

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Evaluación per-se de líneas S₃ de maíz tipo braquítico (br₂) para rendimiento de grano

POR:

NORMAYDA HERNÁNDEZ JUÁREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD
LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación per-se de líneas S₃ de maíz tipo braquítico (br₂) para
rendimiento de grano

POR

NORMAYDA HERNÁNDEZ JUÁREZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL SUPLENTE:


Ph. D. PEDRO CANO RÍOS


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Evaluación per-se de líneas S₃ de maíz tipo braquítico (br₂) para
rendimiento de grano

POR

NORMAYDA HERNÁNDEZ JUÁREZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

ASESOR:


Ph. D. PEDRO CANO RÍOS


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concluir una etapa más.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, por permitirme formarme como profesionista.

A cada uno de mis profesores, que formaron parte de mi formación académica y que dieron un poco de sí mismos, para que aprendiera y me sirviera en lo futuro.

A cada uno de mis asesores, quienes pusieron un granito de arena, para poder lograr mí sueño, primeramente:

Al Doctor Armando Espinoza Banda, por permitirme formar parte de su trabajo de investigación, por sus enseñanzas principalmente por interesarse de que sus alumnos aprendan.

A la Doctora Oralia por sus valiosas enseñanzas impartidas en clase.

Al Doctor Pedro Cano Ríos, por aceptar formar parte de mi comité de asesoría.

Al M.C. José Luis Coyac Rodríguez, por ser una persona dispuesta a colaborar en la enseñanza, dando informaciones de investigación recientes y por tomarse el tiempo para la revisión de mi trabajo de tesis.

A cada uno de mis compañeros que ayudaron durante el trascurso que estuvo establecido el trabajo en campo, por su valioso tiempo y apoyo que me brindaron.

DEDICATORIAS

A mis padres, a quienes amo y les debo la vida, quienes confiaron en mí, y por animarme siempre a concluir cada decisión que tome. Más que sus consejos, sus acciones fueron la mayor enseñanza, de que siempre se puede lograr lo que se quiere.

A mis hermanos (M.R.E.B.R.) por sus buenos deseos, palabras de ánimo, por creer en mí, y estar conmigo cuando más los necesitaba, las personas más importantes para mí.

A mis sobrinitos, a quienes amo por ser parte de la familia hermosa, y a mis tíos, que de una u otra manera me ayudaron.

RESUMEN

Se evaluaron 96 líneas de maíz con el objetivo de caracterizarlas agronómicamente, participando 91 líneas S₃ con gen braquítico (Br-2), tres con el gene sugary (su2) y dos líneas de porte normal, TL-08A-1638-244 y OA-010-1 C-09. La siembra se realizó en el ciclo primavera-verano del 2016, en el campo experimental de la UAAAN-UL. El diseño experimental fue un alfa látice con 24 bloques de 12 tratamientos cada uno y 3 repeticiones. La parcela útil constó de un surco de 3m a 0.75m de distancia y plantas distantes a 0.12m. Para la caracterización se utilizaron las gráficas de dispersión del análisis de componentes principales (ACP). Se cuantificaron las variables: Largo y Ancho de la hoja, Intervalo de floración (ASI), Coloración de Vaina (CoVa), Altura Planta (AP) y de Mazorca (AMz), Tipo de Espiga (TEs), Ángulo Superior (AnHS) e Inferior de la hoja (AnHI), Número de Mazorca (NMz), Aspecto de Mazorca (AsMz), Longitud de Mazorca (LMz), Diámetro de Mazorca (DMz), Hilera por Mazorca (HMz), Granos por Hilera (GHi), Rendimiento de grano (REN). Los tratamientos fueron altamente significativos con la excepción de la variable AsMz que fue significativa. De los cinco CP del ACP, se utilizaron los dos primeros para las gráficas Biplot y vectores lineales. Los genotipos formaron tres grupos, el primero se caracteriza por las variables TEs, AnHS, AnHI, el segundo por mayor AP, AMz, LMz, AF y GHi y el tercer grupo influenciado por el NMz, DMz, HMz y REN, donde sobresale la línea EN-05-9 con un rendimiento de 4,343 Kg ha⁻¹, estadísticamente igual a nueve líneas.

Palabras clave: *Zea mays* L., Caracterización, Líneas, Componentes principales.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Hipótesis:	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Endogamia	3
2.2. Autofecundación	3
2.3. Proceso histórico de la endogamia	4
2.4. Efectos de la endogamia	4
2.5. Línea pura	5
2.6. Desarrollo de líneas endocriadas	6
2.6.1. Método pedigree	7
2.6.2. Dobles haploides	8
2.6.3. Líneas de segundo ciclo	9
2.6.4. Descendencia de una sola semilla	9
2.7. Métodos de evaluación y selección de líneas	10
2.7.1. Evaluación per-se	10
2.7.2. Prueba temprana	12
2.8. Caracterización de líneas	13
2.8.1. Carácter braquítico	14
2.9. Selección	17
2.10. Importancia de las líneas en la formación de híbridos	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Localización geográfica	20
3.2. Material genético	20
3.3. Diseño experimental	20
3.4. Manejo agronómico	21
3.4.1. Siembra	21
3.4.2. Aclareo	21

3.4.3.	Aporque	21
3.4.4.	Fertilización	22
3.4.5.	Riego	22
3.4.6.	Control de Maleza	22
3.4.7.	Control de plagas	22
3.4.8.	Cosecha	23
3.5.	Variables evaluadas	23
3.5.1.	Emergencia	24
3.5.2.	Área foliar	24
3.5.3.	Color de vaina	24
3.5.4.	Altura de planta (cm)	24
3.5.5.	Altura de mazorca (cm)	25
3.5.6.	Floración masculina (DDS)	25
3.5.7.	Floración femenina (DDS)	25
3.5.8.	Tipo de espiga	25
3.5.9.	Ángulo inferior de la hoja de la mazorca (°)	26
3.5.10.	Ángulo superior de la hoja de la mazorca (°)	26
3.5.11.	Diámetro del tallo (mm)	26
3.5.12.	Número de mazorcas cosechadas	26
3.5.13.	Aspecto de la mazorca	27
3.5.14.	Longitud de mazorca (cm)	27
3.5.15.	Diámetro de mazorca (mm)	27
3.5.16.	Numero de hileras por mazorca	27
3.5.17.	Numero de granos por mazorca	27
3.5.18.	Rendimiento de grano	28
3.6.	Análisis estadístico	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
V.	CONCLUSIONES	37
VI.	BIBLIOGRAFIA	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Análisis de varianza de 96 líneas de maíz tipo braquíptico. UAAAN-UL 2016.	31
Cuadro 4.2 Promedio de las variables morfológicas de la planta y mazorca, de 10 genotipos con mayor rendimiento en maíz. UAAAN-UL 2016.	32
Cuadro 4.3 Varianza acumulada de los componentes de 96 genotipos. UAAAN-UL 2016.	33
Cuadro 4.4 Importancia relativa de las variables por componente de 96 genotipos. UAAAN-UL 2016.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Gráfico de dispersión del componente 1 con componente 2, de los 96 genotipos de maíz. UAAAN-UL 2016.	36
Figura 4.2 Gráfica de Vectores variables del componente 1 con componente 2, de 96 genotipos de maíz. UAAAN-UL 2016.	36

I. INTRODUCCIÓN

En México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez *et al.*, 2000). La evaluación de dicha diversidad es importante para los programas de mejoramiento genético, por su potencial como fuente de características nuevas, exóticas y favorables (Vigouroux *et al.*, 2008).

El rendimiento de grano, se ha incrementado en 40 a 50 % debido a mejoras prácticas de manejo agronómico (uso de más fertilizante nitrogenado y de altas densidades de población) y en 50 a 60 % por el mejoramiento genético en la arquitectura de la planta del maíz (Duvick, 1992), y por la resistencia a estreses bióticos y abióticos (Russell, 1991; Tollenaar y Wu, 1999) y factores medio ambientales.

La distribución del área foliar y la radiación dentro del dosel de la planta, están relacionados con el proceso fotosintético. Wall y Kanemasu (1990) mencionan, que el dosel de las plantas que reciben mayor proporción de energía radiante presenta una eficiencia fotosintética aumentada.

El aumento en el índice de área foliar (IAF) proporciona aumento de producción de biomasa, y por consiguiente la tasa fotosintética media por unidad de área foliar decrece debido al autosombreamiento de las hojas (Lucchesi, 1987).

Ackerson (1983) observó, en una comparación de dos híbridos resistentes a la sequía, que el material más resistente era más corto y producía

menos hojas, más pequeñas y más cortas. Además de eso, Kriedmann y Barrs (1983) observaron que la proporción de evapotranspiración potencial de fotosíntesis aumenta con altura en entornos de alta insolación y viento. Por consiguiente, las plantas más cortas se adaptan mejor a las plantas más altas a tales condiciones.

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz (*Zea mays* L.), requieren generar nuevas líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria (Sámano *et al.*, 2009). Es por ello que el programa de mejoramiento de la UAAAN en la Unidad Laguna, trabaja con un maíz de porte bajo condicionado por un gene de carácter recesivo (*br2*). Además, son plantas más compactas, con hojas erectas y espiga corta y ramificada. Este ideotipo permite manejar altas densidades y la posibilidad de incrementar los rendimientos modificando la densidad (Katta y Castro, 1970).

1.1. Objetivo

Caracterizar agronómicamente un grupo de 96 líneas S₃ derivadas de una población con carácter braquítico.

1.2. Hipótesis:

Ho: las líneas S₃ son estadísticamente diferentes en características agronómicas como en rendimiento de grano.

Ha: las líneas S₃ son estadísticamente iguales en características agronómicas como en rendimiento de grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Endogamia

La endogamia es el cruzamiento entre individuos de una raza, comunidad o población aislada genéticamente, se caracteriza técnicamente como la condición homocigótica de genes en un determinado sitio (locus) cromosómico (Márquez, 2007).

Poehlman (1987) menciona que el efecto de la endogamia en las poblaciones heterogéneas heterocigotos consiste en un incremento de la homocigosis.

Los cigotos u organismos que poseen dos unidades iguales de un alelo se conoce como homocigotos y los que posees los dos alelos diferentes (Dd) son heterocigotos (Gardner, 1979).

2.2. Autofecundación

La autofecundación es el acto de fecundar los órganos femeninos de una planta con su propio polen (Chávez, 1995).

Para Hallauer (1990) y Poehlman (1992) la autofecundación, es el método más utilizado para el desarrollo de líneas endogámicas, que consiste en autofecundar plantas seleccionadas en campo (plantas S0) y las semillas producidas se denominan semillas S1. Al sembrar estas semillas S1 se producen plantas S1 que al ser autofecundadas producen semillas S2. Si este proceso se repite 8 veces se producirán líneas S8 con 99% de homocigosis. A partir del octavo ciclo los avances en endogamia serán mínimos, ya que la

curva resultante será una asíntota, de acuerdo a la función $F=1-(1/2)^n$ (Molina, 1992; Falconer y Mackay, 1996).

2.3. Proceso histórico de la endogamia

La investigación de los efectos de endocria en maíz inició con East en 1904 y así ha sido hasta el presente (Jones, 1939).

Shull (1908) reporta que las líneas de maíz endocriadas mostraron un deterioro general en rendimiento y vigor. Delineando el procedimiento que más tarde llegó a ser normal en los programas de mejoramiento de maíz, como método de la línea pura (Shull, 1909).

Jones (1939) resume los resultados de 30 generaciones de autofecundaciones en maíz, encontrando una reducción en altura después de las primeras cinco generaciones y, en rendimiento, después de las 20 generaciones, además mostraron una uniformidad para todos los caracteres visibles.

2.4. Efectos de la endogamia

En maíz se han encontrado la depresión endogámica para varios rasgos en diferentes poblaciones (Hallauer y Sears, 1973; Good y Hallauer, 1977, Lima *et al.*, 1984, Nass y Miranda, 1995; Arnhold *et al.*, 2010), y fue observado por primera vez en 1871 por Darwin (Allard, 1960). Falconer (1964, 1989) y Miranda (1999), lo definen como la reducción en la media de los rasgos cuantitativos, relacionada con la capacidad de reproducción o la eficiencia fisiológica, y es una consecuencia de los alelos deletéreos recesivos y Poehlman (1987) lo define como la pérdida de vigor.

Falconer (1989) menciona que, la principal consecuencia de la endogamia es la reducción del valor fenotípico de las características cuantitativas, incluyendo aquellas que afectan los componentes del rendimiento.

Para Meghji *et al.* (1984) la depresión por endogamia, conduce a líneas de maíz de bajo rendimiento.

Hallauer y Miranda (1985) reportaron que, la reducción del rendimiento por la depresión endogámica, oscila entre 42.2 y 71.9 g planta⁻¹; para la altura de planta los valores fluctúan entre 7.8 y 33.4 cm y para la altura de mazorca entre 10.4 y 29.6 cm. En líneas S₈, Hallauer y Miranda (1988) registraron reducciones de 68% en rendimiento, 25% en altura de planta y 35% en altura de mazorca.

2.5. Línea pura

Una línea autofecundada es aquella que es pura, originada generalmente por autopolinizaciones sucesivas y selección hasta obtener plantas aparentemente homocigotas (Robles, 1986).

Para la formación de líneas se requiere partir de una población con un alto comportamiento promedio y varianza genética adecuada (Lamkey *et al.*, 1993) y usando sistemas de endogamia moderado, se logra obtener líneas con alto potencial de rendimiento (Márquez, 1988) y esta puede aumentar mediante selección y mejoramiento de líneas existentes (Hallauer *et al.*, 2010).

Espinosa *et al.* (1998) evaluaron nueve líneas y sus 72 cruzas simples directas y recíprocas. De las nueve líneas, cuatro exhibieron rendimientos superiores a 2,300 kg ha⁻¹.

Arellano *et al.* (2010) de la línea M-52, progenitora del híbrido H-66, obtuvieron 3,6 t ha⁻¹.

Virgen *et al.* (2013) mencionan que en las líneas M-52, obtuvieron rendimientos de semilla mayores a 2,4 t ha⁻¹ con peso volumétrico de 70 kg hl⁻¹ y en la línea M-54, rendimiento de 232 kg ha⁻¹ con 62 kg hl⁻¹.

López y Espinosa (1993) citan que, el rendimiento mínimo de una línea endogámica de maíz debe ser de 2,300 kg ha⁻¹, para aprovecharse económicamente como progenitor femenino en híbridos de cruce simple.

2.6. Desarrollo de líneas endocrías

El desarrollo de líneas endocrías por autopolinización y evaluación para la formación de híbridos, es un procedimiento tradicional en los programas de mejoramiento (Bernardo *et al.*, 2012).

La endogamia de una población es importante, porque reduce la variabilidad genética y genera depresión endogámica y, con ello, reduce la ganancia genética esperada por efecto de selección (Robertson, 1960).

Jenkins (1935) encontró que al inicio de la endocría una línea adquiere su individualidad, siendo las líneas más vigorosas como lo mencionan Astete y Miranda (2002).

Rowe y Andrew (1964) mencionan que, las líneas endogámicas de maíz, se adaptan en ambientes desfavorables, y en ambientes favorables presentan problemas.

2.6.1. Método pedigree

La selección de pedigree, es un método ampliamente utilizado por los fitomejoradores, para especies autógamas e incluso en especies de polinización cruzada. El método fue descrito por H. H. Lowe en 1927 (Acquaah, 2012). Es un método que se emplea mayormente en América del Norte (Singh *et al.*, 2011).

Conocer y mantener registros de los antecesores de una línea permite al mejorador, rastrear la progenie-progenitora de una planta F2 individual, de cualquier generación posterior (Acquaah, 2012).

La población segregante, resultado de la cruce de los padres seleccionados, es la base para la selección de plantas en base al fenotipo deseable. Una vez seleccionadas, las plantas se vuelven a seleccionar en cada generación posterior. Este proceso continúa hasta que se alcanza un nivel deseable de homocigosidad, en donde las plantas son fenotípicamente homogéneas (Acquaah, 2012).

El mejorador desarrolla un sistema de mantenimiento de registros, ya sea por letras para indicar las fuentes parentales o el tipo de cultivo u otra información útil. La forma más básica se basa en la numeración de las plantas a medida que se seleccionan y desarrollando una extensión para indicar la selección posterior (Acquaah, 2012).

2.6.2. Dobles haploides

Un “doble haploide” (DH) es un genotipo de duplicación cromosómica, que se presenta de manera espontánea o inducido artificialmente (Prasanna *et al.*, 2013).

Chase (1969) fue el primero en estudiar los monoploides de maíz y utilizar líneas DH en el mejoramiento (Prasanna *et al.*, 2013).

La identificación de “materiales genéticos inductores de haploidía” facilita generar líneas DH de maíz (Coe y Sarkar, 1964). Nanda y Chase (1966) describen el uso de un marcador embrionario para detectar monoploides de maíz, utilizando un progenitor masculino Purple Embryo Marker (*b pl ACR^{nj}: Cudu pr P^{wr}*), que produce un pigmento de color morado oscuro en el embrión y color púrpura de aleurona en el endospermo.

La técnica de doble haploides es un método que ha permitido facilitar y acelerar el proceso de endocria (Seitz, 2005). Se obtienen líneas totalmente homocigotas en 2 ó 3 generaciones, en comparación con el proceso convencional que tarda por lo menos 6 u 8 generaciones para obtener líneas con 99% de homocigosis (Geiger y Gordillo, 2009).

El método de DH permite evaluar poblaciones para caracteres cuantitativos y cualitativos, y desarrollar un efectivo análisis genético de las relaciones epistáticas y varianzas genéticas existentes (Goldringer *et al.*, 1997) y a su vez, disminuye los costos en el desarrollo de nuevos potenciales cultivares (Mayor y Bernardo 2009; Liu *et al.*, 2001).

2.6.3. Líneas de segundo ciclo

Hallauer (1990) cita que, gran cantidad de líneas endocriadas son desarrolladas a partir de poblaciones F₂ generadas por el reciclaje de líneas elite o líneas de segundo ciclo, a partir de retrocruzas o de poblaciones con alta variabilidad genética.

San Vicente *et al.* (1999) en su investigación, de las 49 líneas seleccionadas para el estudio, diez de estas 49 fueron extraídas de poblaciones generadas mediante el reciclaje de líneas elite dentro del mismo grupo heterótico.

2.6.4. Descendencia de una sola semilla

El método de descendencia de semilla única nació de la necesidad de acelerar la endogamia de una población antes de comenzar con la selección y evaluación de plantas individuales (Acquaah, 2012).

El concepto fue propuesto en el año de 1941 por C.H. Goulden, cuando alcanzó la generación F₆ en dos años, reduciendo el número de generaciones al realizar múltiples plantaciones por año, usando invernaderos y fuera de temporada (Acquaah, 2012).

En el año de 1962, H.W. Johnson y R. L. Bernard, describieron el procedimiento de recolección de semilla única para planta de soja (Acquaah, 2012). En 1966 C.A. Brim, proporcionó una descripción formal del procedimiento de descendencia de semilla única, llamándolo como un método de pedigree modificado (Acquaah, 2012).

El método, permite al mejorador avanzar al número máximo de plantas F₂ a través de la generación F₅. Esto se consigue al avanzar mediante la selección al azar de una semilla por planta en las primeras etapas de segregación, esto para lograr más pronto la homocigosidad (Acquaah, 2012).

2.7. Métodos de evaluación y selección de líneas

Coutiño y Vidal (2003) mencionan que, es importante que las líneas e híbridos se evalúen en diferentes localidades para seleccionar los genotipos con mayor estabilidad. Kgasago (2006) señala que los genotipos sembrados en diferentes fechas de siembra pasan a través de cada estado de desarrollo en tiempos diferentes y, por lo tanto, bajo condiciones ambientales diferentes, especialmente de temperatura y fotoperiodo.

Dos tipos de selección son usados ampliamente durante el desarrollo de líneas endocriadas: la selección basada sobre el comportamiento de la línea “*per-se*” y la selección basada sobre el rendimiento de las cruzas de las líneas con un probador (Ordás *et al.*, 2012).

2.7.1. Evaluación *per-se*

Para obtener líneas e híbridos con mayor rendimiento se puede lograr con el mejoramiento de las poblaciones base (Genter, 1973), con mejoramiento *per-se* o con reciclamiento de líneas (Dudley, 1984b).

Con la evaluación del comportamiento *per-se* de las líneas, se puede conocer la contribución de los efectos aditivos en el híbrido; pero no los efectos epistáticos y de dominancia (Hernández *et al.*, 2010).

González *et al.* (1990) mencionan que, las líneas se pueden seleccionar por su rendimiento *per-se* puesto que está positivamente correlacionado con su ACG, con valores frecuentemente superiores a 0.5, otros autores opinan lo contrario, por los resultados inferiores a 0.5 (Gama y Hallauer, 1977; Jensen *et al.*, 1983; Oropeza, 1997; García *et al.*, 2002). Los bajos valores de correlación fenotípica se han atribuido a la interacción genética línea x probador cuando éste es de amplia base genética (Genter y Alexander, 1962) y a la presencia de genes recesivos deletéreos en las líneas autofecundadas, los cuales enmascaran el efecto de genes dominantes favorables (Genter y Alexander, 1964).

Sin embargo, el rendimiento *per-se* durante el desarrollo de la línea endogámicas es útil para eliminar genotipos con una capacidad de combinación por debajo del promedio (Lonnquist y Lindsey, 1964; Lamkey y Hallauer, 1986 y Lee y Kannenberg, 2004).

San Vicente (2007) considera que la evaluación de líneas *per-se* debe adoptarse en el proceso de mejoramiento genético, con el objeto de tener su caracterización, incluyendo los datos sobre su potencialidad como hembra o macho en la formación de híbridos, tales características incluyen: potencial de rendimiento en combinación híbrida, floración masculina y femenina, madurez, resistencia a volcamiento, calidad de grano, resistencia a plagas y enfermedades, altura de planta y de mazorca, entre otras (Bejarano *et al.*, 2000).

2.7.2. Prueba temprana

Método de selección de líneas para la producción de híbridos ha sido el método de línea x probador, es decir la selección de líneas en base a su comportamiento en cruzas híbridas, antes que la selección visual de líneas *per-se* (Smith, 1986; Hallauer y López, 1979; Jensen *et al.*, 1983; Clucas y Hallauer, 1986; Arcos, 2014).

Matzinger (1953) definió un tester (probador) deseable como aquel que tiene simplicidad en uso, que produce la mayor información posible de las líneas cuando éstas son utilizadas en cruzamientos con otras líneas o evaluadas en otros ambientes.

Jenkins (1935) y Sprague (1946) diseñaron, la prueba de temprana para evaluar la aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas en las primeras etapas de autofecundación. Metodología que permite eliminar al menos 50 % de las líneas de baja ACG, reduciendo los costos de evaluación de las líneas en las generaciones subsiguientes. Los mismos autores encontraron que la ACG de las líneas quedaba definida en las primeras etapas de autofecundación, lo que posteriormente fue corroborado por Hallauer y López (1979) y Bernardo (1992).

Sprague y Tatum (1942) definieron la aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y puede calcularse a través de cruzas de prueba con probadores divergentes, cuyo comportamiento permita estimar la distancia genética entre ellas (Soengas *et al.*, 2003), y la aptitud combinatoria específica (ACE) en las que ciertas combinaciones híbridas específicas se expresan favorablemente o

no con respecto al comportamiento promedio de sus progenitores (Sprague y Tatum, 1942).

Una cruce simple es de alto rendimiento cuando las dos líneas progenitoras son de alta ACG, o al menos una línea es de alta ACG, pero presenta efectos positivos de ACE (Méndes *et al.*, 2003; Reyes *et al.*, 2004 Escorcía *et al.*, 2010 y Pérez *et al.*, 2014).

La técnica más usual para estimar los efectos de ACG (g_i) de las líneas y de ACE (s_{ij}) de sus cruces, es el diseño dialélico de Griffing (1956) mediante alguno de sus cuatro métodos.

Las cruces dialélicas, permiten estimar los componentes de la variación genética (Kempthorne y Curnow, 1961), identificar las combinaciones superiores y seleccionar los mejores progenitores para el diseño de métodos de mejoramiento eficientes (Gutiérrez *et al.*, 2002).

González *et al.*, (1990) mencionan que, la evaluación tardía, es otro método que consiste en, seleccionar por caracteres agronómicos deseables durante la tercera o cuarta generación de autofecundación, que posteriormente, son cruzadas con un probador para evaluar su capacidad de combinación.

2.8. Caracterización de líneas

La caracterización de cultivares tiene una aplicación práctica importante en el mejoramiento vegetal, tanto para la identificación de genotipos comerciales como para la estimación de relaciones genéticas (Bonamico *et al.*, 2004).

La precisión en la evaluación de estos caracteres va a depender del grado de interacción con el ambiente y de los mecanismos genéticos que controlan la expresión de esos caracteres (Smith y Smith, 1989), los cuales no siempre pueden ser interpretados de modo que pueda hacerse una valoración correcta de las diferencias genéticas (Galovic *et al.*, 2006).

Galovic *et al.* (2006) menciona la importancia de la caracterización y descripción de líneas progenitoras de híbridos liberados comercialmente, ya que permite que el agricultor y el comerciante, adquieran una variedad específica o que el productor de semilla genere un producto que reúna un estándar aceptable de calidad y pureza (Smith y Smith, 1989).

2.8.1. Carácter braquítico

En el maíz existen tres tipos de mutantes braquíticos (br₁, br₂ y br₃) que proporcionan una estatura baja y un fenotipo insensible a las giberelinas y a las auxinas (Cassani *et al.*, 2010).

Lambert (1963) verificó que los genes br-1 y br-2 no son alelos, que ambos se localizan en el brazo largo del cromosoma 1, pero separados a 50 unidades de mutación.

El carácter braquítico en el maíz está controlado por un gen recesivo br₂, lo que ocasiona el acortamiento de los entrenudos del tallo inferior, sin una reducción en el tamaño de las otras partes principales de la planta (Anderson y Chow, 1960).

Hasta ahora solo se ha clonado el gen braquítico 2 y codifica para una proteína putativa de la clase de P-glicoproteínas (PGPs) que puede estar

implicada en el movimiento polar de auxinas (MDR) (Cassani *et al.*, 2010). El gene *br-2* ha sido considerado el más favorable por no alterar demasiado el tamaño de la espiga en las plantas de maíz (Lambert, 1963).

La reducción en el tamaño de estas variedades es causada por la respuesta anormal a las giberelinas (AGs), que son reguladores endógenos esenciales del crecimiento de las plantas (Hooley, 1994), lo que sugiere que esta hormona es fundamental para el control de la estatura de las plantas. Sin embargo, el alargamiento de los órganos de las plantas es un fenómeno complejo mediado por muchas hormonas vegetales, incluyendo auxinas y brassinosteroides, tales como las giberelinas (Vogler y Kuhlemeier, 2003).

Las líneas *br2*, exhiben una inusual fuerza de tallo y tolerancia al viento, mientras que las hojas son a menudo más oscuras y persisten más en el verde activo (Anderson y Chow, 1960).

CIMMYT (1967-1968) describe un braquíptico, de tallo cuadrado de Argentina, de crecimiento doble con dos hojas opuestas en cada nudo, y con dos mazorcas opuestas en los nudos de mazorca.

Scott y Campbell (1969) citan que, las plantas *br2* desarrollan menos entrenudos debajo de la mazorca y cortos entrenudos a lo largo de la planta que la normal.

El maíz braquíptico es un material de porte enano, que produce gran número de hojas y muy anchas (Camacho *et al.*, 1995).

Sámano (2009) describe las líneas endogámicas utilizadas, líneas que fueron derivadas del grupo de maíz enano (Grupo A) del Programa Bajío del

Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” (IMM), que son de grano blanco semicristalino, plantas con entrenudos cortos abajo de la mazorca, hojas erectas y espiga compacta, de madurez precoz e intermedio. Características que les permiten soportar altas densidades de población y que se adaptan al subtrópico de México.

En Colombia en el año de 1966 se introdujo el gene en una colección de la raza Tuxpeño y en el año de 1972, ya existían líneas braquíticas de los híbridos DH-253, ICA- H 207 e ICA HS- 209 en 2a, 3a, 4a, y 5a generación de retrocruzamiento a los maíces normales (Arboleda *et al.*, 1973).

CIMMYT (1967-1968) menciona que, en la región andina se estaba incorporando el gene braquítico-2 y en Venezuela, se habían desarrollado poblaciones de plantas semienanas usando el gene braquítico.

Arboleda (1972) hace mención del uso del gene braquítico 2, para reducir el volcamiento de los maíces normales colombianos, el cual reduce la estatura casi a la mitad, debido al acortamiento y engrosamiento de los entrenudos por debajo de la mazorca superior.

Castro 1979, citado por Raygoza (2000) para obtener el Maíz Super Enano “Pancho Villa” AN-360, realizó el cruzamiento de 30 plantas enanas de hojas semierectas de una población de maíz blanco, segregando para el gene braquítico-2 con un 75% de germoplasma de la variedad compuesta Puebla grupo 1 y un 25% de la variedad 520 C con un maíz procedente de argentina, material conocido con el nombre de “tallo cuadrado”, de 40 cm de altura, grano amarillo duro, hojas muy erectas y opuestas, y con dos mazorcas en el mismo nudo, mostrando potencial para desarrollar dobles mazorcas en los nudos

inferiores. Del cual obtuvo plantas de acuerdo con el ideotipo deseable, con una altura no mayor de un metro, hojas erectas y cortas, mazorca dispuesta a 40 y 50 cm arriba del suelo, acortamiento solamente entre los entrenudos inferiores, características que tienden a mejorar la eficiencia fotosintética. Del cual seleccionó plantas que fueran enanas, con hojas erectas y espigas de tamaño reducido, lo que permitiría una mejor penetración de la luz a las hojas.

2.9. Selección

Como parte del proceso evolutivo las plantas se automejoran por selección natural, aunque a un ritmo muy lento. Dicho proceso evolutivo de las especies vegetales cultivadas ha sido acelerado por el hombre (Reyes, 1990).

Los dos grandes sistemas de mejoramiento genético del maíz son la selección y la hibridación. Mediante la selección se aprovechan los efectos génicos aditivos, y con la hibridación se capitalizan los efectos génicos no aditivos (Márquez, 1988).

La alta densidad de población en maíz permite seleccionar individuos fisiológicamente eficientes (Troyer, 1996), de menor tamaño de hoja y ángulo de inserción de ésta (Cervantes, 1986; Hallauer, 1990), y con la identificación de germoplasma exótico con alelos favorables carentes en las poblaciones locales, es posible transferir y aprovechar estos nuevos alelos en líneas de maíz y en los híbridos generados (Dudley, 1984a), con los que se obtienen híbridos de alto rendimiento (Troyer y Rosenbrook, 1983; Cervantes *et al.*, 2002).

2.10. Importancia de las líneas en la formación de híbridos

Las líneas autofecundadas de diferente origen permite explotar la gran diversidad genética presente en el maíz, con el cual, incrementar la respuesta heterótica entre ellas (Rosa *et al.*, 2006). Definiendo la heterosis, como la diferencia del valor de la cruce F1 y el promedio de sus progenitores (Falconer y Mackay, 1996).

Meghji *et al.* (1984) mencionan que, en el año 1960, se inició la producción comercial de híbridos de cruce simple, por la obtención de líneas un poco más productivas.

Puertas (1992) señala que, el cruzamiento de algunas líneas endogámicas produce híbridos de caracteres muy superiores, no sólo las líneas parentales sino también a las poblaciones iniciales de donde se obtuvieron las líneas endogámicas.

Las líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria (Fan *et al.*, 2003; Sámano *et al.*, 2009), son características agronómicas que favorecen su empleo en la multiplicación de híbridos de cruce simple (López y Espinosa, 1993), y que han demostrado resultados satisfactorios en combinaciones híbridas (Fan *et al.*, 2003; Sámano *et al.*, 2009).

Las líneas con efectos altos de ACG pueden emplearse para desarrollar variedades sintéticas, mientras que combinaciones específicas de alto rendimiento se pueden usar en la hibridación (Sprague y Eberhart, 1977).

Según Bejarano (2003) con el uso de líneas endogámicas más vigorosas y productivas en los híbridos simples, se podría incrementar el rendimiento.

Espinosa et al. (2002) afirman que, la producción comercial de semilla de híbridos de maíz de cruza simple es rentable cuando las líneas progenitoras hembra tienen un rendimiento mínimo de 3000 kg ha⁻¹.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica

El trabajo de investigación se estableció en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, que se localiza geográficamente entre los paralelos 25° 42' y 24° 48' de latitud norte; los meridianos 103° 31' y 102° 58' de longitud oeste; altitud entre 1 000 y 2 500 m y un clima muy seco semicálido y seco templado, con temperaturas media anual de 14 a 22°C, con una precipitación media anual de 100 a 400 mm (INEGI, 2010).

3.2. Material genético

Para el siguiente trabajo de investigación se usaron 96 líneas en total de las cuales, 91 líneas con gen braquítico (Br-2), tres líneas con gen sugary (su2), (Brown *et al.* 1971) y el resto de líneas TL-08A-1638-244 y OA-010-1 C-09.

3.3. Diseño experimental

La evaluación de las líneas se realizó en el ciclo primavera-verano del 2016. El diseño utilizado fue alfa látice con 24 bloques de 12 tratamientos cada uno y con 3 repeticiones. La distancia entre surcos fue de 0.75 m y 0.12 m entre planta y planta y con una parcela útil de 3 metros, manejando una densidad alta con un aproximado de 111,000 plantas ha⁻¹.

3.4. Manejo agronómico

La preparación del terreno fue de forma convencional. Se marcaron los surcos de 3 m, con cal, dejando pasillo de un metro entre bloque y bloque. A continuación, se mencionan las actividades realizadas durante el ciclo fenológico de la planta.

3.4.1. Siembra

La siembra se realizó el 16 de abril de 2017, se sembró en seco y en forma manual, se usaron hilos de rafias marcadas de acuerdo a la distancia de siembra entre planta y planta, depositando dos semillas por golpe. Después de la siembra se estableció el sistema de riego por cintilla (por goteo), y posterior a ello se aplicó el primer riego.

3.4.2. Aclareo

El desahije de las plantas se realizó a los 23 días después de la siembra (DDS), se regó un día anterior para una mayor facilidad de extracción de las plantas, y se dejó una planta por golpe.

3.4.3. Aporque

Para que la planta tuviera una mejor aireación en las raíces, y dispersar un poco las sales acumuladas por el riego, se procedió a la remoción del suelo y al aporque de las plantas, el primer aporque se realizó usando azadones a los 25 DDS, y el segundo a los 33 DDS con el tractor agrícola.

3.4.4. Fertilización

La dosis de fertilización que se utilizó fue la fórmula de 200-180-00. La primera fertilización se realizó antes de la siembra con sulfato de amonio y MAP (Fosfato Monoamónico) aplicando el 50% de N y el total del fósforo (P); el 50% restante del N se aplicó en el riego a los 47 y 54 DDS utilizando urea ácida (N 26%+S6%). Conjuntamente con el riego se aplicó un mejorador de suelos (Penetrex-F) a una dosis de 1-2 ml L⁻¹.

Para corregir las deficiencias provocadas por el exceso de sales, a los 58 DDS se aplicó Bayfolan (N-P-K + microelementos) a una dosis de 2-4 L ha⁻¹.

3.4.5. Riego

Se utilizó el riego por cintilla (por goteo), aplicándose un total de 20 riegos durante el ciclo fenológico del cultivo, con una lámina total de 59 cm.

3.4.6. Control de Maleza

Para el control de maleza, se aplicó tres días después de la siembra, un pre emergente Hardness-XTRA (Acetoclor 46.3% + Atrazina 18.4%), a una dosis de 2 L/ha⁻¹, con un coadyuvante (éster etoxilado alquil aryl fosfato 97% I.A), a una dosis de 0.5-0.750 L en 100 L de agua. Posteriormente el control se realizó manualmente. La aplicación se hizo con mochilas de 21 litros.

3.4.7. Control de plagas

La plaga de mayor infestación durante la fenología de la planta, fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith). En estado de larva, afectó severamente en la etapa vegetativa de la planta, y se controló con

Clorpirifos-etil 44.5% i.a., se aplicó a los 11 DDS a una dosis de 0.5 a 0.75 L/ha, se aplicó Benzoato de emamectina 2.12% i.a. a los 14 DDS a una dosis de 100-400 ml ha⁻¹ para controlar Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y pulga saltona (*Epitrix* spp.). En la etapa de larva en 5° a 6° estadio del Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), daño plantas (de 30 DDS) en la parte de la raíz introduciéndose en el tallo, causando así la muerte de la misma. Por la alta infestación se aplicó Cipermetrina 25% i.a., a una dosis de 200-350 ml ha⁻¹ a los 25 DDS y 56 DDS y Clorpirifos etil 5% i.a., a una dosis de 15-25 Kg ha⁻¹ a los 37 y 45 DDS. Para controlar el pulgón verde (*Schizaphis graminum* Rondani) se aplicó Diazinón 25% i.a., a los 20 y 41 DDS a una dosis de 1.5 L ha⁻¹.

Todas las aplicaciones fueron hechas con una aspersora de mochila de 15 litros.

3.4.8. Cosecha

Se cosechó a los 132 DDS, para ello se tomaron en cuenta la madurez fisiológica, la cual se determina a través de la capa negra en el grano situada en el pedicelo y humedad del grano. Se cosechó todas las mazorcas de cada parcela, posteriormente se realizó el conteo del número total de mazorcas cosechadas en cada parcela y la evaluación del aspecto de la misma.

3.5. Variables evaluadas

Para la caracterización de las líneas se tomaron diferentes parámetros tanto en la planta y mazorca, que se mencionan posteriormente. Para la toma

de datos de cada variable, se basó de acuerdo al manual gráfico para la descripción varietal en maíz (*Zea mays* L.) (SNICS, 2010).

3.5.1. Emergencia

El día de emergencia se tomó cuando por parcela ya había el 75% de plantas emergidas.

3.5.2. Área foliar

Con los datos de longitud y ancho de la hoja se determinó el área foliar (Montgomery, 1911). Primeramente, se tomaron datos de longitud y ancho de la primera hoja de la planta a los 21 DDS. Con una regla de 30 cm, se midió la longitud (cm) desde el ápice de la hoja hasta donde termina la vaina. De la misma hoja, se midió la distancia entre los bordes en la parte central del ancho de la hoja.

3.5.3. Color de vaina

La identificación de la coloración por antocianinas en la vaina se tomó a los 21 DDS. La intensidad se tomó en base a la escala 1, 3, 5, 7, 9, la escala 1 representa la coloración como ausente o muy débil, débil, media, fuerte y muy fuerte respectivamente. Posteriormente se hizo la transformación de los valores usando la fórmula $1/X$.

3.5.4. Altura de planta (cm)

Se realizó a los 99 DDS, midiendo la distancia (cm) que existe desde la superficie del suelo hasta el ápice de la espiga de la planta.

3.5.5. Altura de mazorca (cm)

Para medir la altura de mazorca, se midió la distancia desde la superficie del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior, esta actividad se realizó a los 99 DDS.

3.5.6. Floración masculina (DDS)

Se cuantificó como el número de días que transcurrieron desde la siembra hasta que cada parcela presentó el 75% de las plantas con liberación del polen.

3.5.7. Floración femenina (DDS)

Se cuantificó como el número de días que transcurrieron desde la siembra hasta que exhibió los estigmas, cuando la parcela presentó el 75% de floración.

Con los días transcurridos de la floración masculina a la floración femenina, se restó inversamente (FF-FM), para así obtener el dato ASI (Antesis Silking Days).

3.5.8. Tipo de espiga

La posición de ramas laterales de la espiga se evaluó en la etapa de llenado de grano en base a la escala de 1, 3, 5, 7, 9, definidas como:

Escala 1: Ramas que se encuentra en forma rectilínea.

Escala 3: Ligeramente curvadas

Escala 5: Curvadas

Escala 7: Fuertemente curvadas.

Escala 9: Muy fuertemente curvada.

3.5.9. Ángulo inferior de la hoja de la mazorca (°)

El ángulo se midió con un transportador geométrico de 360° a los 90 DDS. Se midió el ángulo formado entre la hoja que se encuentra debajo de la mazorca y el tallo. La transformación de los valores fue elevando al cuadrado el valor real (X^2) (Steel y Torrie, 1960).

3.5.10. Ángulo superior de la hoja de la mazorca (°)

Se tomó la medida entre el tallo y la lámina de hoja ubicada en la parte posterior de la mazorca, con un transportador geométrico de 360° a los 90 DDS. La transformación de los valores fue elevando al cuadrado el valor real (X^2) (Steel y Torrie, 1960).

3.5.11. Diámetro del tallo (mm)

Este parámetro se midió a los 105 DDS, con un vernier digital de 4" (BLUE-V4). Se midió el diámetro de la parte media del entrenudo en donde se encuentra insertada la mazorca superior.

3.5.12. Número de mazorcas cosechadas

Después de la cosecha, se hizo el conteo de mazorcas obtenidas por parcela.

3.5.13. Aspecto de la mazorca

Después de la cosecha de las mazorcas se colocaron en hilera, para evaluar el aspecto de la mazorca, tomando en cuenta la pudrición por hongos, usando escala de 1-5. Escala 1= sin presencia de pudrición, uniformidad en la mazorca y la escala 5 como mazorcas con pudrición y mala uniformidad.

3.5.14. Longitud de mazorca (cm)

Se tomaron al azar cinco mazorcas de cada parcela, con una regla métrica de 30 cm, y se midió la distancia de la base al ápice de la mazorca.

3.5.15. Diámetro de mazorca (mm)

Para tomar el dato de este parámetro, se seleccionaron cinco mazorcas por parcela, con un vernier digital de 4" (BLUE-V4 ®Truper). Se midió el diámetro en la parte media de la mazorca.

3.5.16. Numero de hileras por mazorca

Se cuantificó en cinco mazorcas tomadas al azar de cada parcela y se registró como el número absoluto de hileras. Se contaron las hileras en la parte media de la mazorca.

3.5.17. Numero de granos por mazorca

Para realizar el conteo de número de granos, se seleccionó una hilera de la mazorca y se contó el número de granos que tenía desde la base hasta el ápice de la mazorca. Se tomaron datos de cinco mazorcas por parcela.

3.5.18. Rendimiento de grano

Se desgranaron todas las mazorcas de cada parcela, se tomó el peso y se midió la humedad del grano, luego se ajustó al 14%, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{10,000 \text{ m}^2 * (100 - \text{Moi})}{\text{APU} * 0.86 * 1000}$$

Dónde:

FC= Factor de conversión a ton ha-1 al 14% de humedad.

APU= Área de parcela útil (distancia entre surcos * longitud de surco * número de surcos).

0.86= Constante para obtener el rendimiento al 14% de humedad (complemento para el 100%).

1000= Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha-1.

10,000 m²= Superficie equivalente a una hectárea.

Moi= humedad de campo registrada en cada parcela.

En el factor de conversión obtenido (FC) se multiplicó por el peso de campo de cada parcela para obtener el rendimiento por hectárea. Como el número de plantas por unidad experimental fue diferente, se hizo ajuste por covarianza, tomando como covariables el número de plantas, número de mazorcas por parcela, número de hileras por mazorca, y el diámetro de la mazorca.

3.6. Análisis estadístico

Análisis de varianza. Se realizó un análisis de varianza en SAS versión 9.4, (2013) en un diseño de bloques incompletos. Como se muestra a continuación

$$Y_{ijk} = \mu + R_j + L_i + B/R(k_j) + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Es la respuesta de la i-ésima línea, evaluada en el k-ésimo bloque, en la j-ésima repetición.

μ = Es el efecto de la media general

R_j = Es el efecto de la j-ésima repetición

L_i = Es el efecto de la i-ésima línea

B_k = Es el efecto del k-ésimo Bloque

ε_{ijk} = Es efecto del Error experimental

Análisis de componentes principales (ACP). Como herramienta de caracterización, se utilizó el ACP, el cual permite transformar las variables originales en nuevas variables lineales no correlacionadas. Para tal efecto los datos se procesaron en SAS v.9.4. (2013).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza (cuadro 4.1), las variables AF, CoVa, FM, FF, DT, NMz, LMz, DMz, HMz, GHi, fueron altamente significativas ($P < 0.01$) en los tratamientos a excepción de la variable AsMz la cual fue significativa. Lo anterior se debe a que dos de los genotipos usados como testigos, son plantas de mayor altura, con mayor ángulo de hoja inferior y superior, espigas ramificadas, en tanto las de tipo Sugary 2 son plantas de porte bajo, precoces y de hojas volcadas. Entre los genotipos tipo braquítico, se observó una gran variación, tanto en altura planta que osciló de 75 cm a 185 cm, lo mismo para la altura de mazorca. Como era de esperarse, las plantas braquíticas presentaron hojas preferentemente erectas y semierectas (Sámamo, 2009), y con una importante variación en el área foliar, de color intenso (Anderson y Chow, 1960) y buen rendimiento.

En cuanto al coeficiente de variación, con excepción de las variables TEs, AsMz y ASI, el resto fueron menores del 15% (Falconer, 1978).

Del total de genotipos evaluados, 10 mostraron un rendimiento significativamente superior al resto, donde el REN oscila de 3,448 a 4,342 Kg ha⁻¹, superiores a la media general (Cuadro 4.2). Este grupo se caracteriza por ser de porte bajo, con excepción de las líneas EN-01-3 y EN-02-14, con tipo de espiga compacto y menor ángulo de las hojas Inferior y Superior de la mazorca. Destacan las líneas **EN-05-9** y **EN-07-12** con mayor rendimiento, sin embargo, la línea EN-05-9 además mostró el mejor aspecto de la mazorca (AsMz) y la mayor dimensión de la misma. Lo anterior confirma que este tipo de plantas por su estructura pueden ser más eficientes que las normales (Katta y Castro,

1970). Estas líneas pueden usarse como progenitoras hembras para la producción de semillas híbridas de acuerdo con lo que menciona Espinosa *et al.* (2002).

Cuadro 4.1 Análisis de varianza de 96 líneas de maíz tipo braquíptico. UAAAN-UL 2016.

FV	GL	AF	CoVa	AP	AMz	ASI	TEs	AnHS	AnHÍ
Rep	2	6.87	0	537.92	34.08	24.30	0.26	0.47	0.18
Trat	94	8.95 **	0.05 **	1394.52 **	418.56 **	16.04**	2.9 **	1.79 **	0.96 **
Blo(Rep)	21	1.96	0	114.44	27.92	5.12	0.74	0.38	0.07
Error	167	1.37	0	73.37	25.9	3.74	0.65	0.18	0.23
CV (%)		10.62	12.86	7.63	14.39	42.45	34.06	10.09	8.17
Media		11.03	0.17	112.28	35.36	6.79	2.38	4.24	5.93
FV	GL	DT	NMz	AsMz	LMz	DMz	HMz	GHi	REN
Rep	2	9.34	110.32	1.4	0.62	14.69	0.2	94.47	602841.3
Trat	94	2.26 **	37.74 **	0.91 *	2.65 **	21.97 **	5.99 **	28.92 **	1505852.8 **
Blo(Rep)	21	1.44	21.99	0.69	1.06	4.34	0.47	24.1	82602
Error	167	0.9	13.38	0.62	0.53	3.38	0.58	6.25	80974.9
CV (%)		8.04	17.12	22.81	5.89	5.25	5.82	8.83	11.78
Media		11.8	21.36	3.45	12.35	34.98	13.13	28.29	2416.01

Significancia de probabilidad al 0.05 (*)= Significativo, 0.01 (**)= Altamente Significativo y NS= No Significativo. FV= Fuente de Variación, AF= Área Foliar, CoVa= Coloración de Vaina, AP= Altura Planta, AMz= Altura de Mazorca, ASI= Antesis Silfing Days, TEs= Tipo de Espiga, AnHS= Ángulo de Hoja Superior, AnHI= Ángulo de Hoja Inferior, DT= Diámetro del Tallo, NMz= Número de Mazorca, AsMz= Aspecto de Mazorca, LMz= Longitud de Mazorca, DMz= Diámetro de Mazorca, HMz=Hilera por Mazorca, GHi= Granos por Hilera, REN= Rendimiento.

Cuadro 4.2 Promedio de las variables morfológicas de la planta y mazorca, de 10 genotipos con mayor rendimiento en maíz. UAAAN-UL 2016.

Genealogía	AF cm²	CoVa	AP Cm	AMz Cm	ASI Día	TEs ()	AnHS (°)	AnHI (°)	DT mm	NMz	AsMz ()	LMz cm	DMz mm	HMz	GHi	REN Kgha⁻¹
EN-05-9	11.14	9	162.13	53.27	5.7	3.0	20.8	41.5	12.2	23.0	4.0	14.0	40.7	14.1	28.4	4,343
EN-07-12	12.66	7	105.33	32.93	7.3	3.0	12.7	35.7	12.6	23.0	2.7	12.1	37.7	13.5	26.4	4,027
EN-03-1	11.00	7	114.07	33.6	5.0	2.3	14.5	29.2	11.1	23.7	2.7	11.9	38.8	14.1	30.6	3,888
EN-08-8	10.84	7	97.67	29.6	5.7	1.0	16.7	41.5	11.6	25.3	2.3	13.0	34.6	11.6	31.5	3,762
EN-01-3	15.77	5	185.87	73.67	8.7	3.0	17.3	33.3	12.7	20.0	3.7	14.8	36.6	14.1	31.9	3,740
EN-02-14	13.91	7	153.87	55.47	6.7	3.0	20.8	31.3	13.0	18.0	3.3	13.8	36.3	13.2	31.1	3,679
EN-04-3	11.20	8	97.20	33.93	6.3	1.7	22.5	35.0	11.4	22.3	2.3	12.8	37.4	14.7	32.0	3,613
EN-06-9	12.61	9	120.13	41.93	7.0	1.0	15.3	32.0	10.7	21.3	3.0	11.9	38.9	13.1	29.7	3,499
EN-01-5	13.84	5	116.60	41.67	2.7	1.0	10.5	33.0	11.4	17.3	2.3	12.3	36.6	12.8	26.5	3,452
EN-08-9	11.98	9	93.93	26.47	5.0	1.7	17.8	28.8	11.6	25.3	3.0	11.5	37.1	15.1	26.7	3,448
Media	11.03	6	112.28	35.36	6.8	2.4	18.2	35.1	11.8	21.4	3.5	12.3	35.0	13.1	28.3	2,406
DMS (5%)	4.19	2	30.6	18.18	6.9	2.9	14.3	21.1	3.4	13.1	2.8	2.6	6.6	2.8	9.5	1,025

DMS= Minimum Significant Difference, AF= Área Foliar, CoVa= Coloración de Vaina, ColLH= Coloración de la Lámina de Hoja, Unif= Uniformidad, AP= Altura Planta, AMz= Altura de Mazorca, ASI= Antes de Silking Days, FM= Floración Masculina, FF= Floración Femenina, TEs= Tipo de Espiga, DMS= , AnHS= Ángulo de Hoja Superior, AnHI= Ángulo de Hoja Inferior, DT= Diámetro del tallo, NMz= Número de Mazorca, AsMz= Aspecto de Mazorca, LMz= Longitud de Mazorca, DMz= Diámetro de Mazorca, HMz= Hileras por Mazorca, GHi= Granos por Hileras, REN= Rendimiento.

El análisis de componentes principales (ACP), extrajo cinco componentes significativamente mayores a la unidad, acumulando una varianza de 73% del total de los datos (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3 Varianza acumulada de los componentes de 96 genotipos. UAAAN-UL 2016.

Núm. de componente	Valor propio	Varianza	Varianza acumulada
1	4.03	0.2685	0.2685
2	2.78	0.1854	0.4539
3	1.85	0.1235	0.5774
4	1.26	0.0838	0.6612
5	1.15	0.0764	0.7376

El componente 1, resultó ser una función lineal de la dimensión de mazorca (DMz, HMz) y variables relacionadas a la hoja y espiga (CoVa, AnHS, AnHI, TEs) (Cuadro 4.4) con una varianza acumulada de 26.85 por ciento de la varianza. El componente 2, con el 18.45 por ciento de la varianza, resulto ser una función lineal de AP, AMz, LMz, GHi y REN (Cuadro 4.4). El CP2 resulta ser un complemento del CP1 y acumulan 45.39 por ciento de la varianza total de los datos (Cuadro 4.3). El tercer componente principal se asocia con las variables ASI, GHi, REN y CoVa (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4 Importancia relativa de las variables por componente de 96 genotipos. UAAAN-UL 2016.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
AP	0.22	0.48	0.07	0.06	0.24
AMz	0.12	0.48	0.10	0.08	0.29
AF	-0.20	0.31	0.20	-0.25	0.06
ASI	0.19	0.18	-0.41	0.07	0.27
LMz	0.10	0.39	-0.27	-0.12	-0.30
DMz	-0.31	0.18	0.29	0.39	-0.08
HMz	-0.23	-0.01	0.02	0.71	-0.12
GHi	-0.10	0.32	-0.42	0.12	-0.31
NMz	-0.19	-0.01	0.27	-0.20	0.45
REN	-0.27	0.30	0.34	0.00	-0.08
CoVa	-0.30	0.06	-0.32	-0.08	0.21
AnHS	0.43	0.02	0.23	0.07	-0.18
AnHI	0.40	-0.02	0.24	0.06	-0.19
TEs	0.35	0.09	0.14	0.11	0.03
AsMz	0.17	-0.16	-0.14	0.41	0.51

AP= Altura Planta, AMz= Altura de Mazorca, AF= Área Foliar, ASI= Atesis Silking Days, LMz= Longitud de Mazorca, DMz= Diámetro de Mazorca, HMz=Hilera por Mazorca, GHi= Granos por Hilera, NMz= Número de Mazorca, REN= Rendimiento, CoVa= Coloración de Vaina, AnHS= Ángulo de Hoja Superior, AnHI= Ángulo de Hoja Inferior, TEs= Tipo de Espiga, AsMz= Aspecto de Mazorca.

De acuerdo a la varianza acumulada, los componentes CP1 y CP2 se utilizaron para generar el gráfico de dispersión (Figura 1). Ambos componentes, utilizan 12 de las 15 variables medidas y por lo tanto resultan una herramienta útil para la caracterización de los genotipos. En la gráfica de dispersión se muestra el agrupamiento de los 96 genotipos evaluados donde se identifican tres grupos: un grupo formado por los genotipos 92, 93, 94, 96 (SU-2015-04, SU-2015-05, SU-2015-06, OA-010-1- C-09), que corresponden a los testigos incluidos en el estudio. El agrupamiento de estos genotipos se debe a las características de ángulo de hoja y tipo de espiga, así como rendimiento que contrasta con el resto de los genotipos. En la figura 2, estos genotipos están orientados en el primer cuadrante con los vectores variables antes citados (AngHojaInfe, AngHojaSup, Tesp), además están ubicados en sentido contrario

a la variable de rendimiento ajustado, por lo que se infiere que también se caracteriza por su menor rendimiento de grano.

El segundo grupo está constituido por diez genotipos, EN-01-3, EN-02-14, EN-02-16, EN-02-19, EN-03-3, EN-04-8, EN-05-9, EN-05-12, EN-06-2, EN-06-6 (2, 18, 20, 22, 25, 40, 51, 53, 57, 60), los cuales se caracterizan por su mayor rendimiento de grano, DMz, AFoliar, GranHil y AP, como se observa en la figura 2 para los vectores variables correspondientes, influenciados por el componente 2.

El resto de los genotipos, donde se agrupan los 82 restantes, que representan en cierta manera el 85.4 por ciento, se caracterizan por ser genotipos de porte bajo, hojas erectas, de espiga corta y compacta. Dentro de este grupo sobresalen ocho genotipos con mayor rendimiento promedio, que se caracterizan por tener mazorcas con donde las variables DMz, HilMaz y NMz, están más acentuadas además por su menor ángulo de hoja y espiga compacta.

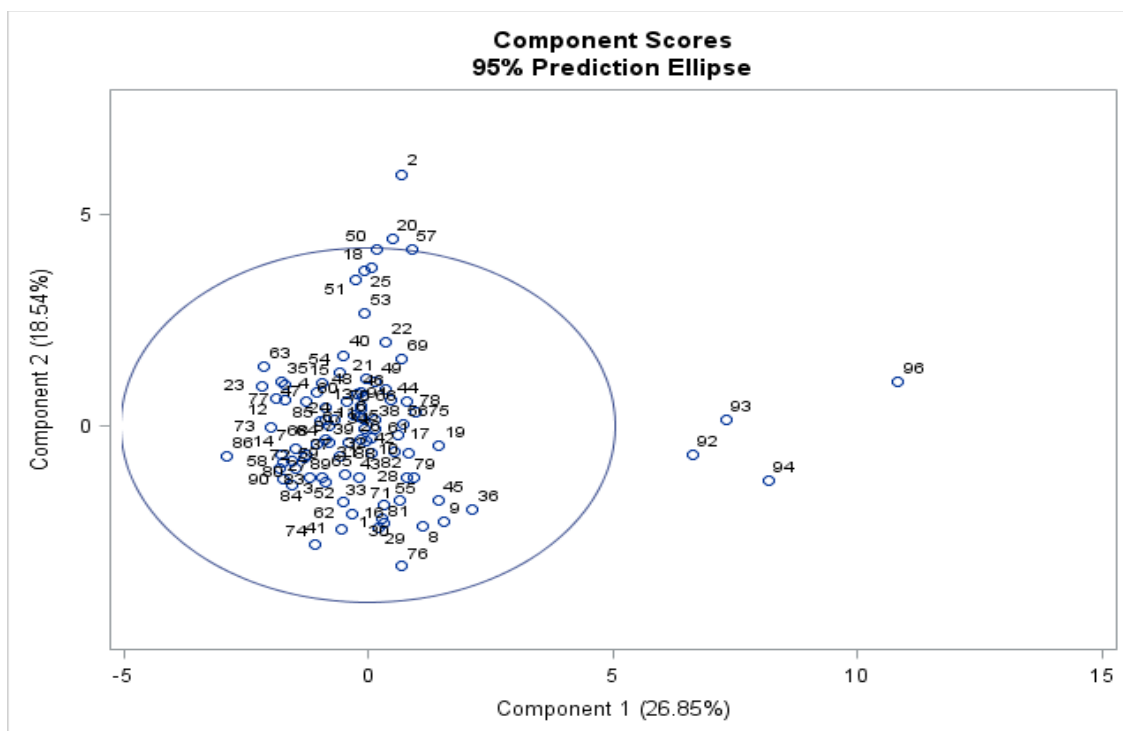


Figura 4.1 Gráfico de dispersión del componente 1 con componente 2, de los 96 genotipos de maíz. UAAAN-UL 2016.

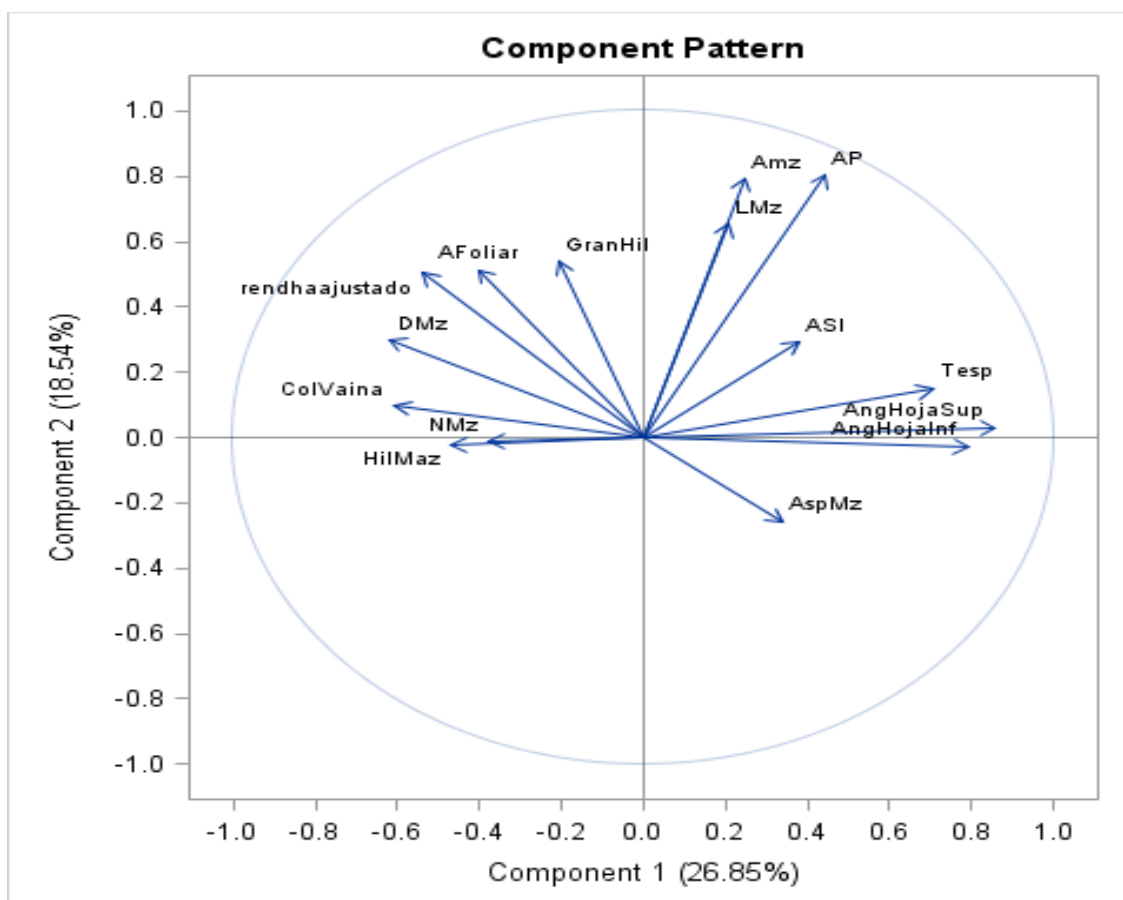


Figura 4.2 Gráfica de Vectores variables del componente 1 con componente 2, de 96 genotipos de maíz. UAAAN-UL 2016.

V. CONCLUSIONES

Las 96 líneas fueron significativamente diferentes en cuanto a las variables evaluadas, AF, CoVa, AP, AMz, ASI, TEs, AnHS, AnHI, DT, NMz, AsMz, LMz, DMz, HMz, GHi, REN.

El análisis de componentes principales arrojó una acumulación de varianza del 73% del total de los datos en los primeros cinco componentes.

El componente 1 y 2 agrupo a 12 de las 15 variables. El componente uno (CP1) estuvo compuesta de las variables, coloración de vaina, ángulo hoja superior e inferior de la mazorca, tipo de espiga, diámetro e hilera de mazorca. El componente dos (CP2) agrupó a las variables altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, granos por hilera y rendimiento.

El gráfico Biplot y vectores lineales, agrupo a los genotipos en tres grupos, el primer grupo estuvo conformado por los genotipos SU-2015-04, SU-2015-05, SU-2015-06, OA-010-1 C-09, por el mayor ángulo de hoja inferior y superior de la mazorca, y por el tipo de espiga muy ramificada.

El segundo grupo agrupado por mayor altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, área foliar y granos por hilera. En el tercer grupo estuvo influenciado por el rendimiento, diámetro de mazorca, numero de mazorca e hileras por mazorca.

De los genotipos evaluados, el rendimiento medio es de 2406 Kg ha⁻¹, 20 líneas produjeron mayor de 3,000 Kg ha⁻¹, de las cuales se seleccionaron 10 líneas con mayor rendimiento, sobresaliendo la línea EN-05-9 con un rendimiento de 4,343 Kg ha⁻¹.

VI. BIBLIOGRAFIA

Ackerson, R.C. 1983. Comparative physiology and water relations of two com hybrids during water stress. *Crop Science*, Madison. 23 (1):278-283.

Acquaah, G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. Breeding self-pollinated species. 2 ed. Wiley-Blackwell. pp. 303-335.

Allard, R. W.1960. Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons, Inc. New York. London. p. 485.

Anderson, J.C., and P.N. Chow. 1960. Phenotypes and grain yield associated with br2 gene in single cross hybrids of dent corn. *Crop Science*. 1:335-337.

Arboleda R., F. 1972. Differential response of maíz (*Zea mays* L.) to mass selection in diverse selection environments. Thesis. Ph. D. University of Nebraska. 106 p.

Arboleda R., F., D. Sarria V., y S. Muñoz G. 1973. Resultados preliminares de conversión de maíces normales en braquíuticos En: Quinta Reunión de Maiceros de la Zona Andina, Cochabamba, Bolivia. pp. 273-277.

Arcos, A.L. 2014. Comparación del Comportamiento Agronómico de Híbridos de Maíz Obtenidos con Líneas Doble Haploides y con Líneas Autofecundadas. Tesis. Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 1-93 pp.

Arellano, J.L., J. Virgen, y M.A. Ávila. 2010. H-66 Híbrido de maíz para los Valles Altos de los estados de México y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(2):257-262.

Arnhold, E., J.M. Soriano V., F. Mora, G. Vieira M., and R. Gonçalves S. 2010. Inbreeding depression and genetic components for popping expansion

and other traits in Brazilian populations of popcorn. *Ciencia e investigación agraria*. 37 (3):125-132.

Astete M., F.A., and J.B. de Miranda F. 2002. Inbreeding depression in maize populations of reduced size. *Scientia Agrícola*. 59(2):335-340.

Bejarano, A. 2003. Descripción y prueba del híbrido simple de maíz amarillo FONAIAP 1. *Agronomía Tropical*. 53 (4): 61-69. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000400007&lng=es&tlng=es (Fecha de consulta 12/nov/2017).

Bejarano, A., V. Segovia y C. Marín. 2000. Evaluación de cruzamientos simples de maíz provenientes de líneas con tres niveles diferentes de endocría. *Agronomía Tropical*. 50 (3):461-476.

Bernardo, R. 1992. Retention of genetically superior lines during early generations testcrossing of maize. *Crop Science*. 32:933-937.

Bonamico, N., J. Aiassa, M. Ibañez, M. Di Renzo, D. Díaz y J. Salerno. 2004. Caracterización y clasificación de híbridos simples de maíz con marcadores SSR. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 33 (2):129-144.

Camacho, R.G., O. Garrido, y M.G. Lima. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Scientia Agrícola*. 52 (2): 294-298.

Cassani, E., M. Durante, M. Landoni, R. Pilu, and D. Villa. 2010. The brachytic 2 and 3 maize double mutant shows alterations in plant growth and embryo development. *Plant Growth Regulation*. 64 (2):185-192.

Cervantes S., T. 1986. Mejoramiento genético de maíz a través de irradiación recurrente y selección masal. In: Seminario uso de la Irradiación en Fitomejoramiento. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México. pp. 67-81.

Cervantes S., T., M. A. Oropeza R. y D. Reyes L. 2002. Selección para rendimiento y heterosis de líneas endogámicas de maíz irradiado. *Agrociencia*. 36:421-431.

Chase, S. S. 1969. Monoploids and monoploid-derivatives in maize (*Zea mays* L.). *The Botanical Reviews*. 35:117-167.

Chávez A., J.L. 1995. Mejoramiento de Plantas 2. Hibridación en maíz. Primera ed. Ed. Trillas. México, D. F. p. 94.

CIMMYT. 1967-1968. Informe sobre avances hacia el aumento de rendimientos de maíz y trigo. D. F., México. 1-99 pp.

Clucas, C.P., and A.R. Hallauer. 1986. Selection among and within S1 lines of maize on S2 line and testcross performance. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*. 93(4):178-183.

Coe, E.H, and K.R. Sarkar. 1964. The detection of haploids in maize. *Journal of Heredity*. 55:231-233.

Coutiño E., B., and V. A. Vidal M. 2003. Grain yield stability of corn hybrids using best linear unbiased predictors. *Agrociencia* 37:605-616.

Dudley J., W. 1984a. A method for identifying populations containing favorable alleles not present in elite germplasm. *Crop Science*. 24:1053-1054.

Dudley, J. W. 1984b. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. *Crop Science*. 24:355-357.

Duvick, D.N. 1992. Genetic contributions to advances in yield of U. S. maize. *Maydica*. 37:69-79.

Escorcía G., N., J. Molina G., F. Castillo G., y J. Mejía C. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruces simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33 (3):271-279.

Espinosa C., A., J. Ortiz C., A. Ramírez F., N. O. Gómez M., A. Martínez G. 1998. Estabilidad y comportamiento de líneas per se y cruces de maíz en la producción de semilla. *Agricultura Técnica en México*. 24 (1):27-36.

Espinosa, A., M. Sierra M., y N. Gómez M. 2002. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana* 14 (1):117-121.

Falconer, D.S y L. Ljung, 1978. Application of Fast Kalman Estimation to Adaptive Equalization. *Communications, IEEE Transactions. Commun., COM-26:1439-1446.*

Falconer, D.S. 1964. *Introduction to quantitative genetics*. 2 ed. New York: Ronald Press.

Falconer, D.S. 1989. *Introduction to quantitative genetics*. 3 ed. Longmans Green. New York, USA. p. 340.

Falconer, D.S., and T.F.C. Mackay. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4 ed. Longman Green, England, pp. 235-240.

Fan, X. M., J. Tan, H.M. Chen, and J.Y. Yang. 2003. Heterotic grouping for tropical and temperate maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica*. 48:251-257.

Galović V., S. Mladnovic D., J. Navalušić and M. Zlokolica. 2006. Characterization methods and fingerprinting of agronomically important crop species. *Genetika*. 38 (2):83-96.

Gama, E.G.E, and A.R. Hallauer. 1977. Relation between inbred and hybrid traits in maize. *Crop Science*. 17:703-706.

García Z., J., J. Molina G. y J. López R. 2002. La selección masal como método para obtener líneas de alta aptitud combinatoria específica en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25 (3):299-304.

Gardner, E. J. 1979. *Principios de genética*. 5 ed. Limusa. México. pp. 9-15.

Geiger, H.H., and G.A. Gordillo. 2009. Doubled haploids in hybrid maize breeding. *Maydica*. 54:485-499.

Genter, C.F. 1973. Comparison of S1 and testcross evaluation after two cycles of recurrent selection in maize. *Crop Science*. 13:524-527.

Genter, C.F., and M.W. Alexander. 1962. Comparative performance of S1 progenies and test-crosses of corn. *Crop Science*. 2:516-519.

Genter, C.F., and M.W. Alexander. 1964. Recurrent selection based on S1 line progeny yield in maize. *Amer. Soc. Agron. Abstr.* p. 67.

Goldringer, I., P. Brabant, and A. Gallais. 1997. Estimation of additive and epistatic genetic variances for agronomic traits in a population of doubled haploid lines of wheat. *Heredity*. 79:60-71.

González, G.J., J.D. Molina y A. Martínez. 1990. Implicación del rendimiento per se y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la producción de cruas simples de alto rendimiento. *Agrociencia, Serie Fitociencia*. 2:29-42.

Good, R.L., and A.R. Hallauer. 1977. Inbreeding depression in maize by selfing and full-sibbing. *Crop Science*. 17:935-940.

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

Gutiérrez D., E., A. Palomo G., A. Espinoza B., y E. De la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 25 (3):271-277.

Hallauer, A.R. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica.* 35:1-16.

Hallauer, A.R. and E. López P. 1979. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. *Proc. Annu. Corn Sorghum Ind. Res. Conf.* 34:57-72.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda F. 1985. Quantitative genetics in maize breeding. University Press, Iowa State. USA. p. 468.

Hallauer, A.R., and J.B. Miranda F. 1988. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2 ed. Iowa, Ames. USA: Iowa State University Press. pp. 309-315.

Hallauer, A.R., and J.H. Sears. 1973. Changes in quantitative traits associated with inbreeding in a synthetic variety of maize. *Crop Science.* 13:327-330.

Hallauer, A.R., M. Carena, and J.B. Miranda F. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Springer. New York Inc. p. 664.

Hernández, A., F. San Vicente., R. Figueroa R. 2010. Evaluación y caracterización de líneas parentales de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en tres ambientes de Venezuela. *Interciencia.* 35 (4):290-298.

Hooley, R. 1994. Gibberellins: perception, transduction and responses. *Plant Molecular Biology.* 26:1529-1555.

INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx> (Fecha de consulta 28/11/2017).

Jenkins, M.T. 1935. The effects of inbreeding and of selection withing inbred lines of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. Iowa State Coll. Jour Science. 3:429-450.

Jensen, S.D.; W.E. Kuhn, and R.L. McConnell. 1983. Combining ability studies in elite U.S. maize germplas. Proc. Annu. Corn and Sorghum Ind. Research Conference. 38:87-96.

Jones, D.F. 1939. Continued Inbreeding in Maize. Genetics. 24(4):462-473.

Katta, J.S., and M.G. Castro. 1970. Some reasons for depressed yield in dwarf corn. Maize Genetics News Letter. 48:21-25.

Kempthorne, O., and R. Curnow N. 1961. The partial diallel cross. Biometrics. 17:229-250.

Kgasago, H. 2006. Effect of planting dates and densities on yield and yield components of short and ultra-short growth period maize (*Zea mays* L.). Thesis of M. Inst. Agrar: Agronomy. University of Pretoria. 108 p.

Kriedmann, P.E. and H.D. Barrs.1983. Photosynthetic adaptation to water stress and implications for drought resistance. In: Crop reactions to water and temperature stresses in humid and temperate climates. Westview Press. Boulder. pp. 201-230.

Lambert, R.J. 1963. Location of branchytic-2 dwarf. Maize Genetics Coop. Newsl. 37:41-42.

Lamkey, K.R., and A.R. Hallauer. 1986. Performance of high x high, high x low, and low x low crosses of lines from the BSSS maize synthetic. Crop Science. 26:1114-1118.

Lamkey, R.L., B. Schnicker, and T. Gocken. 1993. Choice of source population for inbred corn development. Proc. Annu. Corn and Sorghum. Ind. Res. Conf. 48:91-103.

Lee, E.A. and L.W. Kannenberg. 2004. Effect of inbreeding method and selection criteria on inbred and hybrid performance. Maydica. 49:191-197.

Lima, M., J.B. Miranda F., and P.B. Gallo. 1984. Inbreeding depression in Brazilian populations of maize (*Zea mays* L.). Maydica. 29:203-215.

Liu, W., M.Y. Zheng, E.A. Polle, and C.F. Konzak. 2001. Highly efficient-haploid production in wheat (*Triticum aestivum* L.) via induced microspore embryogenesis. Crop Science. 42:686-692.

Lonnquist, J.H., and M.F. Lindsey. 1964. Topcross versus S1 line performance in corn (*Zea mays* L.). Crop Science. 8:50-53.

López P., M.A. y A. Espinosa C. 1993. Análisis económico de la producción y uso de semilla mejorada de maíz. El caso de México, In: Resúmenes de la XXXIX Reunión Anual del PCCMCA. Guatemala, Guatemala. pp. 69.

Lucchesi, A.A. 1987. Fatores da produção vegetal. In: Ecofisiologia da produção agrícola. Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. (Ed.) Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. pp. 1-11.

Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal II. Métodos, Teoría, Resultados. AGT EDITOR, S.A. México. pp. 472-665.

Márquez S., F., 2007. ¿Para qué sirve la endogamia?. Comunicaciones libres. Ciencia. pp. 72-78.

Matzinger, D.F. 1953. Comparison of three types of testers for the evaluation of inbred lines of corn. Agronomy Journal. 45:493-495.

Mayor, P.J. and R. Bernardo. 2009. Genome wide selection and marker-assisted recurrent selection in doubled haploid versus F2 populations. *Crop Science*. 49:1719-1725.

Meghji, M.R., J.W. Dudley, R.J. Lambert, and G.F. Sprague. 1984. Inbreeding depression, inbred and hybrid grain yields, and other traits of maize representing three eras. *Crop Science*. 24:545-549.

Méndes A., A., L. Carlini G., A. Resende S., M. Figueireido S., A. Franco G., and C. López S. 2003. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. *Sci. Agric*. 60:83-89.

Miranda F., J.B. 1999. Inbreeding depression and heterosis. In: *Genetic and exploitation of heterosis in crops*. Madison: American Society Agronomy. pp. 69-80.

Molina G., J. D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa: algunas implicaciones en genotecnia. AGT. México.

Montgomery, E.G. 1911. Correlation studies in corn. Nebraska. *Agr. Exp. Sta. Annu. Rep.* 24. pp.108-159.

Nanda, D.K., and S.S. Chase. 1966. An embryo marker for detecting monoplasts of maize (*Zea mays* L.). *Crop Science*. 6:213-215.

Nass, L.L., and J.B. Miranda F. 1995. Inbreeding depression rates of semi-exotic maize (*Zea mays* L.) populations. *Revista Brasileira de Genética*. 18:585-592.

Ordas B., M. Caicedo, M. Cinta Romay, P. Revilla and A. Ordas. 2012. Effect of visual selection during the development of inbred lines of maize. *Crop Science*. 52:2538-2545.

Oropeza R., M.A. 1997. Aptitud combinatoria de líneas S1 de maíz Zacatecas 58 original y mejorada por selección masal. Tesis. Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 154 p.

Pérez L., F.J., R. Lobato O., J. de J. García Z., J.D. Molina G., J. de J. López R., and T. Cervantes S. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitoras de híbridos de crusa simple. *Agrociencia*. 48 (4):425-437.

Poehlman, J.M. 1987. *Breeding field crops*. 3 ed. VI Publishing company. Westport, Connecticut, USA. p. 715.

Poehlman, J.M., 1992. Mejoramiento genético del maíz. En: *Mejoramiento genético de las cosechas*. Ed. Limusa, S.A. de C.V. México, D.F.

Prasanna, B.M., V. Chaikam y G. Mahuku. 2013. *Tecnología de dobles haploides en el mejoramiento de maíz: Teoría y práctica*. México, D.F.: CIMMYT. 1-48 pp.

Puertas, G.M. 1992. *Genética Fundamentos y Perspectivas*. McGraw-Hill. España. p. 741.

Raygoza A., J.M. 2000. *El sembrador de Mario Castro Gil*. Buenavista, Saltillo. México. 32-39 pp.

Reyes L., D., J. Molina G., M. Oropeza R., y E. Moreno P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27:49-56.

Reyes, C.P. 1990. *El Maíz y su Cultivo*. Ed. AGT. México, D. F. p. 460.

Robertson, A. 1960. A theory of limits in artificial selection. *Proc. Royal Soc. London*. 153:234-239.

Robles, S.R. 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. Ed. Limusa. México, D. F.

Rosa L., A. De la, H. De León C., F. Rincón S., y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al Bajío Mexicano. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29 (3):247-254.

Rowe, P.R. and R.H. Andrew. 1964. Phenotypic stability for a systematic series of corn genotypes. *Crop Science*. 4:562-567.

Russell, W.A. 1991. Genetic improvement of maize yield. *Adv. Agron*. 46: 245-298.

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

San Vicente, F. 2007. Desafíos y avances en el desarrollo de híbridos simples de maíz en Venezuela. XIII curso sobre producción de maíz. Asoportuguesa. Venezuela.

San Vicente, F., S. Kumar V., S. Douglas M., S. Kumar R. y M. Barandiaran. 1999. Comportamiento de líneas tropicales precoces de maíz en condiciones de sequía. *Agronomía Tropical*. 49(2):135-154.

Sánchez, J.J., M.M. Goodman, and C.W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.

Scott, G.E., and C.E. Campbell. 1969. Internode length in normal and brachytic-2 maize inbreds and single crosses. *Crop Science*. 9:293-295.

Seitz, G. 2005. The use of doubled haploids in corn breeding. In: Proceedings of the 41st annual Illinois corn Breeders' School 2005, Urbana-Champaign. pp. 1-7.

Shull, G.H., 1908. The composition of a field of maize. Am. Breeders Assoc. Rep. 4:296-301.

Shull, G.H., 1909. A pure line method of corn breeding. Am. Breeders Assoc. Rep. 5:51-59.

Singh, A.K., T.K. Coleman, M.T. Tollenaar, and E.A. Lee. 2011. Nature of the genetic variation in an elite maize breeding cross. Crop Science. 51:75-83.

Smith, I.S.C. and O.S. Smith. 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize. 2: The use of morphological traits as descriptors. Maydica. 34:141-150.

Smith, O.S. 1986. Covariance between line per se and testcross performance. Crop Science. 26:540-543.

SNICS, Colegio de Postgraduados. 2010. Manual gráfico para la descripción varietal en maíz (*Zea mays* L.). 2da edición. 1-54 pp.

Soengas P., B. Ordás, R.A. Malvar, P. Revilla and A. Ordás. 2003. Performance of flint maize in crosses with testers from different heterotic groups. Maydica. 48:85-91.

Sprague G., F., and A. Tatum L. 1942. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. Jour. Amer. Soc. Agron. 34:923-932.

Sprague G., F., and S. Eberhart A. 1977. Corn and Corn Improvement. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. pp. 305-363.

Sprague, G.E. 1946. Early testing of inbred lines of corn. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 38:108-117.

Steel R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of Statistics. McGRAW-HILL. New York, Toronto, London. pp. 156-158.

Tolleenar, M. and J. Wu. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to great stress tolerance. *Crop Science.* 39:1597-1604.

Troyer, A.F. 1996. Breeding widely adapted popular maize hybrids. *Euphytica.* 92:163-174.

Troyer, A.F., and R.W. Rosenbrook. 1983. Utility of higher plant densities for corn performance testing. *Crop Science.* 23:863-867.

Vigouroux, Y., J.C. Glaubitz, Y. Matsuoka, M.M. Goodman, J. Sánchez, and J. Doebley. 2008. Population structure and genetic diversity of new world maize races assessed by DNA microsatellites. *Amer. J. Bot.* 95:1240-1253.

Virgen, V.J., R. Zepeda, J.L. Arellano, M.A. Ávila, y I. Rojas. 2013. Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. *Cienc. Tecnol. Agropec. Méx.* 1:26-32.

Vogler, H., and C. Kuhlemeier. 2003. Simple hormones but complex signalling. *Curr Opin Plant Biol.* 6:51-56.

Wall, G.W., and E.T. Kanemasu. 1990. Carbon dioxide exchange rates in wheat canopies. II. Photosynthetic and phytomass production efficiencies. *Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam.* 49:103-122.