticado primero en México; según Anthony Ranere del departamento de Antropología de la Universidad de Temple y Dolores Piperno del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (Amador, 2011) ellos empezaron su investigación en el valle del río balsas, donde encontraron indicios que el maíz ya se cultivaba hace 8,700 años, cerca de 1200 años antes de lo que se pensaba, encontraron polen y carbón fósil en sedimentos lacustres en la región del balsas, próximo a Iguala Guerrero, ahí también encontraron fitolitos de maíz y calabaza, en esta región se localizaron 15 cuevas que hace miles de años fueron habitadas por seres humanos. Pero en una de las cuevas de Xihuatoxtla encontraron la evidencia de maíz y calabazas cultivadas, así como herramientas utilizadas para moler, estos restos tenían 8,700 años de antigüedad. (<http://cultivosantiguos.blogspot.mx>. 2009)

En México colectas hechas de teocintle y maíz; muestran que este último está ampliamente distribuido, encontrándose una mayor diversidad en la mesa central (Figura 4) (CONABIO, 2009; citado por Mera, 2009).



Figura 4. Localización de los sitios de colecta de razas de maíz (puntos en amarillo) y teocintle (puntos en rojo) en México.

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cultivos más importantes del mundo.

Es la especie agrícola más diversa y buena parte del territorio mexicano forma parte de su centro de origen y es uno de sus centros actuales de diversidad (CONABIO, 2006), con una importancia desde el punto de vista alimenticio, industrial, político, cultural y social.

Las mas de 60 razas nativas de maíz y su vasta variación intrarracial, fueron desarrolladas por el productor mexicano para ser cultivadas desde cero hasta 3 000 m de altitud, desde condiciones lacustres y drenaje pobre hasta tierras bien drenadas, desde condiciones de humedad abundante hasta áridas y semiáridas, desde un corto periodo de desarrollo (110 días a madurez como en la meseta semiárida del norte), hasta 365 días en regiones tropicales; desde suelos de reacción híper ácida hasta híper alcalina, profundos a someros, planos a escarpados, productivos hasta degradados, lo cual representa una

evolución continua, mejorando rendimiento y otras características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales (CONABIO, 2008; Turrent *et al.*, 2010).

Las diversidades interracial e interracial desarrolladas mediante el mejoramiento genético autóctono dan plasticidad a la especie para enfrentar el mega diverso agroecosistema. Los materiales de maíz nativo, se manejan bajo condiciones también extremas en cuanto a su agronomía, desde poco intensa hasta intensa en el uso de agroquímicos, agrobiológicos y mano de obra (Turrent *et al.*, 2010).

México, dentro de su diversidad cuenta con una amplia variedad de maíces, distinguiéndose siete clases que se diferencian por la naturaleza del endospermo y la forma de los granos: maíz vestido, harinero, palomero, dulce, pedernal, ceroso y diente. Las variedades se distinguen también por el color del grano: Morado, rojo, negro, azul, blanco y amarillo (Benavides *et al.*, 2010). Aunque en México se hace mención principalmente a dos variedades de maíz: blanco y amarillo o forrajero. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional; por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales: tortillas, tamales, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa, botanas; además de etanol para bebidas; aceites, como insumo en la producción de biocombustible, o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones; en tanto que el maíz amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo; en la actualidad se tiene como destino el



consumo pecuario en la alimentación del ganado, ya que la planta de Maíz es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. Se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta, especialmente en el momento de la emisión de la panoja o más adelante, y se utiliza también en la producción industrial ([www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx); SIAP, 2011).

### **Efectos Genéticos**

Dada la importancia que tienen los mecanismos genéticos para los investigadores en mejoramiento de plantas, es importante conocer la variación genética de los diferentes caracteres agronómicos al iniciar cualquier programa de mejoramiento genético (Chávez, 1995).

### **Mejoramiento Genético**

El mejoramiento de las especies es el arte y la ciencia que permiten cambiar y mejorar la herencia de las plantas (Poehlman J. 1973)

El mejoramiento genético es el componente que trata del desarrollo de variedades mejoradas dotada para hacer frente a las necesidades alimentarias del hombre. El objetivo básico del mejoramiento genético es el de desarrollar materiales con una adaptación amplia: variedades o poblaciones con variabilidad genética adecuada que permita su producción dentro de una gama razonable de medio ambientes diferentes. (Johnson E. 1974)

El mejoramiento genético del maíz, es un proceso continuo para la formación de híbridos y variedades. Al mejorar un cultivo, es importante conocer el componente genético de los materiales usados como progenitores. En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma progenitor es una de las decisiones más importantes que se deben tomar. Al respecto, Gutiérrez et al. (2004) y Castañón et al. (2005) mencionan que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento.

En México el proceso de mejoramiento genético del maíz lo realizan de manera convencional los fitomejoradores y de manera tradicional los propios productores (Dzib-Aguilar et al., 2011)

### **Diversidad Genética**

La diversidad genética dentro de las especies es la razón principal por la que una determinada especie tenga la oportunidad de evolucionar bajo condiciones cambiantes del ambiente y presiones de selección; así mismo, el conocimiento de la diversidad genética es indispensable para diversificar las fuentes de germoplasma, tratar de minimizar los riesgos de vulnerabilidad genética e Incrementar las probabilidades de detectar alelos favorables (Sánchez G.J.J. 2011)

El conocimiento de la diversidad genética y la aptitud combinatoria y la heterosis ha permitido generar híbridos y variedades sobresalientes ampliar la variabilidad genética y reducir la deriva genética (Castillo 1994)

En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma progenitor es una de las decisiones más importantes que se deben tomar. Al respecto, Gutiérrez et al. (2004) y Castañón et al. (2005) mencionan que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento.

La evaluación de la ACG y ACE mediante cruzamientos dialélicos es eficiente en la clasificación de progenitores, e identifica fuentes de germoplasma útiles en programas de mejoramiento genético (Castañón et al., 2005). La estimación de parámetros genéticos se obtiene por medio del análisis de diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956). Los términos de aptitud combinatoria (AC), aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fueron propuestos por Sprague y Tatum (1942), posteriormente Griffin (1956) define la AC como el comportamiento medio de una línea, en las combinaciones híbridas al cruzarse con otras líneas, o bien al comportamiento de una o varias líneas al cruzarse con una variedad de amplia base genética; la ACG se define como el efecto promedio que una línea imparte a sus cruzas, medida como la desviación de la media general, es decir es lo que una línea hereda a sus descendientes en promedio de muchas cruzas y la ACE se refiere a la desviación o sesgo de comportamiento predicho en base a las aptitudes

combinatorias generales de los padres. Cuando los valores de ACG son mayores que los de ACE son más importantes los efectos aditivos. En caso contrario son más importantes los efectos de dominancia, no aditiva (Peña et al., 1999). La aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez 1988). De la Cruz et al., (2005) mencionan que la aptitud combinatoria debe determinarse no solo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria.

### **Cruzamientos Dialélicos**

Es un sistema de apareamientos en donde “p” progenitores se cruzan entre sí para producir un número determinado de progenes  $p(p-1)$  si se incluyen los cruzamientos recíprocos y  $p(p-1)/2$  si no se incluyen. Los progenitores pueden ser líneas homocigotas o poseer algún grado de heterocigocidad. Una de las principales limitaciones es el número de progenitores que se pueden incluir en los cruzamientos dialélicos. Cuando se usan  $p=10$ ;  $p=15$  ó  $p=20$  el número de cruzamientos, sin incluir recíprocos, que se producen para evaluación son 45, 105 y 190, respectivamente. Por esa razón la mayoría de los trabajos sobre Dialélicos usan 10 progenitores o menos. Uno de los principales fundamentos de los cruzamientos dialélicos es estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE) (Vallejo, 2002).

Los cruzamientos dialélicos pueden ser analizados usando diferentes metodologías; sin embargo, las más utilizadas por los programas de mejoramiento son los propuestos por Griffing (1956) y Hayman (1954) o por el diseño de Gardner y Eberhart (1966). Las cruas dialélicas se componen de los apareamientos simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de líneas progenitoras, y constituyen un procedimiento estándar de investigación genética de las plantas. Las cruas dialélicas se emplean para estimar componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las propias cruas, así como su capacidad Productiva (Martínez, 1983), ofrecen un medio para evaluar y seleccionar progenitores que pueden ser combinados para formar una población Genéticamente variable; este sistema de cruzamientos también nos proporciona información sobre la heredabilidad y heterosis en poblaciones de plantas o líneas persé. De acuerdo con Hayman (1954), el análisis genético de las cruas dialélicas se atacó inicialmente desde tres diferentes puntos: Las diferencias ocurridas en el material propuesto para investigación, el mecanismo genético fundamental considerado y en los métodos de estimación.

### **Descripción de Raza**

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler 1942, Harlan y de Wet 1971, Hernández y Alanís 1970).

Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (Goodman y McK. Bird 1977, McK., Ruiz et al. 2008, Sánchez 1989, Sánchez et al. 2000). El concepto y la categoría de raza es de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el mejoramiento (McClintock 1981, Wellhausen 1988), así como para describir la diversidad a nivel de paisaje (Perales y Golicher 2011). Sin embargo, cada raza puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, color y textura de grano, adaptaciones y diversidad genética. En la publicación sobre las razas de maíz en México, Wellhausen et al. (1951), consideraron cuatro grupos principales: Razas indígenas Antiguas, Exóticas Precolombinas, Mestizas Prehistóricas y Modernas Incipientes (CONABIO, 2011)

El maíz tiene una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia, estas puede ser clasificadas en distintos tipos según:

- a) la constitución del endospermo y del grano
- b) el color del grano
- c) el ambiente en que es cultivado
- d) la madurez
- e) su uso

Los tipos de maíz más importantes son duros, dentados, reventones, dulces, harinosos, cerosos y tunicados (CONABIO, 2011)

### **Tuxpeño**

Según Wellhausen et al. (1951), la raza Tuxpeño probablemente es producto de la hibridación del Olotillo y el Tepecintle. Se cultiva extensamente y es la raza más importante de la costa del Golfo de México, desde el nivel del mar hasta los 500 metros de altura. Las principales características son: Plantas altas de 3 a 4 metros en su hábitat nativo, muy tardío, hojas anchas en relación con su longitud; espigas largas, numerosas ramificaciones; mazorcas medianamente delgadas con un diámetro de 44 a 48 mm, cilíndrica; 12 a 14 números de hileras; granos anchos, medianamente gruesos, con una longitud media de 12.8 mm (fig. 5). El maíz Tuxpeño es una de las razas más importantes desde el punto de vista de su influencia en las razas modernas agrícolamente productivas, tanto en México como en los Estados Unidos de Norte América. Ha figurado entre los antecesores de algunas de las razas de México, tales como Celaya, Chalqueño y Cónico Norteño. Esta raza se caracteriza por sus mazorcas grandes, cilíndricas, de grano dentado, predominando los colores blancos, pero puede presentar diversos colores. Tiene un alto número de hileras y granos por hilera, lo que la hace una de las razas más productivas de México; presenta muy buena calidad agronómica en planta y resistencia a enfermedades. (CONABIO 2010, Wellhausen et al. 1951)

Domina en grandes áreas principalmente las partes bajas tropicales bajo temporal, así como en las subtropicales bajo riego, pero presenta mayor concentración hacia la vertiente del Golfo de México; predomina su cultivo en primavera-verano y áreas con disposición de riego permiten su cultivo en el ciclo otoño-invierno. Tiene un amplio uso y variado, para tortilla, elote, pozol (bebida fermentada muy apreciada en las zonas tropicales del país), tamales, etc., (CONABIO 2011).

Muy importante a nivel nacional y la más utilizada para mejoramiento. Por sus características agronómicas sobresalientes ha sido una de las principales fuentes de germoplasma en el mejoramiento, público y privado, de maíces para zonas tropicales y subtropicales de varias regiones del mundo y como fuente de germoplasma en la ampliación de la base genética de híbridos de la Faja Maicera en los Estados Unidos de Norteamérica (Bellon et al. 2005, Gámez et al. 1996, Goodman 1999, Mafuru et al. 1999, Morris y López-Pereira 2000, Ortega 1985a, Wellhausen et al. 1951, Wellhausen 1990).

De acuerdo con Wellhausen et al. (1951) esta raza figura entre las antecesoras de las razas más productivas y agronómicamente satisfactorias de México, tales como Celaya, Chalqueño y Cónico Norteño y ha sido fuente del plasma germinal de los maíces dentados del sur de los Estados Unidos de Norteamérica.



Tuxpeño es intermedio entre las razas Tepecintle y Olotillo, que se postulan como sus probables progenitores (Wellhausen et al. 1951).



Fig. (5) Muestra de mazorcas de la raza Tuxpeño

### **Celaya**

Raza considerada parte del mejor germoplasma de maíz de América por su rendimiento, aptitud combinatoria y rango de adaptación (800 a 1,800 m) (Wellhausen et al. 1951). Es una de las razas más productivas de México; tiene mazorcas cilíndricas, grandes, con alto número de hileras, grano dentado predominantemente blanco (Fig. 6) (Wellhausen et al. 1951).

Su distribución ocupaba ampliamente el Bajío y Jalisco, pero otros cultivos (sorgo y hortalizas principalmente), así como el uso de híbridos combinados con

germoplasma de esta misma raza, la emigración, entre otras causas, han disminuido su cultivo, no obstante se siguen manteniendo variantes precoces con planta baja en las áreas de temporal y se han colectado recientemente muy buenas muestras en esta región (CONABIO 2010, 2011, Ron et al. 1996, Preciado et al. 2010, Wellhausen et al. 1951). Ha sido una de las principales fuentes y base genética de los materiales mejorados de valles intermedios y subtropical de México (Gómez et al. 1996, CONABIO 2010, Wellhausen 1988). Algunas poblaciones de esta raza han servido de fuente de germoplasma en la formación de variedades mejoradas e híbridos (Ortega, 2011).

Su empleo en el mejoramiento amplió su distribución a estados del norte (Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Chihuahua, Coahuila) y sur (Puebla y Oaxaca), donde se le encuentra en formas segregantes o en combinación con otras razas (CONABIO 2010, 2011, Gómez et al. 1996, Wellhausen 1988).

Además de los usos comunes, por su rendimiento y calidad de grano es muy apreciada por los molineros y la industria harinera (CONABIO 2010). Se considera de formación relativamente reciente (Wellhausen et al. 1951), posiblemente al abrirse terrenos a la agricultura en el Bajío. Su origen se atribuye a la combinación de germoplasma de dos de las razas más productivas de México, el Tuxpeño y el Tabloncillo (Wellhausen et al. 1951).

Es el híbrido de las razas Tuxpeño y Tabloncillo. Es probable que se haya originado en la parte sur de la Mesa Septentrional que se extiende hasta San Luis Potosí, a elevaciones ligeramente más bajas que las de El Bajío. Es la raza dominante en la región conocida como El Bajío, a altitudes de 1200 a 1800 msnm, su distribución geográfica tiene su centro en las tres cuartas partes del estado de Guanajuato. Las principales características son: Plantas de 2 a 3 metros de altura; espigas largas, número de ramificaciones medianamente alto con algunas secundarias y pocas terciarias; mazorcas de longitud mediana, con un diámetro de 43 a 47 mm, cilíndricas; con un número promedio de 12.4 hileras (fig. 6); granos fuertemente dentados (Wellhausen et al., 1951).



Fig. (6) muestra de mazorca de la raza Celaya

## Dulce

Raza de maíz de mazorca cónica a semicilíndrica que se caracteriza por sus granos de diferente coloración con alto contenido de sacarosa, lo que les da una apariencia rugosa al secarse –condición por la que se denomina textura de grano “dulce”, que se aplica a otras razas que expresan esta característica (Wellhausen et al. 1951). Se cultiva en el occidente del país, principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Zacatecas, en altitudes de 1,500 a 2,400 m. (CONABIO 2011, Ron et al. 1996, Wellhausen et al. 1951). Por su grano dulce se destina principalmente para usos especiales, tales como pinole, “ponteduro”, elote, esquites y también se usa en sopas y caldos. Se considera que por estos usos especiales se ha mantenido su cultivo, aunque en escala limitada (Hernández 1985, Wellhausen et al. 1951). Pocos trabajos se han hecho en el mejoramiento genético de poblaciones de esta raza en México. En otros países, especialmente en Estados Unidos, poblaciones similares de esta raza son la base de variedades eloterías y para sopas, ampliamente cultivadas y consumidas (Ortega com. pers. 2011).



Cuadro. (7) Muestra de mazorcas de la raza Dulce

## **Pepitilla**

Es característico de esta raza sus mazorcas de forma cónica de olote delgado con numerosas hileras de granos, alargados y puntiagudos, similares a las pepitas de calabaza (Fig. 8) (Wellhausen et al. 1951). Presenta una gran variación morfológica en grosor de mazorca, número de hileras (18 a 30), tamaño y color de grano. Su centro de distribución, donde se han colectado sus variantes típicas, ocurre entre el sur de Morelos, suroeste de Puebla y norte de Guerrero (Fig. 8). Se adapta a suelos delgados, marginales y de ladera (CONABIO 2010, Wellhausen et al. 1951).

Se combina con otras razas (principalmente con la raza Ancho en el estado de Guerrero), formando un continuo de diversidad (CONABIO 2010). Es posible encontrar su influencia en germoplasma del altiplano en las razas Cónico Norteño, así como en material de subtrópico y trópico, esto quizás por su buena combinación con otros germoplasmas divergentes y/o su aportación de características que interesan a los agricultores como profundidad de grano, número de hileras, calidad de tortilla, etc. (CONABIO 2010, Wellhausen et al. 1951). Ortega Paczka (2011, com. pers.) Considera que la expresión del carácter de grano puntiagudo que se ha reportado en el occidente, Bajío y algunas colectas en el norte (Chihuahua), podrían corresponder básicamente a Cónico Norteño con ápice en el grano.

En análisis de accesiones de esta raza se ha detectado alto contenido proteico (12%) y de aceite (6%). Sus principales usos son para tortilla -se considera que

con esta raza se elabora la mejor calidad de tortilla-, elote, atole y tamales (CONABIO 2010, 2011, Gómez et al. 2010, Sánchez et al. 2000, Wellhausen et al. 1951, ).

Esta es una de las razas distintivas de México, que en diferentes análisis se separa como una raza peculiar (Wellhausen et al. 1951, Goodman y Mck Bird 1977, CONABIO 2010, Sánchez et al. 2000). Se ha considerado que esta raza es la clave para entender el maíz, su origen y diversificación en México (Hernández X., en Wilkes 2004).

El origen de esta raza no es claro, ha sido considerada como una derivación de Palomero Toluqueño con la probable participación de Vandeño (Wellhuasen et al.1951).



Fig. (8) Muestra de mazorcas de la raza Pepitilla

## **Jala**

Raza caracterizada por su longitud de ciclo de vida largo, porte alto de planta y sobre todo por el tamaño grande de mazorca, considerada la más grande del mundo; la textura del grano es predominantemente dentado, pero suave (Fig. 9) Cultivada principalmente en el Valle de Jala, en Nayarit, en suelos inundables, adaptada a condiciones de suelos fértiles, humedad relativa y temperaturas relativamente a elevadas por largo tiempo, donde alcanza altura de planta de 4 a 5 m y produce mazorcas mayores a 30 cm de largo (se han reportado hasta 45 y 60 cm). (Aguilar 2006, Taba 2007, CONABIO 2010). Su cultivo también en áreas vecinas, en el estado de Nayarit, en Jalisco y Sinaloa; sin embargo, en esas otras áreas, no expresa tanto sus características como en el Valle de Jala (CONABIO 2011, Ortega-Paczka 2011 com. pers.).

Se usa para elotes, pozole, gorditas y tortilla, para forraje y sus tallos en la construcción de cercas. Las hojas de la mazorca (totomoxtle) son muy apreciadas y son motivo también del cultivo de la raza (CONABIO 2010, 2011, Taba 2007).

Desde el principio del siglo XX se hicieron exploraciones por parte de investigadores de los Estados Unidos para colectarla y usarla en el mejoramiento genético. (Kempton 1924, CONABIO 2010, Wellhausen et al. 1951).

Actualmente es sembrada en pequeñas superficies en el Valle de Jala, donde se ha estado ampliando también el uso de variedades mejoradas. Se considera que la persistencia de su cultivo ha sido favorecida por una mezcla de orgullo y pragmatismo (Taba 2007), ya que se cultiva para un concurso local en el que se premia a los agricultores que produzcan los elotes más grandes, asimismo por las características del grano (harinoso) que adquiere mayor precio en el mercado local (Taba 2007, CONABIO 2010). Recientemente se realizan trabajos de conservación, recuperación y mejoramiento de esta raza en esta zona (Aguilar 2006, Ortega Paczka 2011 com. pers., Taba 2007).



Fig. (9) Muestra de mazorca de la raza jala.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

El material genético utilizado constó de cinco razas de maíz provenientes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Estas fueron: Celaya, Jala, Pepitilla, Tuxpeño y Dulce.

#### **Descripción de la localidad**

Los materiales se establecieron en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la Unidad Laguna, ubicada en la región agrícola de la Comarca Lagunera de Torreón Coahuila, México, situada entre los paralelos 25° 32' de LN y los 103° 27' LW, con una altitud de 1200 msnm, con un clima seco BWK y BSK, temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 220 mm (INEGI 2000)

Las cruces se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2009 y la evaluación se llevó a cabo en el ciclo de verano 2009, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

La unidad experimental consistió de dos surcos separados a 0.80 m. La longitud del surco fue de 5.0 m con 33 plantas separadas a 0.15 m para contar con una población de 82500 plantas ha<sup>-1</sup>.

Los caracteres evaluados fueron:

Altura de planta **(AP)**

Días a floración masculina **(DFM)**

Días a floración femenina **(DFF)**

Rendimiento de materia seca **(RMS)**

Rendimiento de grano **(RG)**

Se realizó un análisis genético utilizando el modelo 2 de Griffing (1956), en el cual se incluyen las cruzas directas  $F_1 p(p-1)/2$  y los progenitores, bajo el modelo lineal siguiente:

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

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor fenotípico observado de la craza  $i$  y  $j$ , en el bloque  $k$ ;  $\mu$  = media general;  $g_i, g_j$  = efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) del  $i$  –ésimo o  $j$  –ésimo progenitor;  $s_{ij}$  = efecto de la aptitud combinatoria específica (ACE) de la craza de los progenitores  $i, j$ ; y  $e_{ijk}$  = efecto aleatorio del error correspondiente a la  $i, j, k, i$  –ésima observación.

También se calcularon las varianzas de ACG ( $V_{acg}$ ) y ACE ( $V_{ace}$ ) con las que se estimaron los componentes de varianza aditiva ( $V_A = 2V_{acg}$ ), de dominancia ( $V_D = V_{ace}$ ) y el valor de heredabilidad ( $h^2$ ), para cada una de las variables evaluadas. Para la comparación de medias de cruzas y progenitores se utilizó la Prueba de Tukey al 0.05 de probabilidades.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis genético presentó diferencias significativas, al 0.05 y 0.01 de probabilidad, para cruzas y ACG en altura de planta (AP), días a floración masculina (DFM); días a floración femenina (DFF) y rendimiento de grano (RG). En ACE se tuvieron diferencias significativas al 0.05 de probabilidad en las variables días a floración masculina (DFM), rendimiento de materia seca (RMS) y rendimiento de grano (RG).

Los coeficientes de variación en las variables AP, DFM y DFF fueron aceptables de acuerdo con Barrera *et al.* (2005), los cuales oscilaron de 5.2 % a 10.4% sin embargo, en RMS, y RG se presentaron valores altos con 25.6 y 39.9% respectivamente. Los altos coeficientes de variación y los bajos rendimientos obtenidos pudieron haberse visto afectados por la presencia de carbón común del maíz o “huitlacoche” (*Ustilago Maydis*) que afecto en su mayoría a los genotipos evaluados (Cuadro 1).

Los cuadrados medios de ACG fueron mayores que los de ACE en todos los caracteres evaluados a excepción de rendimiento de materia seca (RMS), indicando que la varianza aditiva es de mayor magnitud que la de dominancia, coincidiendo estos resultados con Villanueva *et al.* (1994). La predominancia de ACE en RMS es señal de que ésta característica es mayormente controlada por acción génica no aditiva.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco características evaluadas en cinco maíces criollos.

FV	gl	AP (m)	DFM (d)	DFF (d)	RMS (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
Rep	3	0.09ns	25.17ns	8.77ns	721262 ns	401040 ns
Cruzas	14	0.33**	48.98**	102.31**	2823129 ns	1560784**
ACG	4	0.90**	98.29**	263.15**	1381314 ns	3599992**
ACE	10	0.10ns	29.25*	37.98ns	3399855*	745100*
Error	42	0.07	11.56	19.65	1486064	326711
Total	59					
cv(%)		10.4	4.23	4.96	26.56	39.89

\*\*\* = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

La comparación de medias de las cinco variables agronómicas señala que los progenitores y sus cruzas fueron estadísticamente iguales, pero numéricamente las cruzas superaron a los progenitores a excepción de altura de planta (AP) y días a floración femenina (DFF) donde el maíz criollo Pepitilla superó a todos los materiales con una altura de planta de 3.01 m y resultó ser más tardío con 98 días a floración femenina.

La cruza de Pepitilla x Tuxpeño y Jala x Tuxpeño, así como la raza Tuxpeño fueron los más tardíos en días a floración masculina con 86, 84 y 85 días, respectivamente. Los materiales más precoces fueron Celaya x Tuxpeño (77 d), Celaya x Jala (75 d) y Celaya x Dulce (73 d). En días a floración femenina los progenitores más tardíos fueron Pepitilla (98 d), Tuxpeño (96 d) y Jala (95 d), y las cruza más tardías fueron Jala x Tuxpeño, Pepitilla x Tuxpeño, y Pepitilla x Dulce con 93 días de siembra a floración femenina, manifestándose el efecto

de las razas Pepitilla y Tuxpeño en el comportamiento de las cruzas donde intervienen ya que son las más tardías tanto a floración femenina como masculina. El progenitor Dulce, las cruzas Celaya x Jala y Celaya x Dulce fueron las más precoces con valores que oscilaron de 81 a 83 días a inicio de FF.

Aún y cuando no se detectaron diferencias estadísticas en producción de MS entre genotipos, a pesar de las diferencias tan notorias en los rendimientos, destacan por su alto rendimiento la craza Pepitilla x Dulce, y los progenitores Jala y Celaya, con valores promedio de 5894, 5771 y 5744 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre los genotipos con menor rendimiento de materia seca se pueden citar a Pepitilla y las cruzas Celaya x Dulce y Celaya x Jala con producciones de 3815, 3611 y 3372 kg de MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La cruzas Jala x Tuxpeño y Celaya x Jala así como el progenitor Celaya sobresalieron en producción de grano con valores que van de 2480 a 2086 kg ha<sup>-1</sup>, el resto de los materiales se caracterizaron por su bajo rendimiento ubicando a las cruzas Pepitilla x Tuxpeño, Pepitilla x Dulce y el progenitor Pepitilla como los de menor producción de grano con 913, 620 y 270 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cuadro 2. Medias de caracteres agronómicos de maíces criollos y sus cruzas.

Genotipo	AP (m)	DFM (d)	DFF (d)	RMS (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
Pepitilla	3.01	80	98	3815	270
Jala x Pepitilla	2.99	83	91	4414	2027
Jala x Tuxpeño	2.94	84	93	5470	2480
Pepitilla x Tuxpeño	2.89	86	93	4701	913
Pepitilla x Dulce	2.86	82	93	5894	620
Tuxpeño	2.86	85	96	4953	1210
Celaya x Tuxpeño	2.72	78	87	4867	1760
Jala	2.60	82	95	5771	1424
Jala x Dulce	2.57	80	88	4366	1320
Celaya x Pepitilla	2.56	82	88	3910	1146
Celaya	2.44	80	88	5744	2169
Tuxpeño x Dulce	2.40	80	87	4049	1033
Celaya x Dulce	2.31	73	81	3611	1926
Celaya x Jala	2.23	75	82	3372	2086
Dulce	2.13	78	83	3828	1105
*Tukey	0.70	8.65	11.28	3103	1455

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\leq 0.05$ ).

AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

### **Aptitud combinatoria**

Los criollos Jala y Tuxpeño mostraron efectos positivos de ACG en todas las variables, en tanto que Celaya reflejó efectos positivos de ACG solo en rendimiento de grano (RG). El criollo Pepitilla, en altura de planta (AP), días a floración masculina y femenina, presentó valores positivos de ACG. El progenitor dulce resultó con efectos negativos de ACG en todas las variables (Cuadro 3).

En rendimiento de grano, los criollos Celaya y Jala mostraron los mayores efectos de ACG. Los valores de ACG para altura de planta (AP), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF) y rendimiento de materia

seca (RMS), indican que los criollos Jala, Pepitilla y Tuxpeño presentan una buena combinación, reflejándolo con un incremento en dichos caracteres. Sin embargo es deseable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistencia al acame, sin descuidar la relación positiva de la altura de planta con el potencial de rendimiento de grano (Antuna *et al.*, 2003).

Para los efectos de ACE de las cruzas no se encontró un patrón definido entre las variables evaluadas. En cada variable se encontraron efectos positivos de ACE de cruzas específicas, siendo estas diferentes en cada caso.

Para altura de planta (AP) las cruzas Jala x Pepitilla, Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce presentaron los mayores efectos heteróticos entre sus padres reflejándolo con una mayor altura, sin embargo, lo más recomendable es que el resultado de la craza sea lo menos expresivo para no obtener híbridos muy altos.

Por otra lado en DFM las cruzas con mayores valores positivos de ACE fueron para Celaya x Pepitilla, Pepitilla x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce, para días a floración femenina (DFF) los mayores efectos positivos de ACE fueron en las cruzas Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce. Reflejándolo en su progenie híbrida al ser más tardías, sin embargo lo más recomendable es que las cruzas sean lo menos expresivas para obtener híbridos precoces, por lo tanto las cruzas tolerables son aquella que obtienen valores negativos ya que estas son las más precoces.



Para rendimiento de materia seca (RMS) las cruzas de mayor ACE fueron Pepitilla x Dulce, Jala x Tuxpeño y Celaya x Tuxpeño por el contrario, las cruzas Celaya x Jala y Celaya x Dulce mostraron valores altos y negativos de ACE en ambos casos, los valores de ACE están directamente relacionados con la producción obtenida por dichos genotipos Cuadro 3).

En rendimiento de grano (RG) se obtuvieron efectos positivos de ACE para Jala x Pepitilla ( $763 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Jala x Tuxpeño ( $736 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y Celaya x Dulce ( $326 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Se observa que la crusa Celaya x Dulce resulto con los mejores efectos de ACE, pero sin embargo no se ubico entre las de mayor rendimiento, lo que contradice a la hipótesis de que el alto rendimiento de las cruzas se debe a altos efectos de ACE (Reyes *et al.*, 2004).

En rendimiento de materia seca (RMS) y rendimiento de grano (RG) se esperaba que las cruzas de mayor rendimiento hubieran sido aquellas resultantes de cruzar dos líneas de altos efectos positivos de ACG sin embargo, no resulto así en este estudio, lo cual sugiere que no necesariamente las líneas con alta ACG pueden producir cruzas sobresalientes en RMS y RG.

Resultados similares fueron obtenidos por Cano *et al.* (2000) y Guillén *et al.* (2009) al cruzar germoplasma de efectos negativos de ACG y obtener valores altos y positivos de ACE de cruzas.

La identificación de germoplasma con propósitos de utilización en programas de mejoramiento genético, debe tomar en cuenta los efectos de ACG y ACE,

dependiendo de los objetivos específicos (Montenegro *et al.*, 2002). Por lo tanto los criollos Jala y Tuxpeño en base a los mejores efectos de ACG pueden incluirse para obtener variedades sintéticas y las cruzas con los mejores efectos de ACE pueden formar parte de un programa de mejoramiento para formación de híbridos.

Cuadro 3. Estimación de efectos genéticos para las variables agronómicas.

	AP (m)	DFM (d)	DFF (d)	RMS (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
Efectos genéticos					
μ de híbridos	2.650	80.07	88.07	4465	1531
μ padres evaluados	2.610	80.80	91.70	4822	1235
Heterosis promedio	0.042	-0.72	-3.62	-356	295
Efectos de ACG					
Celaya	-0.158	-2.20	-3.20	-36	380
Jala	0.018	0.47	0.86	236	309
Pepitilla	0.216	1.37	3.34	-136	-478
Tuxpeño	0.125	2.05	2.11	212	1.57
Dulce	-0.201	-1.70	-3.20	-275	-212
Efectos de ACE					
Celaya x Jala	-0.260	-3.34	-4.69	-1412	-35
Celaya x Pepitilla	-0.130	2.01	-1.76	-501	-187
Celaya x Tuxpeño	0.120	-2.66	-0.94	106	-54
Celaya x Dulce	0.032	-3.66	-2.36	-660	326
Jala x Pepitilla	0.122	0.83	-2.33	-270	763
Jala x Tuxpeño	0.163	1.15	0.23	436	736
Jala x Dulce	0.117	0.40	-0.19	-179	-209
Pepitilla x Tuxpeño	-0.085	1.76	-1.83	41	-42
Pepitilla x Dulce	0.214	2.01	3.23	1722	-121
Tuxpeño x Dulce	-0.154	-0.91	-1.44	-471	-188

AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

En las varianzas de ACG (Cuadro 4) para rendimiento de materia seca se encontraron valores negativos, los cual proporciona estimaciones negativos en

la varianza aditiva (VA) y de dominancia (VD) y por consecuencia resulta en valores incorrectos de heredabilidad ( $h^2$ ).

La relación entre los cuadrados medios de ACG ( $CM_{ACG}$ ) sobre los cuadrados medios de ACE ( $CM_{ACE}$ ), señala que, de los caracteres evaluados, RMS obtiene los valores más pequeños debido a que dicha variable presenta valores mayores en los efectos no aditivos. Por lo tanto el tipo de acción génica que predomina en los caracteres evaluados en este estudio es la aditiva.

Ambas varianzas (aditiva y de dominancia) estuvieron presentes en las variables agronómicas evaluadas lo cual se esperaba dado a que el origen paternal es contrastado y de alta homocigosis, como lo señala Gómez y Valdivia (1988), quien menciona que para obtener mejor respuesta heterótica sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación.

En relación a la heredabilidad ( $h_2$ ) los valores mayores se presentaron en altura de planta (0.40), días a floración femenina (0.39) y rendimiento de grano (0.32) y la menor heredabilidad fue para días a floración femenina con 0.23. Sin embargo estos valores se consideran valores intermedios de acuerdo con Hallauer y Miranda (1988) quienes indican que un valor de heredabilidad de inferior a 0.20 es bajo, de 0.21 a 0.50 es intermedio y mayor de 0.50 es alta.

Cuadro 4. Componentes de varianza de variables agronómicas.

Variables	VA	VD	VE	h <sup>2</sup>	$I_l^*$
AP	0.05	0.007	0.14	0.40	8.42
DFM	4.93	4.42	20.91	0.23	3.36
DFF	16.08	4.58	40.31	0.39	6.92
RMS	-14481 <sup>†</sup>	478447	1964511	0.00	0.40
RG	2039920	104597	635229	0.32	4.83

$V_A$ ,  $V_D$ ,  $V_E$  = Varianza Aditiva, Dominancia y Ambiental, respectivamente;  $h^2$  = heredabilidad;  $*I_l = (CM_{ACG})/(CM_{ACE})$ ; <sup>†</sup>Valores negativos fueron considerados igual a cero; AP: Altura de planta, DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; RMS: Rendimiento de materia seca y RG: Rendimiento de grano.

## V. CONCLUSIONES

La expresión fenotípica y los efectos genéticos de las cinco razas y su progenie señalan una asociación inconsistente entre las variables en estudio, lo cual indica un comportamiento independiente en la expresión de los caracteres agronómicos.

Los mayores efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se detectaron en el progenitor Jala y Tuxpeño en la variable de rendimiento de materia seca (RMS) y, para rendimiento de grano (RG) fue en los progenitores Celaya y Jala. Mientras que los mayores efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) fueron para las cruzas Jala x Tuxpeño y Pepitilla x Dulce. Los mejores rendimientos de grano fueron obtenidos por las cruzas Jala x Pepitilla y Jala x Tuxpeño. Las razas con mayor ACG pueden incluirse en un programa de mejoramiento para la obtención de variedades sintéticas. Asimismo las cruzas con mayor ACE pueden incluirse para la formación de híbridos.

Las características agronómicas estudiadas estuvieron determinadas por efectos aditivos. En la expresión del rendimiento de materia seca los efectos de tipo no aditivo fueron el componente principal.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar** C. J. A. (2006). Recuperación, conservación y aprovechamiento de la raza Jala de maíz: Una alternativa para las razas en peligro de extinción. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. pp: 126.
- Anderson** E. & H. C. Cutler. (1942). Races of *Zea mays* L. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden* 29:69-88.
- Antuna** G. O., Rincon S. F., Gutierrez del R. E., Ruiz T. N. A., Bustamante G. L. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26 (1):11-17
- Barrera** G. E., A. Muñoz O., F. Márquez S, A Martínez G (2005). Aptitud combinatoria de razas de maíz mejoradas por retrocruza limitada. I: Caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):231-242.
- Bellon** M. R., M. Adato, J. Becerril y D. Mindek. (2005). Impact of improved maize germplasm on poverty alleviation: The case of Tuxpeño-derived materials in Mexico. CIMMYT. México, D. F. 64 p.
- Benavidez** M. A., R. E. M. Hernández V., H. Ramírez R. y A. Sandoval R. (2010). Tratado de Botánica Económica Moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila; México. pp: 332
- Cano** R P, Ramírez R G, Ortegón P J, Esparza M J H, Rodríguez H S (2000) Análisis dialélicos para vigor de semilla de melón. *Agrociencia*, N<sup>o</sup> 34 pp: 337-342.
- Castañón** N. G.; Latournerie, M. L. y Mendoza, E. M. (2005). Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffin. *Universidad y Ciencia* 21: 27-35.
- Castillo** G. F. (1994) Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. *In: memoria del II congreso latinoamericano de genética. XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI, Monterrey, N.L., México.* pp: 78-98.
- Chávez** A. J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2. Métodos específicos de plantas alógamas. Editorial Trillas. México, D. F. 143 p.

- De la Cruz L., S. Rodríguez., M. Estrada., J. Mendoza., N. Brito. (2005).** Análisis dialélicos de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Rev. Universidad y Ciencia.* 21(41) pp: 19-26.
- Dempsey G J (1996)** In situ conservation of crops and their relatives: A review of current status and prospects for wheat and maize. NRG Pape 96-108. CIMMYT, México, D.F. pp: 33.
- Galinat W. C. (1977).** The origin of corn. *In: Sprague G. F; Corn and Corn Improvement. Agronomy 18. American Society of Agronomy, Madison, WI.* pp: 1 - 47.
- Gámez Vazquez, A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., AQ. Alejo J. y A. Terrón I. (1996).** Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. pp: 102.
- Gardner C.O and Eberhart, S.A. (1966)** Analysis and interpretation of the variety cross deallel and related population. *En: Brometries N° 22;* pp: 349-452
- Geric I. M., Zlokolica, C. Geric and C. W. Stuber (1989)** Races and populations of maize in Yugoslavia. Isozyme variation and genetic diversity. Systematic and ecogeographic studies on crop genepools 3. IBPGR. Italy. pp: 108.
- Gómez M. N., Valdivia B R (1988)** Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(1):35-49.
- Gómez M., N. O., B. Coutiño E. y A. Trujillo C. (2010).** Proyecto FZ016 “Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009”. Informe final de la región Pacífico Sur. INIFAP, Campo Experimental Iguala. Iguala, Guerrero, México. pp: 21.
- Goodman M. N. and Browm L. W. (1988)** Races of corn *In: G F Sprague, J W Dudley Ed. Corn and Corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin.* pp: 33-79.
- Goodman M. M. (1999).** Broadening the genetic diversity in maize breeding by use of exotic germplasm. *En: Coors, J. G. y S. Spandley Ed. The genetic and exploitation of heterosis in crops. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.* pp: 139-148.

- Goodman** M. M. y R. McK. Bird. (1977). The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31. pp: 204-221.
- Griffing** B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing Systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9. pp: 463-493.
- Guillén** De la C. P., De la Cruz L. E., Castañón N. G., Osorio O. R., Brito M. N. P., Lozano Del R. A., López N. U. (2009). Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10. pp: 101-107.
- Gutiérrez** del R. E.; Espinoza B. A.; Palomo, G. A.; Lozano G. J. y Antuna, G. O. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Méx.* 27. pp: 7-11.
- Hallauer** A. R. & Miranda J. B. (1988) *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. pp: 159-249
- Hammer** K. (2003). A paradigm shift in the discipline of plant genetics resources. *Genetics Resources and Crop Evolution* 50. pp: 3-10.
- Harlan** J. R. y J. M. J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20(4):509-517.
- Hernández** X., E. (1985). Maize and man in the Greater Southwest. *Economic Botany* 39(4) pp: 416-430.
- Hernández** X., E. y G. Alanís F. (1970). Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1). pp: 3-30.
- Johnson** E. C. (1974) Mejoramiento del maíz. *In: Memoria "El mejoramiento del Maíz a nivel mundial en la década del setenta y el papel del CIMMYT. El Batán, México.* pp: 3-2,3-3.
- Jugenheimer** R. W. (1988). Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa,. México. pp: 841.
- Kato** T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 116.
- Kempton** J. H. 1924. Jala maize agiant variety from Mexico. *Journal of Heredity* 15 pp: 337-344.



- L. A. Dzib-Aguilar**, J. C. Segura-Correa, R. Ortega-Paczka y L. Latournerie-Moreno (2011) Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. pp: 119 -127
- Louette D.** & M. Smale (1996). Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: Implications for in situ conservation in maize. *NRG México, D.F.* pp: 96-103.
- Mafuru J.**, R. Kileo, H. Verkuil, W. Mwangi, P. Anandajayasekeram, & A. Moshi. (1999). Adoption of Maize Production Technologies in the Lake Zone of Tanzania. México, D.F.: International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), the United Republic of Tanzania, and the Southern Africa Center for Cooperation in Agricultural Research (SACCAR).
- Márquez S.F.** (1988) *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editor AGT. México. pp 308-321.
- Martínez A. J.** (1990) Selección para adaptación en Chapingo de una población de maíz Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 4(1). pp: 69-84.
- McClintock B. T. A.**, Kato Y & A Blumenschein (1981). Chromosome Constitution of Races of Maize. It's Significance in the Interpretation of Relationships between Races and Varieties in the Americas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- McK.** Bird, R. y M. M. Goodman. (1977). The races of maize V: Grouping maize races on the basis of ear morphology. *Economic Botany* 31. pp: 471-481.
- Mera O. L. M.** (2009). Diversificación y distribución reciente del maíz en México. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 116.
- Mera O. L. M.** y S. C. Mapes. (2009). El Maíz. Aspectos Biológicos. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 116.
- Montenegro T H**, Rincón S F, Ruiz T N A, de León C H, Castañón N G (2002) Potencial genético y aptitud combinatória de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 pp: 135-142.

- Morris** M. L. y M. A. López Pereira. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997. CIMMYT. México, D.F. pp: 45.
- Navas** A. A. A., T. Cervantes S. (1991). Selección para rendimiento y adaptación a Valles Altos en cruza interracial tropical de maíz de México. *Agrociencia Serie Fitociencia* 2(4) pp: 97-114.
- Ortega** P.R. (1985). Recursos genéticos para el mejoramiento de maíz en México, *Revista Germen (Sociedad mexicana de Fitogenética)* 3. pp: 18-36.
- Ortega** P., R. (1985). Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para mejoramiento. Traducción al español de la tesis de doctorado abreviada. Instituto de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, URSS. Pp: 22.
- Ortega** Paczka, R. (2003). La diversidad del maíz en México. In Esteva, G., y C. Marielle (Coordinadores). Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp. 123-154.
- Palomino** H G (1991). La importancia del enfoque interdisciplinario en el conocimiento de los recursos vegetales de México. In: Avances en el estudio de los recursos filogenéticos de México. Sociedad mexicana de Fitogenética, Chapingo, México. pp: 63-82.
- Peña** R.A., González C.F., Núñez H.G., Jiménez G.C. (2004). Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (Núm. Especial 1) pp: 1-6.
- Perales** R., H. y D. Golicher. 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe técnico preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p. Manuscrito.
- Pérez** C. A, J Molina G, A Martínez G (2000) Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34(5) pp: 533-542.
- Poehlman** J. M. 1983. Mejoramiento Genético de la cosechas, ed. LIMUSA. pp. 22

- Preciado O., R. E., A. D. Terrón I., A. Aguirre G., L. A. Noriega G. y A. S. Cruz M.** (2010). Proyecto FZ016 "Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Segunda etapa 2008-2009". Informe final de los estados de Guanajuato, Querétaro y Michoacán. INIFAP, Campo Experimental Bajío. pp: 17.
- Reyes D L, Molina J D G, Oropeza M A R, Moreno E C P** (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27. pp: 49-56.
- Reyes C. P.** (1985). *Fitogenética básica y aplicada*, ed. AGT Editor, S.A. pp: 303-348
- Ron P., J.** (1977). Efecto de las radiaciones gamma de Co-60 en las razas de maíz de México. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp: 115.
- Ruiz C. J. A.; Durán, P. N.; Sánchez, G. J. J.; Ron, P. R.; González, E. D. R.; Medina, G. G. and Holland. B. J.** 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sci.* 48. pp: 1502-1512
- Rzedowski G. C. de J. Rzedowski y colaboradores.** 2001. *Flora Fanerogámica de México del Valle de México.* 2ª. Ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Patzcuaro, Michoacán, México. pp: 14066.
- Sanchez G., J. J.** (1989). Relationships among the Mexican Races o maize. Ph. D. Thesis. North Caroline State University, Department of Crop Science. Raleigh, N. C. pp: 187.
- Sánchez G.J.J.** (2011). Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito.2 Documento revisado por Hugo Perales (ECOSUR) y Fernando Castillo (COLPOS).
- Sánchez J, J., M. M. Goodman y C. W. Stuber.** (2000). Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany.* 54(1). pp: 43-59.
- Serratos Hernández, J.A.** (2008). Teocintle ¿qué es para las culturas prehispánicas? *Revista Diario de Campo, INAH.*

- Serratos-Hernández JA**, Islas-Gutiérrez F, Buendía-Rodríguez E, Berthaud J. (2004). Gene flowscenarios with transgenic maize in México. *Environ. Biosafety Res.* 3(3). pp: 149-157.
- Sprague G.F.**, Tatum L.A. (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34. pp: 923-932.
- Taba** (2007).Orgullo y pragmatismo sostienen al maíz gigante de México. *CIMMYT E-Boletín Vol. 4, No. 8.*
- Turrent F. A.**, F. J. I. Cortes, C. A. Espinosa, A. H. Mejía y H. J. A. Serratos. 2010. Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*1 (4) pp: 631-646.
- Vega L. R. A.** (1975). Adaptabilidad en diferentes medios ambientales de cruzamientos entre germoplasma de maíz (*Zea mays L.*) de clima caliente húmedo y clima caliente seco. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N.L. México. pp:139.
- Villanueva V. C.**, F. Castillo G., J. D. Molina G. (1994) Aprovechamiento de cruzamiento dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruas. *Rev. Fitotec. Mex.* 17. pp: 175:185.
- Wellhausen E. J.** (1978) Recent developments in maize breeding in the tropics. In: Walden D B (ed.) maize breeding and genetics. John wiley & Sons. USA. pp: 59-84.
- Wellhausen E. J.** (1981) razas y variedades mexicanas de maíz y su importancia en el mejoramiento genético. In: Memoria del Simposio Nacional: El maíz en México, su Pasado, su Presente y su Futuro. Guadalajara, Jalisco, México. pp: 75-80.
- Wellhausen E. J.** (1990). Algunas reflexiones sobre el Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). *Agronomía Mesoamericana* 1. pp: 97-106.
- Wellhausen E. J.**, A. Fuentes O. y A. Hernández C. en colaboración con P. C. Mangelsdorf. (1957). Races of maize in Central America. NAS-NRC. Washington, D. C. pp: 128.

**Wellhausen** E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf. (1951). Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales-Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 55. México D. F.

**Wellhausen** E.J. et al. (1955) Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. México D. F. OEE, SAG.

#### Páginas WEB

**AMADOR BEDOLLA**, Carlos "El maíz viene del Balsas" Revista Digital Universitaria [en línea]. 1 de enero de 2011, Vol. 12, No.1 [Consultada: 2 de enero de 2011]. Disponible Internet: <<http://www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art07/index.html>>ISSN:160769. Consulta: Noviembre de 2014

**Comisión** Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) (2014). Avances en el empleo de la Biotecnología de Organismos Genéticamente Modificados en México: maíz amarillo. En: <http://www.cibiogem.gob.mx> Consulta: Octubre 2014

**Comisión** Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006. "Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México". Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. En: [Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf) consulta: Mayo 2014

**Comisión** Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2008). Proyecto FZ002 "Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México". México D.F. En: [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8\\_ResultadosProyectos/FZ002/Informe%20final/Maiz/Sinaloa/Informe%20Final\\_Sinaloa\\_FZ002.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8_ResultadosProyectos/FZ002/Informe%20final/Maiz/Sinaloa/Informe%20Final_Sinaloa_FZ002.pdf) consulta: Mayo 2014

**CONABIO** (2010). Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F.

[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6\\_Reuniones\\_Talleres/Tabla%20razas\\_marzo%202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_Reuniones_Talleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf) consulta: Mayo 2014

**CONABIO** (2011). Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.

<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html> consulta: Mayo 2014

**Fundación** Manuel Mejía 2008. Módulo de fisiología de la planta <http://es.scribd.com/doc/57320368/9-fisiologia-de-la-planta-de-maiz>. Consulta: Febrero 2014

**Instituto** Nacional de Estadística Y Geografía (INEGI) [www.inegi.org.mx/informacion/div.municipal/2014](http://www.inegi.org.mx/informacion/div.municipal/2014) consulta: Septiembre 2014

**Secretaría** de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2010. Servicio de información y estadísticas Agroalimentaria y Pesquera. Subsistema de Información Agrícola. México D.F. [www.sagarpa.com.mx](http://www.sagarpa.com.mx) consulta Agosto 2013

**Servicio** de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. En: <http://www.siap.gob.mx> Consulta: Octubre de 2014

**Situación** Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. 2012. En: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Maz/Ma%C3%A1Dz/maiz6-12.pdf> consulta: Septiembre 2014

**Orígenes** de los cultivos antiguos

<http://cultivosantiguos.blogspot.mx/2009/05/origen-del-cultivo-del-maiz.html>

consulta Octubre: 2014