



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GENÉTICA**

**COMPORTAMIENTO *PER SE* EN LÍNEAS S<sub>2</sub>  
DE MAÍZ (*Zea mays* L.) DE ALTO  
RENDIMIENTO**

**EDUARDO REYNOSO GARCÍA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

**2019**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y  
DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, **Eduardo Reynoso García**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección de la profesora **Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis “**Comportamiento *per se* en líneas S<sub>2</sub> de maíz (*Zea mays L.*) de alto rendimiento**” y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 3 de junio de 2019.



---

Eduardo Reynoso García

Vo. Bp.



---

Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

La presente tesis titulada "**Comportamiento *per se* en líneas S<sub>2</sub> de maíz (*Zea mays* L.) de alto rendimiento**", realizada por el alumno: **Eduardo Reynoso García**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERA

\_\_\_\_\_  
**DRA. MA. DEL CARMEN MENDOZA CASTILLO**

ASESOR

\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMÍREZ**

ASESOR

\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ AGAPITO PECINA MARTÍNEZ**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2019

# COMPORTAMIENTO *PER SE* EN LÍNEAS S<sub>2</sub> DE MAÍZ (*Zea mays* L.) DE ALTO RENDIMIENTO

Eduardo Reynoso García, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2019

## RESUMEN

La caracterización de 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz blanco, formadas a partir de 12 compuestos balanceados, se realizó con el objetivo de conocer su comportamiento agronómico, fenológico, morfológico y de rendimiento de grano para seleccionar las sobresalientes por sus características *per se*, mismas que continuarán el proceso de endogamia y serán posibles progenitores en la formación de híbridos que contribuyan a la producción de maíz en los Valles Altos del Centro de México. La evaluación de las líneas se hizo en cuatro experimentos bajo diseños látice 10 x 10 con tres repeticiones por lo que se formaron cuatro grupos de líneas. La selección se realizó mediante una prueba *per se*, y la valoración del potencial de rendimiento fue mediante la determinación de los componentes principales y la dispersión gráfica, permitiendo observar la variabilidad y la distribución de las líneas, apoyándose también con el análisis de varianza y la prueba de medias. El rendimiento de grano fue la característica que presentó mayor variación en los cuatro grupos de líneas; esta característica fue explicada por el peso individual de mazorca (Pmz) y el peso de la mazorca principal (Pmz1). Con base en las estimaciones, el intervalo de variación del rendimiento de grano de las 400 líneas fluctuó entre 0.2 y 11.1 t ha<sup>-1</sup>, pero en el grupo de las líneas sobresalientes (10 %) fluctuó desde 5.7 hasta 11.1 t ha<sup>-1</sup>. En las líneas sobresalientes, el peso de mazorca individual (Pmz) mostró una variación de 100 g hasta 228 g y el peso de mazorcas primarias (Pmz1) fue de 1.8 a 4.1 kg por unidad experimental. La prolificación fue una característica que aportó significativamente al rendimiento de grano de algunas líneas, así como longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso individual de mazorca, número de hileras, granos por hilera e índice de desgrane. Con base en los resultados y aplicando una presión de selección de 10 %, se cuenta con un grupo de 40 líneas seleccionadas por su alto potencial de rendimiento y con buenos atributos agronómicos, las que continuarán en el programa de fitomejoramiento.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., maíz, líneas endogámicas, prueba *per se*, selección.

## **PER SE PERFORMANCE IN MAIZE (*Zea mays* L.) HIGH YIELD S<sub>2</sub> LINES**

**Eduardo Reynoso García, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2019**

### **ABSTRACT**

The 400 S<sub>2</sub> lines characterization of white corn, formed from 12 balanced compounds, was carried out in order to know their agronomic, phenological, morphological and grain yield behavior to select the outstanding ones from their *per se* characteristics, which will continue the process of endogamy and possible progenitors in the formation of hybrids that contribute to the production of corn in the High Valleys of Central Mexico. The evaluation of the lines was done in four experiments under lattice designs 10 x 10 with three repetitions so that four groups of lines were formed. The selection was made through a *per se* test, and the evaluation of the yield potential was determined by the main components and the graphic dispersión analysis, allowing observe the variability and distribution of the lines, also supporting the analysis of variance and the stocking test. Grain yield was the characteristic that presented the most variation in the four groups of lines; this character was explained by the individual weight of ear (Pmz) and the weight of the main ear (Pmz1). Based on the estimates, the grain yield variation range of the 400 lines fluctuated between 0.2 and 11.1 t ha<sup>-1</sup>, but in the group of the outstanding lines (10%) it fluctuated from 5.7 to 11.1 t ha<sup>-1</sup>. The prolificacion was a characteristic that contributed significantly to the yield of grain of some lines, as well as length of ear, diameter of ear, individual weight of ear, number of rows, grains by row and index of desgrane. Based on the results and applying a selection pressure of 10%, we have a group of 40 lines selected for their high yield potential and with good agronomic attributes, which will continue in the breeding program.

**Keywords:** *Zea mays* L., maize, inbred lines, *per se* test, selection.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por apoyarme como becario para la realización de mis estudios de Postgrado

Al **Colegio de Postgraduados**, Campus Montecillo por brindarme las herramientas necesarias para mi formación académica y profesional.

A los integrantes de mi Consejo Particular:

**Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo** por su apoyo, paciencia y tiempo constante dedicado en la asesoría ofrecida al desarrollo de mi investigación.

**Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez** por la orientación brindada en el desarrollo del trabajo de investigación.

**Dr. José Agapito Pecina Martínez** por su tiempo dedicado, observaciones y sugerencias.

Al personal de campo del Colegio de Posgraduados que apoyaron en la toma de datos.

A mis compañeros y amigos, Celestino, Rosendo, Neftalí, Silvina, Misael, Irma, Baruch, Alejandro, Genaro, Raúl, José, Abraham, Leonardo, Héctor, Norma, Ana, Luis, Nilda y Nefertiti por su gran apoyo brindado durante mi estancia en el posgrado de Genética.

## DEDICATORIA

A mi madre **María Isabel García Moisés**, que, con su amor y sacrificio, fue el gran ejemplo de mi vida.

A mi padre **Santiago Reynoso Coctecón**, por enseñarme lo que has recogido a tu paso por la vida y por tu apoyo en mi preparación.

A mis hermanos **Diego Alberto Reynoso García y Santiago Reynoso García**, agradezco a cada uno de ustedes por el apoyo incondicional que me han brindado en cada etapa de mi vida.

A mis abuelos **Lorenza Moisés Alarcón y Prudencio García Vásquez** por cuidarme de niño formando parte de mi educación.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE CUADROS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	13
Objetivo General .....	19
Objetivo específico.....	19
Hipótesis general .....	20
Bibliografía .....	21
CAPÍTULO I. CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS S <sub>2</sub> DE MAÍZ POR ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	26
Resumen.....	26
Introducción .....	27
Materiales y Métodos .....	29
Resultados y Discusión.....	35
Conclusiones .....	51
Bibliografía .....	52
CAPÍTULO II. VALORACIÓN AGRONÓMICA Y DE RENDIMIENTO DE GRANO DE 400 LÍNEAS S <sub>2</sub> DE MAÍZ PARA EL VALLE DE MÉXICO .....	55
Resumen.....	55
Introducción .....	56
Materiales y Métodos .....	58
Resultados y Discusión.....	61
Conclusiones .....	79
Bibliografía .....	80
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FENOLÓGICAS DE 400 LÍNEAS S <sub>2</sub> EN EL VALLE DE MÉXICO .....	85
Resumen.....	85
Introducción .....	86
Materiales y Métodos .....	88
Resultados y Discusión.....	91

Conclusión .....	104
Bibliografía .....	105
DISCUSIÓN GENERAL .....	109
CONCLUSIONES GENERALES.....	113
Bibliografía .....	115

## LISTA DE CUADROS

No.	Título	Pág.
1	Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S <sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 1. Montecillo, Edo de Méx. 2017.	39
2	Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S <sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 2. Montecillo, Edo de Méx. 2017.	43
3	Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S <sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 3. Montecillo, Edo de Méx. 2017.	46
4	Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S <sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 4. Montecillo, Edo de Méx. 2017.	50
5	Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S <sub>2</sub> de maíz del Grupo 1, en los Valles Altos Centrales de México.	64
6	Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S <sub>2</sub> sobresalientes y las tres de más baja expresión del Grupo 1 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.	67
7	Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S <sub>2</sub> de maíz del Grupo 2, en los Valles Altos Centrales de México.	69
8	Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S <sub>2</sub> sobresalientes y las tres de más baja expresión del Grupo 2 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.	71
9	Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S <sub>2</sub> de maíz del Grupo 3, en los Valles Altos Centrales de México.	73

10	Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S <sub>2</sub> sobresalientes y las tres de más baja expresión del Grupo 3 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.	<b>75</b>
11	Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 99 líneas S <sub>2</sub> de maíz del Grupo 4, en los Valles Altos Centrales de México.	<b>77</b>
12	Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S <sub>2</sub> sobresalientes, 11 testigos y las tres de más baja expresión del Grupo 4 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.	<b>79</b>
13	Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S <sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 1, para los Valles Altos Centrales de México.	<b>94</b>
14	Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S <sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 2, para los Valles Altos Centrales de México.	<b>98</b>
15	Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S <sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 3, para los Valles Altos Centrales de México.	<b>100</b>
16	Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S <sub>2</sub> con las hojas más erectas, testigos y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 4, para los Valles Altos Centrales de México.	<b>102</b>

---

## LISTA DE FIGURAS

<b>No.</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1	Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 1 (líneas 1 a 100), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.	<b>41</b>
2	Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 2 (líneas 101 – 200), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.	<b>44</b>
3	Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 3 (líneas 201 – 300), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.	<b>48</b>
4	Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 99 líneas endogámicas del Grupo 4 (líneas 301 – 400), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.	<b>52</b>

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo importante histórica y económicamente, cuyo origen se remonta al Centro Mesoamericano (Vavilov, 1931) y se considera al teocintle como su pariente más cercano (Kato *et al.*, 2009). Este cultivo forma parte del desarrollo de muchas culturas; es aprovechado para la fabricación de fibra, aceite, forraje, combustible y alimentos (Pruitt, 2016), su amplia diversidad y plasticidad permite ser cultivado en diferentes ambientes, y se siembra tanto en temporal como en sistemas de riego, desde el nivel del mar hasta 3 000 msnm (López-Romero *et al.*, 2005).

Una de las principales características del maíz es su alogamia; es decir, presenta polinización cruzada (Carrillo, 2009) con lo cual se sigue generando una gran variabilidad genética observada aun a través de miles de años de selección (Pruitt, 2016; Carrillo, 2009; Eyre-Walker *et al.*, 1998).

El cultivo del maíz para grano en México ocupa 34 % de la superficie total sembrada (SIAP, 2015). Esta producción se concentra principalmente en ocho estados: Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas, Guanajuato, Chihuahua y Veracruz. En México la producción aumentó 28.1 % en el período de 2013 a 2016 pasando de 17.3 a 22 millones de toneladas (SAGARPA, 2017). El Estado de México ocupa el tercer lugar en producción nacional; sin embargo, de 600 mil hectáreas que se siembran con maíz, se estima que en la mitad de ellas la productividad es limitada (1.2 t ha<sup>-1</sup>, en promedio) debido al temporal deficiente, al

germoplasma utilizado y a fechas de siembra tardías, que frecuentemente coinciden con la incidencia de heladas tempranas (Ávila *et al.*, 2009).

En México el porcentaje del índice de dependencia (ID = importaciones / producción + importaciones – exportaciones) del maíz mostró fluctuaciones importantes durante el período 1980 a 1994; sin embargo, a partir de este año su crecimiento fue constante hasta 2007. El precio del maíz tuvo una línea descendente desde el año 1980 hasta 2005 y se generó un incremento en el precio sólo hasta 2011 (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016). A nivel internacional existen barreras comerciales, por lo cual no se tiene un precio de mercado nacional seguro y constante pues algunos países determinan su precio (SE, 2012). El consumo de maíz blanco en México en 2017 fue de 23.3 millones de toneladas, utilizando 54.3 % para el consumo humano (FIRA, 2016).

Desde 2010 los biocombustibles producidos a base de maíz se han incrementado en Estados Unidos, destinando 116 millones de toneladas pero para 2020 se estima que sean 140.3 millones de toneladas para tal fin, ocasionando que el precio del maíz no solo esté sujeto a la oferta y la demanda internacional, sino también que esté dependiendo del precio del petróleo (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016), concluyendo que si el precio del petróleo es bajo, el precio del maíz de igual manera se reduce, por lo que la eliminación de las políticas en la producción de biocombustibles en EE. UU. se encuentra afectando al mercado de oferta y demanda del maíz en México (Romero *et al.*, 2015). Por lo tanto, el precio del maíz queda influenciado por los cambios de precio a nivel internacional, lo que al final repercute en el consumidor (González, 2015).

Para que el resultado de rendimiento del maíz e innovaciones sean mejores, el productor tiene que contar con fuentes de información y aprendizaje; por lo tanto, debe existir una vinculación entre el prestador de servicios profesionales y las instituciones gubernamentales, para que al productor le sea favorable su cultivo, adquiriendo nuevas tecnologías por el flujo de información requerida (Sánchez *et al.*, 2016).

Una estrategia para incrementar los rendimientos es el mejoramiento genético, cuyo producto es la generación de variedades e híbridos que tengan un alto potencial de rendimiento y características agronómicas deseables para el agricultor y el consumidor final (Chávez, 1993). Con el uso de estas semillas mejoradas se puede incrementar la producción de maíz en México para reducir las importaciones de este grano (Bonamico *et al.*, 2004).

El mejoramiento genético de maíz se basa en dos sistemas básicos: la selección y la hibridación, en EE UU se utilizan híbridos de cruza simple para lo cual se han formado líneas autofecundadas con alto rendimiento *per se* (Hallauer *et al.*, 1988), para reproducir híbridos con materiales consanguíneos se necesita de una combinación de características y ambientes, aunque los métodos básicos de mejoramiento para el desarrollo de líneas endogámicas de maíz híbrido se describieron desde 1910 (Hallauer *et al.*, 2010), se han realizado contribuciones significativas para modernizar los métodos básicos de mejoramiento.

Los avances en el mejoramiento genético del maíz, así como las buenas prácticas culturales, contribuyen de manera ineludible al incremento del rendimiento de maíz. Los métodos de mejoramiento fueron propuestos desde finales del siglo XIX y

principios del XX. Los rendimientos de maíz en híbridos de Estados Unidos comenzaron a aumentar cuando se introdujeron híbridos de maíz a partir de cruces de líneas consanguíneas a comienzos de 1930 (Hallauer *et al.*, 2010). Por lo que, en un fenotipo mejorado de la era de los 1970 s, exhibía hojas con orientación vertical; esta característica de las hojas favoreció probablemente el incremento del índice de área foliar (Meghji *et al.*, 1984) y con ello se tuvo la posibilidad de incrementar la densidad de plantas sobre la superficie. El aumento del rendimiento fue resultado de la adaptación de las poblaciones mejoradas a la densidad de las plantas, éste es posiblemente el cambio más claro y cuantificable en los híbridos a lo largo de los años. En 1982 se calculó que el aumento de la densidad de las plantas contribuyó con 21 % de ganancia en el rendimiento de grano del maíz en Minnesota, en el período de 1930 a 1970 (Troyer, 1996).

La estimación de los componentes de varianza de las poblaciones es genéticamente amplia, como consecuencia se pueden seleccionar metodologías de mejoramiento adecuadas para cada población en función de su constitución genética. Es importante comenzar con un buen germoplasma, una población de amplia base genética es la mejor opción (Hallauer *et al.*, 2010). La endogamia se refiere al apareamiento entre individuos emparentados con el fin de formar líneas (Reyes, 1990) generalmente se hace mediante autofecundaciones, mientras mayor sea el grado de endogamia, las líneas producen plantas más uniformes y genéticamente homocigóticas (Duvick, 2004; Birchler *et al.*, 2003).

Para la generación de híbridos, la cruce debe darse entre líneas endogámicas contrastantes que generen la mejor expresión genética (Dzib-Aguilar *et al.*, 2011) y

líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria, siendo la base para la formación de los híbridos comerciales (Borel *et al.*, 2013). De acuerdo con Hallauer *et al.* (2010) para obtener líneas de maíz con alto potencial de rendimiento se debe partir de poblaciones de gran tamaño, de alto rendimiento y usar sistemas de endogamia moderado, para conseguir líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria (Borel *et al.*, 2013); este método ha permitido elevar la producción. En un programa de mejoramiento por hibridación primero deben desarrollarse las líneas endogámicas mediante autofecundaciones, por varias generaciones y seleccionar las líneas que obtengan la mejor expresión; la selección puede ser mediante una prueba *per se* o una cruce de mestizos, para evitar continuar con la producción de todas las líneas en las etapas posteriores y reducir los costos. La evaluación *per se* consiste en probar la línea como tal, a diferencia de la cruce de mestizos que consiste en cruzar las líneas con un probador y seleccionar la línea a través de la expresión del mestizo. Una evaluación *per se* conserva los efectos aditivos (Falconer, 1970), por lo que, para aumentar los alelos favorables dentro de una población, la evaluación *per se* da una respuesta directa, la cual cambia gradualmente las frecuencias génicas (Hallauer *et al.*, 2010), siendo ésta una forma de estimar la aptitud combinatoria general (González *et al.*, 1990).

La aptitud combinatoria general (ACG) es la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros (Márquez, 1988) con el objetivo de seleccionar la progenie con mejor aptitud combinatoria y con la proporción de varianza genotípica aditiva, a diferencia de la aptitud combinatoria específica (ACE) que proporciona varianza genotípica de dominancia (Gutiérrez *et al.*, 2002), las líneas

con altos efectos de ACG pueden emplearse para desarrollar variedades de polinización libre y las de altos efectos de ACE se pueden usar en la hibridación (Sprague y Eberhart, 1977).

## **Objetivo General**

Caracterizar 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz con base en su expresión morfológica, fenológica, agronómica y de rendimiento de grano y sus componentes, para seleccionar las que posean características sobresalientes, mismas que continuarán el proceso de endogamia para generar híbridos con rendimiento de grano alto.

## **Objetivo específico**

1. Evaluar bajo condiciones de campo, las líneas de maíz S<sub>2</sub> a través del comportamiento agronómico, fenológico, morfológico y del rendimiento de grano y sus componentes
2. Seleccionar, de acuerdo a la expresión fenotípica de las 400 líneas, aquellas que posean los mejores atributos agronómicos y de rendimiento de grano, las cuales continuarán el proceso de endogamia hasta la obtención de líneas altamente homocigóticas.

## **Hipótesis general**

La variabilidad genética presente en las 400 líneas de maíz S<sub>2</sub> evaluadas, dado su origen genético y comportamiento fenotípico, permitirá la expresión de variación para un amplio número de características (morfológicas, agronómicas, fenológicas y de rendimiento de grano), y esto permitirá identificar y seleccionar las líneas con los mejores atributos agronómicos y de rendimiento de grano para continuar el proceso de endogamia, hasta la obtención de líneas altamente homocigóticas que participen en el desarrollo de híbridos de cruza simple para los Valles Altos Centrales de México.

## Bibliografía

- Ávila P., M. A., J. L. Arellano V., J. Virgen V., y A. J. Gámez V. 2009. H-52 híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agricultura Técnica en México* 35: 237–240.
- 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 Investigación Agropecuaria* 33: 129-144.
- Birchler, J. A., Auger, D. L., and Riddle, N. C. 2003. In search of the molecular basis of heterosis. *Plant Cell* 15(10): 2236–2239.
- Borel, J. C., Patto, R. M. A., Rezende, F. de C. V. and Barbosa, A. A. de F. 2013. Genetic and phenotypic parameters in common bean segregant populations from intra and inter-gene pool crosses of elite lines. *Euphytica*. 193:39-47.
- Carrillo T., C. 2009. El origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México Núm. 92 - 93, pp: 4-13
- Chávez A., J. L. 1993. *Mejoramiento de Plantas 1*. Editorial Trillas. México, D.F. 136 p.
- Duvick, D. N, Smith, J. S. C., and Cooper, M. 2004. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *In: Plant Breeding Reviews* (J. Janick, Ed.) 24:109–151.

- Dzib-Aguilar L. A., C. Segura J., R. Ortega, y L. Latournerie. 2011. Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14:119-127.
- Eyre-Walker A., Gaut R. L., Hilton H., Feldman D. L., & Gaut B. S. 1998. Investigation of the bottleneck leading to the domestication of maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95(8):4441–4446.
- Falconer D., S. 1970. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Ed. CECSA, México. 430 p.
- FIRA. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. 2016. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf). Diciembre 2018.
- González G. J., J. D. Molina G., y A. Martínez G. 1990. Implicación del rendimiento *per se* y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruzas simples de alto rendimiento. *Agrociencia* 1(2):29-42.
- González P. H., y M. A. Martínez D. 2015. Efecto de transmisión de precio del mercado del maíz al mercado de la tortilla en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1149-1162.
- Gutiérrez R. E., A. Palomo G., A. Espinoza B. y E. De la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3):271-277.
- Hallauer A., R., M. Carena, and J. B. Miranda F. 2010. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer-Verlag New York Inc. 664 p.

- Hallauer A. R., Russell, W.A. and Lamkey, K.R. (1988) Corn Breeding. *In*: Sprague, G.F. and Dudley, J.W., Ed., Corn and Corn Improvement, 3rd Edition, Agronomy, American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison. 463-564.
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., y R. A. Bye B. 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. 116 p.
- López-Romero G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez, y H. Vaquera-Huerta. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.
- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. Primera edición. Editor AGT. México. 563 p.
- Meghji M. R., Dudley J. W., Lambert R. J., and Sprague G. F. 1984. Inbreeding depression, inbred and hybrid grain yields, and other traits of maize genotypes representing three eras. *Crop Science* 24:545-549.
- Moreno-Sáenz L. I., S. González-Andrade y J. A. Matus-Gardea. 2016. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:115-126.
- Romero P. A., M. Hernández J., A. León M. y D. Ma. Sangermán-Jarquín. 2015. Impacto en el mercado mexicano de maíz en ausencia de políticas de

- producción de biocombustibles en Estados Unidos de América. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1023-1033.
- Pruitt J. D. 2016. A Brief History of Corn: Looking Back to Move Forward. Doctoral Documents from Doctor of Plant Health Program. Paper 7. Lincoln, Nebraska 104 p.
- Troyer A. F. 1996. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica* 92: 163 -174.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. México, D. F. 460 p.
- SAGARPA. 22 de octubre de 2017 <http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/fortalece-mexico-autosuficiencia-en-la-produccion-de-maiz-blanco>.
- Sánchez G. J., R. Rendon M., J. Díaz J., y K. Sonder. 2016. El soporte institucional en la adopción de innovaciones del productor de maíz: región centro, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15: 2925-2938
- SE (Secretaría de Economía). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Dirección General de Industrias Básicas. México. 76 p.
- SIAP. 2015. Bases de datos superficie sembrada con el cultivo maíz. <http://infosiap.siap.gob.mx/>.
- Sprague G., F., and S. Eberhart A. 1977. Corn and Corn Improvement. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. pp: 305-363.

Vavilov. N. I. 1931. Mexico and Central America as the principal centre of origin of cultivated plants in Botany. Leningrand 26:135-199.

## CAPÍTULO I. CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS S<sub>2</sub> DE MAÍZ POR ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

### Resumen

Se evaluaron 400 líneas endogámicas S<sub>2</sub>, divididas en cuatro grupos, en el ciclo primavera-verano (P-V) 2017, mediante la prueba *per se*, con la finalidad de identificar líneas sobresalientes que pudieran ser utilizadas en el mejoramiento genético para los Valles Altos de México; las líneas se derivaron de 12 balanceados con alto potencial de rendimiento. Se establecieron 4 grupos de 100 líneas bajo diseños látice triple 10 x 10 con tres repeticiones y los datos se manejaron con análisis de componentes principales y de dispersión gráfica. En los cuatro grupos la variación del componente principal 1 (CP1) fue explicado por las características rendimiento por hectárea (RtoTha), peso de grano (Pgr) y peso individual de mazorca (Pmz) y el CP2 lo determinó los días a floración masculina (DFM) y días a floración femenina (DFF). Con este estudio se logró apreciar la variabilidad genética sin omitir información en la selección de las líneas, dando importancia a cada característica sobre la interacción con las líneas, también permitió descartar 90 % de las líneas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., maíz, análisis de componentes principales.

## Introducción

El análisis de componentes principales fue desarrollado por Karl Pearson en 1901 con la finalidad de encontrar líneas y planos que se ajustaran mejor a un conjunto de puntos en un espacio  $p$ -dimensional, después Hotelling (1933) continuó su desarrollo, generalizando las variables no estocásticas al vector aleatorio (Jolliffe, 2002, Narayan, 1996, Chatfield y Collins, 1980).

La idea primordial del análisis de componentes principales es reducir la dimensión de un conjunto de datos observados con un gran número de variables interrelacionadas y conservar la mayor cantidad de variación, para así poder apreciar los principales componentes que representan la mayor parte de la variación de los datos originales (Chatfield y Collins, 1980; Jolliffe, 2002; Härdle y Simar, 2007), por lo que de un conjunto de variables originales se realiza una transformación de datos a un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, ordenadas de acuerdo a la importancia de la variación, de forma descendente, dando como resultado un nuevo conjunto de medidas combinadas, por lo que la transformación es una rotación ortogonal sobre el espacio, y los componentes principales son los vectores característicos de la matriz de covarianza, produciendo un conjunto de coordenadas (Anderson, 1984) e indicando las direcciones en el plano (Härdle y Simar, 2007).

El primer componente principal explica, tanto como sea posible, la variación en los datos originales (Narayan, 1996; Chatfield y Collins, 1980) y es la diferencia entre la variable de marco inferior y la diagonal (Härdle y Simar, 2007), con ello se pueden

omitir algunas de las variables que muestren estar altamente correlacionadas porque se considera que se está expresando lo mismo (Chatfield y Collins, 1980).

El análisis de componentes principales es una técnica matemática que no requiere especificar un modelo estadístico para explicar la estructura del "error". No se hace ninguna suposición sobre la distribución de probabilidad de las variables originales, aunque generalmente se puede dar más significado a los componentes cuando se considera que las observaciones son multivariantes normales (Chatfield y Collins, 1980).

El objetivo del trabajo fue evaluar 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz divididas en cuatro grupos para los Valles Altos de México, por medio de componentes principales y 34 características, para determinar las de mayor influencia y variabilidad sobre las líneas, lo que permitirá seleccionar las sobresalientes.

## **Materiales y Métodos**

Se realizó la evaluación *per se* de 400 líneas S<sub>2</sub>, derivadas a partir de 12 compuestos balanceados de maíz de grano blanco con dos ciclos de recombinación genética, provenientes de poblaciones élite de un programa de mejoramiento genético para condiciones de riego en los Valles Altos de México, iniciado en la Universidad Autónoma Chapingo por el Dr. Moisés Mendoza Rodríguez<sup>†</sup>. El experimento se estableció en el año 2017 durante el ciclo primavera-verano en el Campo Agrícola Experimental Montecillo del Colegio de Postgraduados, la evaluación se hizo dividiendo las líneas en 4 grupos de 100 de acuerdo a su peso de mazorca, utilizando para cada grupo el diseño experimental látice triple 10 x 10 con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de una parcela de 3.2 m<sup>2</sup> con 22 plantas (equivalente a una densidad de población de 65 000 plantas ha<sup>-1</sup>). La conducción de las plantas se llevó a cabo sin restricciones de humedad y siguiendo las recomendaciones para el cultivo de maíz recomendadas en la región de estudio.

Las variables evaluadas fueron:

### **a) agronómicas:**

**Emergencia (Emer).** A 15 días después de la siembra se calificó visualmente la emergencia de las plántulas; se empleó una escala de uno a cinco, siendo 1 = total presencia de plántulas y 5 = la peor emergencia.

**Vigor (vig).** Se evaluó de forma visual en cada parcela a 15 dds y se calificó mediante una escala de uno a cinco, siendo 1 = el mejor y 5 = el peor.

**Altura de planta a 60 días después de la siembra (dds) (Apt60d).** Se realizó en tres plantas por parcela, desde la base del tallo hasta la última hoja ligulada, en cm, a 60 días después de la siembra.

**Uniformidad de las plantas a los 60 dds (UnPt60d).** Se calificaron de forma visual en cada parcela mediante una escala de 1 a 5, considerando todas las plantas en la parcela a 60 dds, siendo el número 1 con más uniformidad y 5 la menos uniforme.

**Sanidad de las plantas a los 60 dds (SanPt60d).** Se calificaron visualmente con escala de 1 a 5, en cada parcela a 60 dds.

**Acame (Aca).** Se calificó en una escala de uno a cinco, donde 1 = 0 a 20 %; 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 % y 5 = 81 a 100 % de plantas adultas acamadas en la parcela.

**Uniformidad de planta (UnifPta).** Se evaluaron de forma visual en cada parcela mediante una escala de uno a cinco, siendo 1 el de mayor uniformidad y 5 el menos uniforme.

**Altura de planta (Apta).** Se midieron, en cm, tres plantas adultas por parcela, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera.

**Altura de mazorca (Amz).** Se midieron, en cm, tres plantas por parcela, desde la base del tallo hasta el nudo de la mazorca principal.

**Posición de mazorca (PoMz).** Se obtuvo de la relación entre Amz y Apta.

**Cobertura de mazorca (CobMza).** A la cosecha se calificó en un intervalo de uno a cinco, donde: 1 = 81 a 100 %; 2 = 61 a 80 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 21 a 40 % y 5 = 0 a 20 % de mazorcas con buena cobertura.

**Número de mazorcas primarias y secundarias (Nmz1 y Nmz2).** A la cosecha se contabilizó el número de mazorcas primarias y secundarias por parcela.

**Sanidad de mazorca (San).** Se registró mediante escala de uno a cinco, de acuerdo al número de mazorcas podridas, con los niveles de calificación siguientes: 1 = 0 a 20 %; 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 % y 5 = 81 a 100 %; se obtuvo una media ponderada de sanidad en cada unidad experimental, donde media ponderada =  $((X_1.Y_1)+(X_2.Y_2)+(X_3.Y_3)+(X_4.Y_4)+(X_5.Y_5))/T$  donde  $X_i$  = número de mazorcas en cada nivel,  $Y_i$  = valor de la escala y  $T$  = número total de mazorcas en la parcela.

**Uniformidad de mazorca (UnMz).** Se evaluaron de forma visual todas las mazorcas por parcela mediante una escala de 1 a 5, considerando 1 con más uniformidad de mazorcas y 5 con menos uniformidad.

**Peso hectolítrico (Phct).** Se registró en 2 repeticiones de grano por parcela, con la balanza marca OHAUS, en  $\text{kg hl}^{-1}$ .

#### **b) Fenológicas:**

**Días a floración masculina (DFM).** Se registró cuando 50 % o más de las plantas de la parcela habían liberado polen.

**Días a floración femenina (DFF).** Se registró cuando 50 % o más de los jilotes habían expuesto sus estigmas.

**Asincronía floral (AsinF).** Se obtuvo por diferencia entre DFF y DFM.

**c) Rendimiento de grano y sus componentes:**

**Peso de mazorcas primarias y secundarias (Pmz1 y Pmz2).** Se pesaron las mazorcas primarias y secundarias cosechadas por parcela en g.

**Humedad (Hum).** Es el porcentaje de humedad del grano a la cosecha, obtenido por una muestra de grano al cual se aplicó el método de la estufa ( $1 - (\text{peso fresco del grano} - \text{peso seco de grano})$ ), posteriormente se ajustó la humedad del grano cosechado en todas las parcelas.

**Aportación de la mazorca secundaria (AporMz2).** Se obtuvo mediante la fórmula peso de mazorcas secundarias  $Pmz2$  / suma total de peso de mazorcas ( $Pmz1 + Pmz2$ ).

**Peso individual de mazorca (Pmz).** Se obtuvo al promediar el peso de la muestra de las cinco mazorcas primarias.

**Peso de grano por mazorca (Pgr).** Se obtuvo al promediar el peso del grano de las cinco mazorcas primarias representativas de la unidad experimental.

**Peso de olote (Polo).** Se derivó por diferencia de Pmz y Pgr.

**Diámetro de mazorca (Dmz).** Se midieron (cm) las cinco mazorcas representativas por parcela en la parte central de la mazorca.

**Diámetro de Olote (Dolo).** Se midieron (cm) los olotes de las cinco mazorcas representativas por parcela en la parte media del olote.

**Longitud de mazorca (Lmz).** Se midieron cinco mazorcas representativas por parcela desde la base hasta la punta de la mazorca, en cm.

**Número de hileras por mazorca (NHil).** Se contó el total de hileras de granos por mazorca y se hizo en la parte media de la misma.

**Número de granos por hilera (GHil).** Se obtuvo el promedio de número de granos por hilera de dos hileras por mazorca.

**Peso de 100 granos (P100g).** Se registró el promedio en dos repeticiones, del peso de 100 granos tomados al azar de la muestra de las cinco mazorcas.

**Rendimiento de grano por hectárea (RtoTha).** Se ajustó a 14 % de humedad y se determinó con la fórmula  $RtoTha = RP * (100 - Hum) / 86 * Id * (10\ 000 / D)$ , donde RP = Peso de mazorcas en la unidad experimental (Pmz1 + Pmz2) en kg, Hum = porcentaje de humedad del grano al momento de la cosecha, 86 = factor para estandarizar el rendimiento a 14 % de humedad, Id = índice de desgrane; D = la superficie de la parcela representada en m<sup>2</sup>.

**d) Morfológicas:**

**Ramificación de la espiga (RamEsp).** Se calificó en escala de uno a cinco, 1 = espiga con más de 21 ramas, 2 = con 16 a 20 ramas, 3 = con 10 a 15 ramas, 4 = con 6 a 10 ramas y 5 = con 1 a 5 ramas.

**Ángulo de la hoja con respecto al tallo (AnHoj).** Se midió el ángulo que se forma entre el tallo y la lámina de la hoja arriba de la mazorca superior, registrado en la escala de uno a cuatro, 1 = ángulo menor a 20 °, 2 = entre 21 ° y 40 °, 3 = entre 41

° a 60 ° y 4 = mayor de 61 °; considerando plantas con hojas erectas a las de calificación 1 y plantas con hojas abiertas a las calificadas con 4.

**e) Fisiotécnicas:**

**Índice de desgrane (Id).** Obtenido de la relación entre el peso del grano y el peso total de la mazorca, tomado del promedio de las 5 mazorcas representativas de la parcela.

**Coloración de las hojas de la planta (ColHoja).** Se calificó en escala de uno a tres, 1 = hojas verde oscuro, 2 = hojas verde claro y 3 = hojas verde amarillentas.

Con los datos registrados se realizó el análisis de componentes principales por cada grupo de 100 líneas, sus repeticiones y sus 34 características evaluadas, usando el procedimiento PROC PRINCOMP de SAS. Con los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) se hizo un análisis de dispersión gráfico. El gráfico de dispersión se realizó mediante el paquete computacional NTSYS (Rohlf, 2009).

## Resultados y Discusión

### Grupo 1

El análisis de componentes principales (CP) del Grupo 1 que contiene las líneas 1 a 100, con las 34 variables evaluadas conjunta 36 % de la variación, la cual fue explicada por los tres primeros componentes principales, de los cuales los dos primeros explicaron 19 % y 9 % de la variación global, respectivamente.

En el Cuadro 1 se observa los valores de carga las características evaluadas del Grupo 1, el primer componente principal (CP1) fue determinado por RtoTha, Pmz, y Pgr estas variables del primer componente forman parte una de la otra, por lo que se considera que ambas indican lo mismo, como lo señala Quiroz *et al.* (2017) y recomienda que se pueden omitir algunas de ellas. Para el segundo componente principal CP2, fueron los días a floración masculina (DFM) y los días a floración femenina (DFF) los que lo determinaron; y para el CP3 fueron la altura de planta (Apta) y la altura de mazorca (AMz); de acuerdo con los resultados el componente CP1 estuvo asociado principalmente con el rendimiento de grano, CP2 con los días a floración y CP3 con la altura de planta y mazorca.

En la Figura 1 se observa la correlación de cada variable con respecto al primero y segundo componentes principales, la orientación del vector indica el comportamiento de cada variable y la distancia de cada variable dada por el punto de origen y su punto final, también dimensiona el tamaño de la variabilidad, por lo cual entre mayor sea la longitud de la línea mayor fue la variación de esta característica; se observó que RtoTha y DFF tuvieron mayor variabilidad.

**Cuadro 1. Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S<sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 1. Montecillo, Edo de Méx. 2017.**

<b>Variable</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Emergencia (Emer)	0.03	0.12	-0.20
Vigor (Vig)	-0.05	0.21	-0.15
Uniformidad de planta a 60 dds (UnPt60d)	0.02	-0.09	0.16
Sanidad de planta a 60 dds (SanPt60d)	-0.20	-0.14	-0.13
Altura de planta a 60 dds (Apt60d)	0.07	-0.32	0.28
Acame (Aca)	0.02	0.17	0.15
Cobertura de mazorca (CobMza)	-0.03	-0.03	-0.05
Altura de planta (Apta)	0.09	-0.08	0.42
Altura de mazorca (Amz)	0.08	0.19	0.47
Posición de mazorca (PoMz)	-0.01	0.32	0.08
Uniformidad de planta (UnifPta)	-0.03	0.04	-0.18
Sanidad de mazorca (San)	-0.22	-0.11	0.05
Coloración de hojas (ColHoja)	-0.14	0.12	-0.15
Número de mazorcas primarias (Nmz1)	0.23	-0.05	-0.01
Número de mazorcas secundarias (Nmz2)	0.15	-0.18	0.11
Uniformidad de mazorca (UnMz)	-0.03	-0.11	0.13
Peso hectolítrico (Phct)	0.22	-0.09	0.02
Floración masculina (DFM)	-0.03	0.45	0.25
Floración femenina (DFF)	-0.05	0.46	0.25
Asincronía floral (AsinF)	-0.06	0.05	-0.02
Longitud de mazorca (Lmz)	0.28	-0.02	0.01
Diámetro de mazorca (Dmz)	0.18	0.14	-0.12
Peso individual de mazorca (Pmz)	0.37	0.06	-0.08
Diámetro de olote (Dolo)	0.12	0.06	-0.11
Peso de olote (Polo)	0.27	0.07	-0.08
Número de hileras (NHil)	0.05	0.18	-0.19
Granos por hilera (GHil)	0.27	0.06	-0.11
Peso de 100 granos (P100g)	0.18	-0.09	0.18
Peso de grano (Pgr)	0.36	0.05	-0.08
Rendimiento por hectárea (RtoTha)	0.34	0.01	-0.06
Índice de desgrane (Id)	0.19	-0.02	-0.04
Ramificación de la espiga (RamEsp)	0.00	0.04	-0.18
Ángulo de la hoja (AnHoj)	-0.02	-0.09	0.09
Aportación de la mazorca secundaria (AporMz2)	0.09	-0.18	0.10
% Varianza Explicada	0.19	0.09	0.08

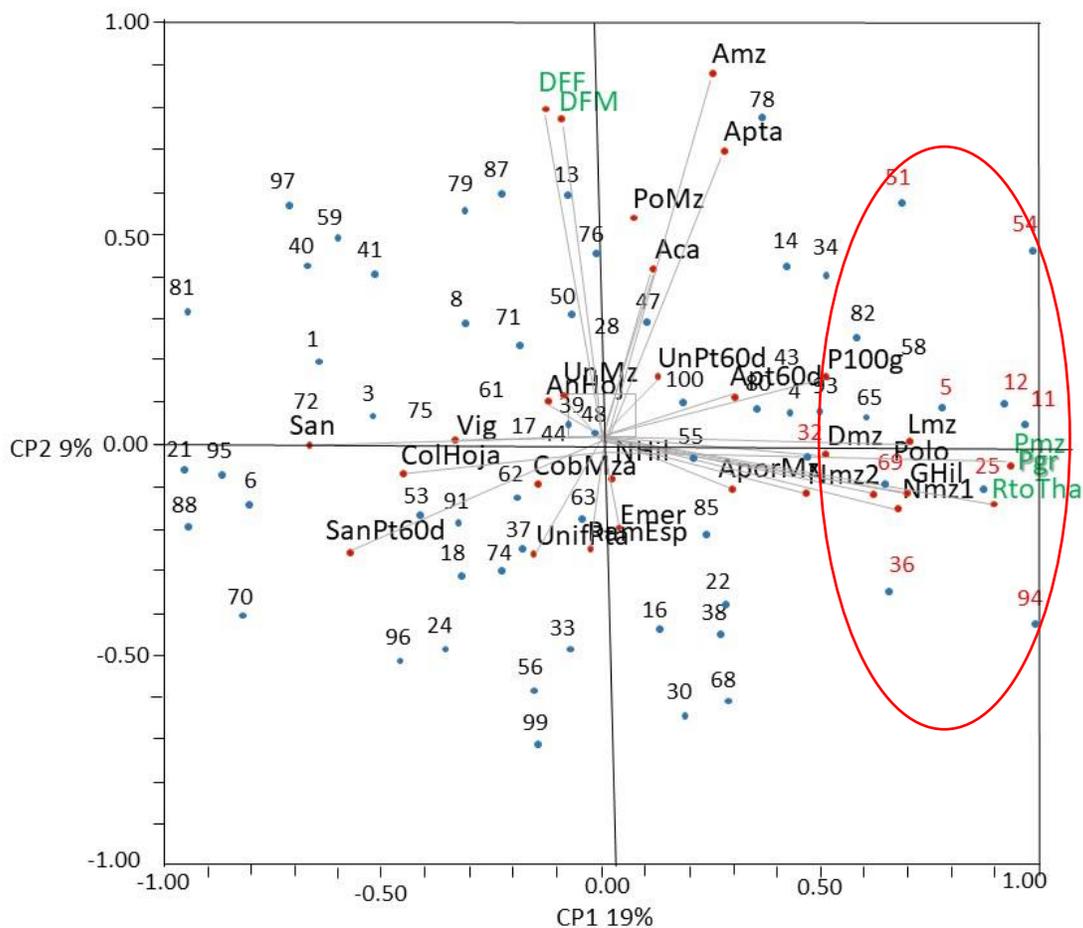
CP1, CP2 y CP3 = Componente Principal 1, Componente Principal 2 y Componente Principal 3.

Se encontró correlación alta entre el rendimiento de grano (RtoTha) y número de mazorcas primarias (Nmz1), número de mazorcas secundarias (Mz2), peso hectolítrico (Phct), longitud de mazorca (LMz), diámetro de mazorca (Dmz), número de hileras (NHil), número de granos por hilera (GHil), peso de mazorcas primarias (Pmz1) y secundarias (Pmz2); esta correlación se debió principalmente a que las variables asociadas fueron parte de los componentes del rendimiento o sus derivaciones. Resultados similares fueron reportados en los trabajos de Quiroz *et al.* (2017) y Santiago-López *et al.* (2017), y se señalan que continuar estudiando estas características implicaría una información redundante, por lo que es posible omitir algunas de ellas, así como alguna de las floraciones DFF o DFM (Maji y Shaibu, 2012).

Las variables con independencia, como RtoTha y DFF, PoMz, Apta, Amz y RamEsp otorgan la posibilidad de hacer combinaciones de estas características, ya que no fueron dependientes una de la otra, lo que se ha reportado en estudios de Quiroz *et al.* (2017) y Van Roekel y Coulter (2011), al no interceder el rendimiento con la disminución de los días de floración y la reducción de la altura de la planta, lo que conlleva la posibilidad de encontrar un arquetipo deseable.

Las variables que mostraron dependencia fueron RtoTha y sanidad de mazorca (San), lo cual indica que las mazorcas entre más enfermas estén, menor será el rendimiento logrado (Gómez *et al.*, 2016); de igual manera se mostró una dependencia en las características RtoTha y ColHoja, observando la importancia de la concentración de pigmentos fotosintéticos en las hojas, que pueden contribuir a la absorción energía solar mediante la clorofila, mencionado en el trabajo de Paz-

Paz-Pellat *et al.* (2005) y así favorecer más producción; con respecto a RtoTha y vig, como indica Cervantes-Ortiz *et al.* (2007), las líneas endogámicas con buen vigor inicial de plántula tienen potencial para usarse como progenitores femeninos en la producción de semilla híbrida, pues se logra mayor rendimiento y semilla vigorosa, puesto que la heterosis se manifiesta en el vigor de la semilla. (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2016).



**Figura 1. Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 1 (líneas 1 a 100), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.**

Con base en la variación mostrada por los componentes principales, de la cual se puede observar la gran diversidad genética de las líneas S<sub>2</sub> evaluadas, permitió seleccionar las líneas de mayor rendimiento de grano, debido al primer componente principal, mostrado en el biplot de la Figura 1. Las líneas de mejor rendimiento se ubicaron hacia la derecha, y del lado izquierdo estuvieron las líneas de bajo rendimiento; así mismo se pudo apreciar con qué variables se encuentran relacionadas dichas líneas, al reducir su dimensión de un conjunto de datos a una sola figura. Las líneas de mejor rendimiento fueron 94, 54, 11, 12, 25, 5, 36, 51, 69 y 32 mostrando gran variabilidad entre ellas debido a que los puntos se encuentran separados uno del otro (Figura 1).

## **Grupo 2**

Del Grupo 2 el análisis de componentes principales (CP) indicó que 37 % de la variación global fue explicada por los tres primeros componentes principales, de los cuales los dos primeros explicaron 20 % y 9 % de la variación global para las 100 líneas S<sub>2</sub> (líneas 101 – 200). En el Cuadro 2 se observan los valores de carga del Grupo 2, el CP1 fue determinado por RtoTha, Pgr, y Pmz; el CP2 fue determinado por DFM y DFF; y el CP3 lo determinó Dmz y Dolo. Con base en los resultados, CP1 estuvo asociado principalmente con el rendimiento de grano, CP2 con los días a floración y CP3 con el diámetro de mazorca y diámetro de olote.

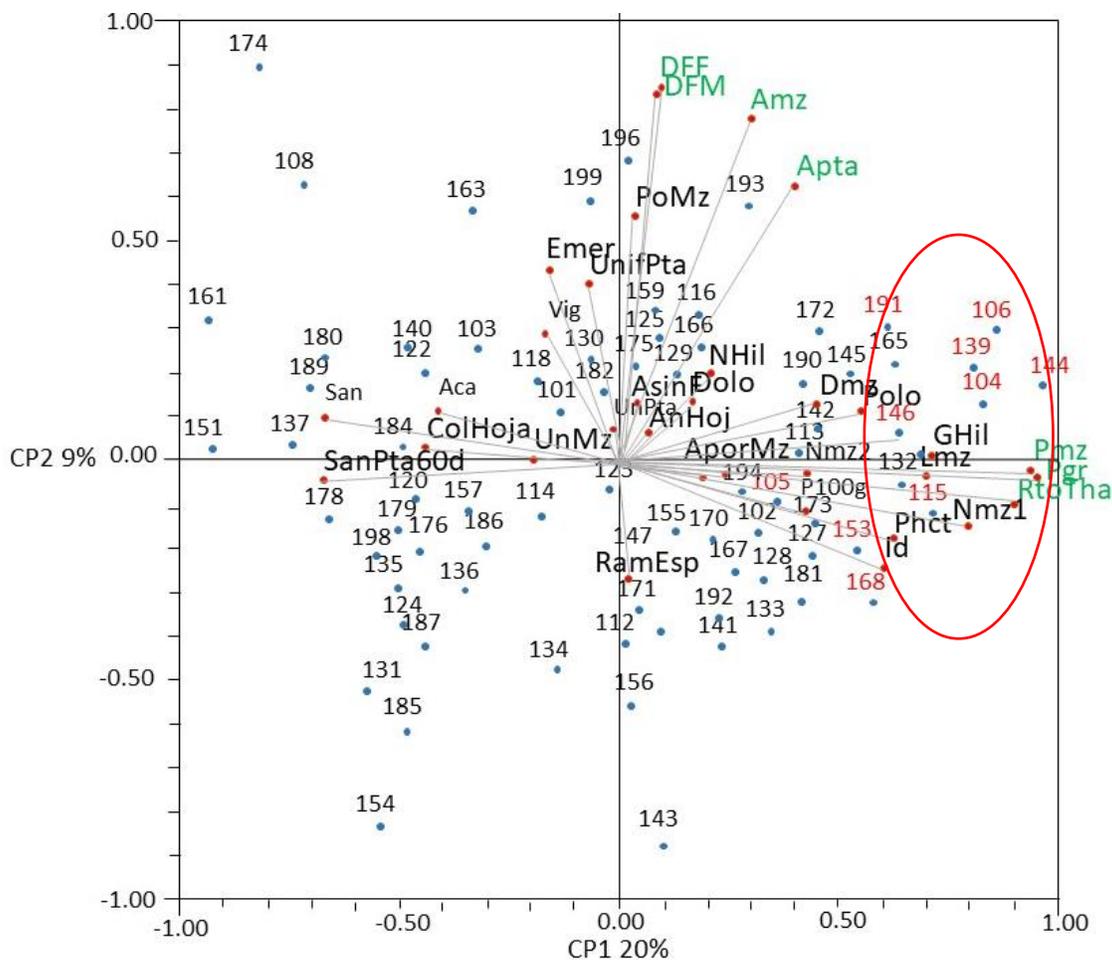
En la Figura 2 se muestra el biplot de la dispersión de las líneas S<sub>2</sub> considerando las 34 variables evaluadas. Con la correlación obtenida por cada variable con respecto a CP1 y CP2; se puede observar que RtoTha y DFF fueron las variables

**Cuadro 2. Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S<sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 2. Montecillo, Edo de Méx. 2017.**

<b>Variable</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Emergencia (Emer)	-0.03	0.12	0.16
Vigor (Vig)	-0.03	0.11	0.07
Uniformidad de planta (UnPt60d)	-0.01	0.02	0.03
Sanidad de planta a los 60 días (SanPt60d)	-0.25	-0.08	0.08
Altura de planta a los 60 días (Apt60d)	0.02	-0.05	-0.03
Acame (Aca)	-0.13	0.07	-0.01
Cobertura de mazorca (CobMza)	0.06	-0.05	0.03
Altura de planta (Apta)	0.12	0.35	0.06
Altura de mazorca (Amz)	0.10	0.41	0.14
Posición de la mazorca (PoMz)	0.01	0.19	0.16
Uniformidad de planta (UnifPta)	-0.03	0.09	0.09
Sanidad de la mazorca (San)	-0.21	-0.09	0.25
Coloración de la hoja (ColHoja)	-0.15	0.07	-0.03
Número de mazorcas primarias (Nmz1)	0.25	-0.01	-0.20
Número de mazorcas secundarias (Nmz2)	0.12	0.16	-0.36
Uniformidad de mazorca (UnMz)	-0.04	-0.01	0.01
Peso hectolítrico (Phct)	0.21	0.00	-0.22
Floración masculina (DFM)	0.03	0.47	0.14
Floración femenina (DFF)	0.03	0.48	0.16
Asincronía floral (AsinF)	0.00	0.05	0.06
Longitud de mazorca (Lmz)	0.26	-0.08	0.10
Diámetro de mazorca (Dmz)	0.20	-0.10	0.31
Peso individual de mazorca (Pmz)	0.36	-0.07	0.11
Diámetro de olote (Dolo)	0.08	-0.16	0.40
Peso de olote (Polo)	0.24	-0.12	0.31
Número de hileras (NHil)	0.07	0.03	0.14
Granos por hilera (GHil)	0.27	0.02	0.00
Peso de 100 granos (P100g)	0.18	-0.13	0.10
Peso de grano (Pgr)	0.36	-0.06	0.07
Rendimiento por hectárea (RtoTha)	0.33	0.02	-0.16
Índice de desgrane (Id)	0.22	-0.01	-0.19
Ramificación de la espiga (RamEsp)	-0.02	-0.13	-0.01
Angulo de la hoja (AnHoj)	0.03	0.00	0.08
Aportación de la mazorca secundaria (AporMz2)	0.03	0.15	-0.31
% Varianza Explicada	0.20	0.09	0.08

CP1, CP2 y CP3 = Componente Principal 1, Componente Principal 2 y Componente Principal 3.

con mayor variabilidad y que el intervalo de variación del rendimiento de grano en este grupo fue de 0.7 a 8.4 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2. Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 2 (líneas 101 – 200), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.**

Al igual que en el Grupo 1 se presentó alta correlación entre rendimiento de grano (RtoTha) y número de mazorcas primarias (Nmz1), número de mazorcas secundarias (Mz2), peso hectolítrico (Phct), longitud de mazorca (LMz); diámetro de mazorca (Dmz), número de hileras (NHil), número de granos por hilera (GHil), peso de mazorcas primarias (Pmz1) y secundarias (Pmz2), lo que coincide con lo

reportado en trabajos similares (Quiroz *et al.*, 2017) donde también muestran correlación las variables DFF y DFM; de igual manera entre Vig y Emer, información refutada por Cervantes-Ortiz *et al.* (2016) quienes mencionan que el vigor se encuentra correlacionado con los estados tempranos de desarrollo de la planta.

Las variables RtoTha y DFF, PoMz, Apta, Amz y RamEsp mostraron independencia, ya reportado en estudios de Quiroz *et al.* (2017) y Van Roekel y Coulter (2011). Las variables con dependencia RtoTha y San, ColHoja y Aca indican la influencia de las variables en el rendimiento de grano, por lo que al presentar más enfermedad, plantas amarillentas y plantas acamadas afecta el rendimiento por hectárea (Paz-Pellat *et al.*, 2005).

En el Grupo 2, debido a la variación mostrada por los componentes principales, las líneas S<sub>2</sub> con mayor rendimiento de grano y que fueron seleccionadas con base en el comportamiento del primer componente principal, fueron 144, 104, 191, 106, 153, 139, 115, 168, 146 y 105 mismas que se identificaron en la Figura 2 sobre la parte derecha del biplot; es importante señalar que estas líneas sobresalientes se ubicaron más juntas entre sí, indicando que se encuentran más relacionadas entre ellas, a diferencia de las líneas sobresalientes del Grupo 1 que se ubicaron separadas.

### **Grupo 3**

El análisis del Grupo 3 mostró una variación global de 39 %, explicada por los tres componentes principales, los dos primeros explicaron 21 % y 10 % de la variación global (líneas 201 – 300).

**Cuadro 3. Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S<sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 3. Montecillo, Edo de Méx. 2017.**

<b>Variable</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Emergencia (Emer)	-0.04	0.21	-0.02
Vigor (Vig)	-0.11	0.30	-0.12
Uniformidad de planta (UnPt60d)	0.06	-0.14	0.08
Sanidad de planta a los 60 días (SanPt60d)	-0.22	-0.22	0.16
Altura de planta a los 60 días (Apt60d)	0.15	-0.37	0.17
Acame (Aca)	-0.10	0.04	0.07
Cobertura de mazorca (CobMza)	0.03	-0.02	0.00
Altura de planta (Apta)	0.18	-0.23	0.06
Altura de mazorca (Amz)	0.16	-0.16	0.01
Posición de la mazorca (PoMz)	0.01	0.05	-0.04
Uniformidad de planta (UnifPta)	-0.07	0.16	0.02
Sanidad de la mazorca (San)	-0.21	-0.04	0.30
Coloración de la hoja (ColHoja)	-0.17	0.00	-0.13
Número de mazorcas primarias (Nmz1)	0.27	-0.05	-0.17
Número de mazorcas secundarias (Nmz2)	0.15	-0.12	-0.32
Uniformidad de mazorca (UnMz)	-0.01	0.05	0.06
Peso hectolítrico (Phct)	0.20	0.09	-0.16
Floración masculina (DFM)	-0.09	0.40	-0.19
Floración femenina (DFF)	-0.12	0.36	-0.18
Asincronía floral (AsinF)	-0.09	-0.10	0.04
Longitud de mazorca (Lmz)	0.18	0.09	0.21
Diámetro de mazorca (Dmz)	0.23	0.15	0.22
Peso individual de mazorca (Pmz)	0.34	0.14	0.09
Diámetro de olote (Dolo)	0.11	0.22	0.40
Peso de olote (Polo)	0.19	0.21	0.35
Número de hileras (NHil)	0.09	0.04	-0.04
Granos por hilera (GHil)	0.23	0.05	0.00
Peso de 100 granos (P100g)	0.16	0.17	0.09
Peso de grano (Pgr)	0.34	0.11	0.03
Rendimiento por hectárea (RtoTha)	0.33	-0.01	-0.17
Índice de desgrane (Id)	0.20	-0.05	-0.29
Ramificación de la espiga (RamEsp)	-0.06	0.13	-0.05
Angulo de la hoja (AnHoj)	-0.01	-0.06	0.04
Aportación de la mazorca secundaria (AporMz2)	0.07	-0.10	-0.28
% Varianza Explicada	0.21	0.10	0.08

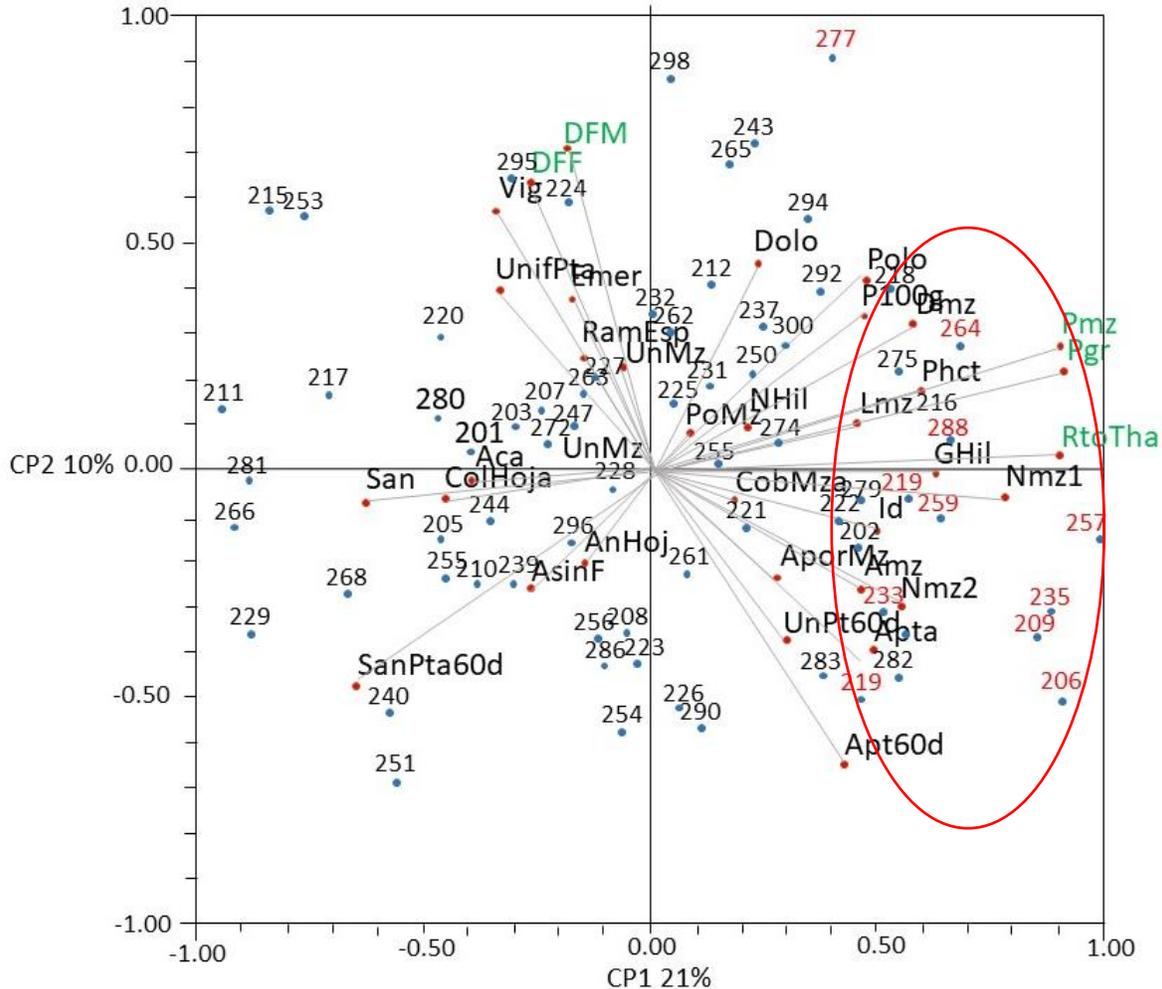
CP1, CP2 y CP3 = Componente Principal 1, Componente Principal 2 y Componente Principal 3.

En el Cuadro 3 se observan los valores de carga del Grupo 3, el primer componente principal CP1 fue determinado por RtoTha, Pgr, y Pmz; el segundo componente principal CP2 se determinó por DFM y DFF; y el tercer componente principal CP3 lo determinó Polo y Dolo; de acuerdo con los resultados obtenidos CP1 estuvo asociado principalmente con el rendimiento de grano, CP2 con días a floración y CP3 con el peso y diámetro de olote.

En la Figura 3 se observa la correlación de cada variable con respecto al primer y segundo componentes principales, se aprecia la variabilidad y el comportamiento de cada variable, por lo que el intervalo de variación del rendimiento de grano de las líneas fue de 0.3 a 11.1 t ha<sup>-1</sup>. Hubo más correlación entre RtoTha y número de granos por hilera (GHil), número de mazorcas primarias (Nmz1) y longitud de mazorca (Lmz); las correlaciones mostradas anteriormente forman parte del rendimiento; en esta Figura 3 se muestran los vectores más alargados, lo que indica que se presentó mayor variación en las variables y estuvieron más separadas entre sí, pero al igual que en los demás grupos (Figuras 1 y 2) se presentó correlación entre Vig y Emer; DFF y DFM; Aca y Colhoja con San.

Existió dependencia de RtoTha con San, ColHoja con Aca, lo que coincidió con el comportamiento de los Grupos 1 y 2, por lo antes mencionado y refutado en trabajos de Paz-Pellat *et al.* (2005). Las variables que presentaron independencia RtoTha y DFF, PoMz, Apta, Amz, RamEsp y AnHoja otorgan la posibilidad de lograr la formación del arquetipo deseado (Quiroz *et al.*, 2017) ya que al ser independientes una de la otra pueden combinarse entre ellas, obteniendo un arquetipo con buen rendimiento de grano, de ciclo más corto, porte de planta bajo, hojas erectas (ángulo

de la hoja pequeño) y ramificación de la espiga ya sea más pronunciada o menos ramificada, según el propósito del mejoramiento.



**Figura 3** Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 100 líneas endogámicas del Grupo 3 (líneas 201 – 300), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.

Dada la variabilidad de las líneas mostrada en el biplot de la Figura 3, se pudo seleccionar las líneas  $S_2$  de maíz de mayor rendimiento, apoyado en el primer componente principal, dirigiéndose hacia la parte derecha de la misma Figura 3, se ubicaron las líneas de mayor rendimiento, por lo que las líneas sobresalientes del

Grupo 3 fueron 257, 235, 206, 209, 288, 259, 219, 264, 277 y 233, estas líneas se mostraron más dispersas entre sí, indicando que existe mayor variabilidad en este grupo con respecto a los Grupos 1 y 2.

#### **Grupo 4**

En el Grupo 4 una línea fue eliminada debido a que las plántulas emergidas fueron albinas, sin posibilidades de fotosintetizar, ocasionando su muerte a los 30 días después de la siembra; en este grupo la variación global fue de 43 %, explicada por los tres primeros componentes principales, los dos primeros componentes principales explicaron 27 % y 9 % de la variación global para las 99 líneas.

En el Cuadro 4 se observa la variación de las 99 líneas S<sub>2</sub> de maíz del Grupo 4, el primer componente principal CP1 fue determinado por RtoTha, Pgr, y Pmz; para el segundo componente principal CP2 fueron DFM y DFF; y el tercer componente principal CP3 lo determinaron Mz2 y Pmz2. Con base en los resultados, el componente CP1 estuvo asociado principalmente con el rendimiento de grano, CP2 con días a floración y CP3 con peso y número de mazorcas secundarias.

La dispersión de las 99 líneas S<sub>2</sub> del Grupo 4 se muestra en el biplot de la Figura 4, en donde se consideran las 34 características evaluadas. Se observó la correlación de cada variable con respecto al primer y segundo componente principales; se encontró que RtoTha, Pgr, DFM y DFF presentaron mayor variabilidad debido a que la línea construida en el biplot fue más alargada desde el origen hasta el punto final.

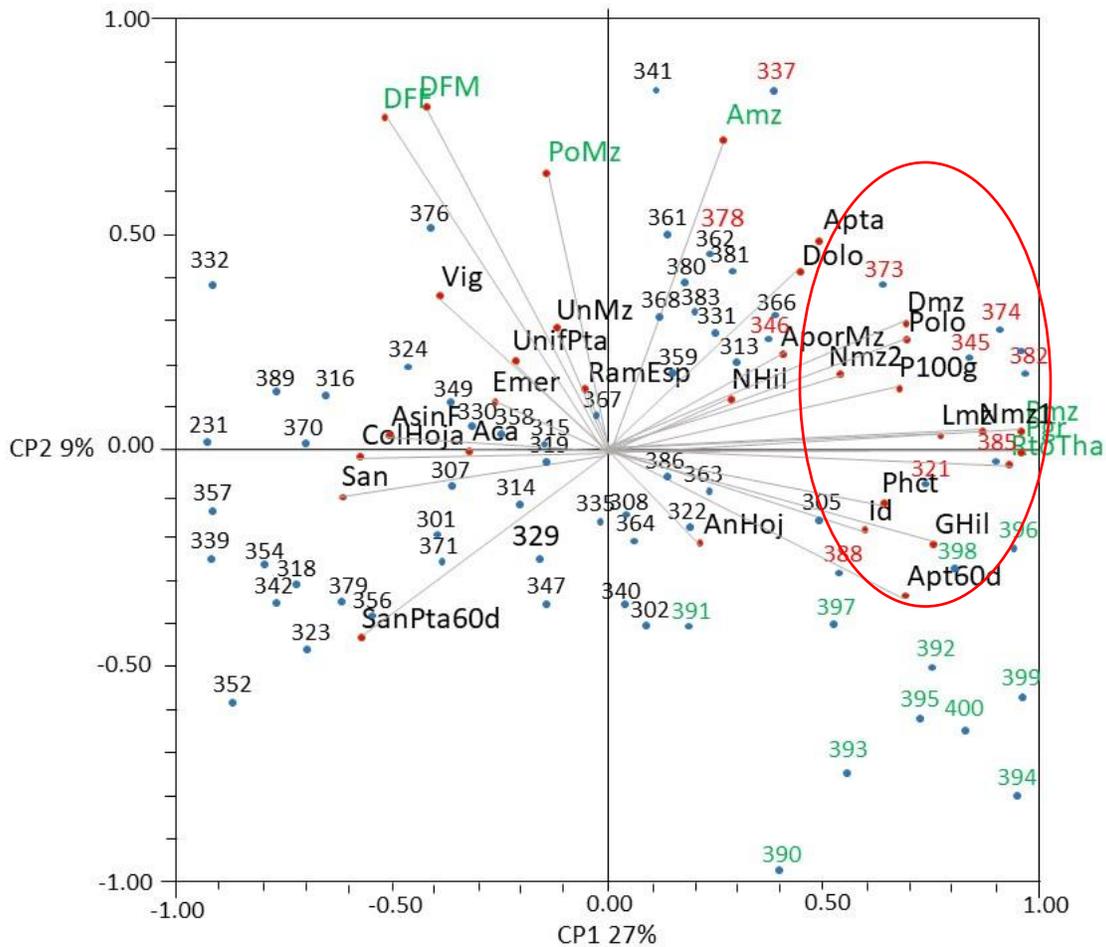
**Cuadro 4. Valores de carga del análisis de componentes principales para la selección de líneas S<sub>2</sub> sobresalientes del Grupo 4. Montecillo, Edo de Méx. 2017.**

<b>Variable</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Emergencia (Emer)	-0.05	0.03	0.06
Vigor (Vig)	-0.10	0.14	0.03
Uniformidad de planta (UnPt60d)	0.01	0.08	-0.12
Sanidad de planta a los 60 días (SanPt60d)	-0.18	-0.23	-0.07
Altura de planta a los 60 días (Apt60d)	0.21	-0.15	-0.13
Acame (Aca)	-0.09	0.02	-0.04
Cobertura de mazorca (CobMza)	0.08	0.05	0.16
Altura de planta (Apta)	0.15	0.27	-0.23
Altura de mazorca (Amz)	0.10	0.40	-0.25
Posición de la mazorca (PoMz)	-0.02	0.35	-0.12
Uniformidad de planta (UnifPta)	-0.03	0.05	0.07
Sanidad de la mazorca (San)	-0.18	-0.03	0.21
Coloración de la hoja (ColHoja)	-0.17	0.00	-0.01
Número de mazorcas primarias (Nmz1)	0.25	0.01	-0.05
Número de mazorcas secundarias (Nmz2)	0.14	0.04	-0.39
Uniformidad de mazorca (UnMz)	-0.04	0.14	0.14
Peso hectolítrico (Phct)	0.20	-0.09	0.02
Floración masculina (DFM)	-0.15	0.44	-0.06
Floración femenina (DFF)	-0.17	0.43	-0.04
Asincronía floral (AsinF)	-0.13	0.06	0.04
Longitud de mazorca (Lmz)	0.23	0.02	0.03
Diámetro de mazorca (Dmz)	0.22	0.16	0.25
Peso individual de mazorca (Pmz)	0.31	0.03	0.10
Diámetro de olote (Dolo)	0.14	0.21	0.35
Peso de olote (Polo)	0.23	0.14	0.27
Número de hileras (NHil)	0.08	0.05	0.24
Granos por hilera (GHil)	0.23	-0.11	-0.09
Peso de 100 granos (P100g)	0.22	0.08	0.15
Peso de grano (Pgr)	0.31	0.02	0.07
Rendimiento por hectárea (RtoTha)	0.30	-0.03	-0.06
Índice de desgrane (Id)	0.19	-0.08	-0.16
Ramificación de la espiga (RamEsp)	-0.02	0.06	0.18
Angulo de la hoja (AnHoj)	0.05	-0.11	-0.13
Aportación de la mazorca secundaria (AporMz2)	0.10	0.06	-0.37
% Varianza Explicada	0.27	0.09	0.07

CP1, CP2 y CP3 = Componente Principal 1, Componente Principal 2 y Componente Principal 3.

Se observó, de la misma manera que en los Grupos 1, 2 y 3, que existe correlación entre las variables DFF y DFM, por lo que, si la floración masculina aumenta la floración femenina de igual manera, lo que es de importancia este aspecto para llevar a cabo la polinización; la correlación entre Colhoja, acame y San, mostró que las plantas más amarillas fueron más susceptibles a enfermedades, dando como resultado plantas débiles (Gómez *et al.*, 2016) que provocaron el acame del tallo, por lo que el comportamiento de estas variables disminuyeron el rendimiento de grano (Rodríguez *et al.*, 2015); y RtoTha, de igual manera que en los demás grupos, mostró relación con número de mazorcas primarias (Nmz1), número de mazorcas secundarias (Nmz2), Peso hectolítrico (Phct), longitud de mazorca (LMz); diámetro de mazorca (Dmz), número de hileras (NHil), número de granos por hilera (GHil), peso de mazorcas primarias (Pmz1) y secundarias (Pmz2), atribuyéndole a estas variables el rendimiento de grano obtenido.

Las variables con independencia fueron de comportamiento igual que en los biplot de las Figuras 1, 2 y 3: RtoTha y DFF, PoMz, Apta, Amz, RamEsp lo que demostró que el rendimiento no interfirió con la floración, posición de mazorca, ramificación de espiga, altura de planta o altura de mazorca, resultados similares se observan en estudios de Quiroz *et al.* (2017) y Van Roekel y Coulter (2011). Las variables con dependencia fueron RtoTha con San, ColHoja con Aca, lo cual indica que la sanidad y el acame fueron factores que afectaron directamente el rendimiento (Paz-Pellat *et al.*, 2005) también pudo observarse cierta dependencia entre altura a los 60 días apt60d y vigor; de acuerdo con Cervantes-Ortiz *et al.* (2016) que señalan que los estados tempranos del desarrollo de la planta se encuentran asociada con el vigor.



**Figura 4. Dispersión de las líneas y distribución de los vectores característicos de la evaluación de 99 líneas endogámicas del Grupo 4 (líneas 301 – 400), en el plano determinado por los componentes principales CP1 y CP2. Montecillo, Edo. de México.**

La variabilidad mostrada por los componentes principales en el biplot de la Figura 4, permitió la selección de las mejores líneas con base en el rendimiento, debido al primer componente principal, otorgando la capacidad de observar cómo se relacionan las líneas S<sub>2</sub> con las demás variables, las cuales fueron: 394, 396, 399, 382, 395, 374, 392, 385, 400 y 345; este grupo de líneas se encontraron más dirigidas hacia la parte baja de la Figura 4, indicando que fueron más precoces con

respecto a los Grupos 1, 2 y 3, se puede observar también que la línea con menor rendimiento fue la línea 332, y dentro del grupo de líneas seleccionadas la línea más precoz con respecto a las líneas seleccionadas fue la 394, lo cual se ubica en parte baja del biplot.

## Conclusiones

El análisis de componentes principales permitió conocer la distribución de la variación, correlación, dependencia e independencia de las 34 variables evaluadas y con ello observar la variación de las líneas.

Mediante el análisis de componentes principales se pudo realizar la selección de las líneas con base en el rendimiento de grano asociado con el primer componente principal y también fue posible valorar su relación con respecto a otras variables.

Aplicando la presión de selección de 10 %, las líneas sobresalientes fueron: en el Grupo 1: 94, 54, 11, 12, 25, 5, 36, 51, 69 y 32; en el Grupo 2: 144, 104, 191, 106, 153, 139, 115, 168, 146 y 105; en el Grupo 3: 257, 235, 206, 209, 288, 259, 219, 264, 277 y 233; y el Grupo 4: 394, 396, 399, 382, 395, 374, 392, 385, 400 y 345, las cuales podrán continuar en el proceso de mejoramiento.

## Bibliografía

- Anderson T. W. 1984. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, second Edition by John Wiley & Sons, Inc. 667 p.
- Chatfield C. and Collins J. Alexander. 1980. Introduction to Multivariate Analysis. Chapman & Hall, London and New York. 243 p.
- Cervantes-Ortiz F., G. García-De los Santos, A. Carballo-Carballo, D. Bergvinson, Luis. Crossa J., M. Mendoza-Elos y E. Moreno-Martínez. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41:425-433.
- Cervantes-Ortiz F., J. Hernández-Esparza, J. A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, G. Rodríguez-Pérez y L. P. Guevara-Acevedo. 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:259-268.
- Gómez M., N. O., F. Palemón A., G. Reyes G., C. del A. Hernández G., M. A. Cantú A., P. Juárez L., y A. Ascencio A. 2016. Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: efecto de ambiente y dosis de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1801-1813.
- Härdle W. Karl and Simar Léopold. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis. Second edition. Berlin Heidelberg Springer-Verlag. 455 p.
- Jolliffe I. T. 2002. Principal Component Analysis. Second Edition New York: Springer-Verlag. 478 p.

- Maji, A. T. and A. A. Shaibu. 2012. Application of principal component analysis for rice germplasm characterization and evaluation. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 46:87-93
- Narayan C. Gili. 1996. *Multivariate statistical ANALYSIS*. New York, New York Marcel Dekker, inc. 375 p.
- Paz-Pellat F., E. Palacios-Vélez, E. Mejía-Sáenz, M. Martínez-Menes, y L. A. Palacios-Sánchez. 2005. Análisis de los espacios espectrales de la reflectividad del follaje de los cultivos. *Agrociencia* 39:293-301.
- Quiroz M. J., D. de J. Pérez L., A. González H., M. Rubí A., F. Gutiérrez R., J. R. P. Franco M., y J. F. Ramírez D. 2017. Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1521-1535.
- Rodríguez F. I., A. González H., D de J., Pérez L y M Rubí A. 2015. Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1943-1955.
- Rohlf F. J. 2009. *NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, Version 2.2*. Exeter Software. Setauket, New York 43 p.
- Santiago-López N., J. J. García-Zavala, A. Mejía-Contreras, A. Espinoza-Banda, U. Santiago-López, G. Esquivel-Esquivel, y J. D. Molina-Galán. 2017. Rendimiento de grano de poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado a Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:147-158.

Van Roekel R. J. and Coulter J. A. 2011. Agronomic responses of corn to planting date and plant density. *Agronomy Journal* 103:1414-1422.

## CAPÍTULO II. VALORACIÓN AGRONÓMICA Y DE RENDIMIENTO DE GRANO DE 400 LÍNEAS S<sub>2</sub> DE MAÍZ PARA EL VALLE DE MÉXICO

### Resumen

El estado de México constituye una área importante en la producción de maíz a nivel nacional, por lo que el objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento de grano y el comportamiento agronómico de 400 líneas S<sub>2</sub> durante el ciclo primavera-verano 2017 (P-V) mediante la prueba *per se*, con la finalidad de identificar líneas sobresalientes que pudieran ser utilizadas en la formación de híbridos o variedades sintéticas para los Valles Altos de México, las líneas se derivaron de 12 compuestos balanceados con alto potencial de rendimiento. El estudio se realizó en 4 experimentos establecidos en campo bajo el diseño experimental látice triple 10 x 10 con tres repeticiones, y para conocer las diferencias se hizo análisis de varianza ( $P \leq 0.01$ ) y comparación de medias con la prueba Tukey. El intervalo de variación del rendimiento de grano de las líneas fue de 0.3 a 11.1 t ha<sup>-1</sup>; en las líneas sobresalientes éste fluctuó entre 5.7 y 11.1 t ha<sup>-1</sup>. En estas líneas sobresalientes Pmz varió entre 100 g y 228 g. La prolificación mostró aportación significativa al rendimiento de grano, así como el diámetro de mazorca y el índice de desgrane. Los resultados demuestran que las líneas seleccionadas (10 %) poseen el potencial genético para continuar en el proceso de mejoramiento genético hasta su posible uso en la formación de híbridos para alto rendimiento.

**Palabras clave adicionales:** *Zea mays* L., rendimiento de grano, líneas.

## Introducción

El maíz es el cultivo más importante del mundo con una producción en 2016 de 1025.6 millones de toneladas (FIRA, 2016). En México, entre los años 2013 y 2016 la producción de maíz para grano aumentó 28.1 %, al incrementarse de 17.3 millones de toneladas a más de 22 millones de toneladas (SAGARPA, 2017). El Estado de México ocupa el tercer lugar, con una participación de 8.2 % de la producción total de México y un volumen de dos millones de toneladas (FIRA, 2016); de 600 mil hectáreas que se siembran con maíz se estima que en 50 % de ellas la productividad es limitada ( $1.2 \text{ t ha}^{-1}$ , promedio), por el temporal deficiente y fechas de siembra tardías, que frecuentemente coinciden con la incidencia de las heladas tempranas (Ávila *et al.*, 2009). El principal desafío para los fitomejoradores son los bajos rendimientos y es necesario incrementar la producción de maíz en México para reducir las importaciones (Bonamico *et al.*, 2004).

En el mejoramiento genético de maíz se aplican dos sistemas: selección e hibridación (Márquez, 1988); en consecuencia, la endogamia y la heterosis son dos aspectos importantes en el proceso genotécnico. La manera más rápida de obtener endogamia es mediante la autofecundación, a mayor grado de endogamia las líneas producen plantas más uniformes y genéticamente homocigóticas (Reyes, 1990). Al cruzar estas líneas, los híbridos resultan uniformes y de mayor vigor que sus progenitores y esto se debe a la heterosis. La heterosis aumenta los rendimientos del maíz desde 15 hasta 50 % (Duvick, 1999; Birchler *et al.*, 2003).

La etapa de mayor relevancia en el proceso de mejoramiento es la generación de líneas, por lo que la evaluación y selección de líneas, permite identificar las de mejor combinación híbrida para aprovechar su heterosis; es importante evaluar las líneas en diferentes localidades para obtener mayor estabilidad (Coutiño y Vidal, 2003).

De acuerdo con Reyes (1990) el desempeño de las líneas se evalúa mediante su aptitud combinatoria general (ACG) y su aptitud combinatoria específica (ACE). Aunque la evaluación *per se* tiene una baja correlación positiva con ACG, es posible identificar y aprovechar el efecto aditivo ya que es una respuesta directa intrapoblacional (Hallauer et al., 2010) que está asociada a la selección de las líneas superiores (Amelong et al., 2017; Pérez-López et al., 2014; Sánchez-Ramírez et al., 2016).

La expresión *per se* de los progenitores permite conocer su patrimonio genético para la producción, el método es rápido y económico, aunque no siempre existe un buen comportamiento positivo *per se* con la relación de alta ACG (Yáñez, 1993; González et al., 1990). Se pueden utilizar líneas de diferente origen genético o con un grado alto de divergencia genética para maximizar la respuesta heterótica (Hoxha, 2004), impactando esta heterosis en características como diámetro de mazorca, número de hileras y número de granos por hilera que son factores principales que intervienen en el incremento del rendimiento de grano (Santiago-López et al., 2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar agrónomicamente 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz, principalmente a través del rendimiento de grano y sus componentes; y con base

en estos criterios seleccionar las líneas sobresalientes para continuar el proceso de endogamia.

### **Materiales y Métodos**

Se evaluaron 400 líneas S<sub>2</sub> divididas en cuatro grupos para su estudio. Los cuatro experimentos se establecieron en el ciclo primavera-verano de 2017 bajo condiciones de riego. La siembra fue manual y se hizo el 18 de abril de 2017 en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, Edo. de México ubicado a 19° 29' N y 98° 53' O, con altitud de 2250 msnm, localizado en los Valles Altos Centrales de México, el clima de la localidad es templado, con lluvias en verano, precipitación media anual de 656 mm y temperatura media anual de 16.3 °C (García, 1987).

Se depositaron dos semillas por mata a 0.19 m entre matas y 0.80 m entre surcos de cuatro metros de largo. Después de la emergencia de las plántulas se raleó a una planta por mata para establecer una densidad de 65 000 plantas/ha. El control de maleza se realizó mediante una aplicación de herbicida Marvel (2 L/ha) y manual. El primer riego se aplicó en la siembra y el segundo a los 8 días después del primero, para asegurar la emergencia, posteriormente se realizaron tres más (después del aporque, en floración y en llenado de grano). La fertilización fue 120-60-00, la mitad de nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y en el segundo aporque se aplicó la otra mitad del nitrógeno.

En los cuatro grupos se tomaron las siguientes variables:

**Rendimiento de grano por hectárea (RtoTha).** Se ajustó a 14 % de humedad y se determinó con la fórmula  $RtoTha = RP * (100-Hum) / 86 * Id * (10000 / D)$ , donde RP = Peso de mazorcas en la unidad experimental (Pmz1 y Pmz2) en kg, Hum = porcentaje de humedad del grano al momento de la cosecha, 86 = factor para estandarizar el rendimiento a 14 por ciento de humedad, Id = índice de desgrane; D = la superficie de la parcela representada en m<sup>2</sup>.

**Longitud de mazorca (Lmz).** Se midieron cinco mazorcas representativas por parcela desde la base hasta la punta de la mazorca, en cm y se promediaron.

**Diámetro de Olote (Dolo).** Se midieron cinco mazorcas representativas por parcela en la parte media del olote en (cm) y se promediaron.

**Peso de la mazorca individual (Pmz).** Se obtuvo al promediar el peso de las cinco mazorcas primarias.

**Número de hileras por mazorca (NHil).** Se contó el total de hileras de granos de la mazorca y se hizo en la parte media de la misma.

**Número de granos por hilera (GHil).** Se tomó el promedio del número de granos de dos hileras por cada mazorca.

**Floración masculina (DFM).** Se tomó cuando más del 50 % de las plantas de la parcela habían liberado polen.

**Floración femenina (DFF).** Se registró cuando más de 50 % de los jilotes habían expuesto sus estigmas.

**Altura de planta (Apta).** Se midieron tres plantas por parcela desde la base del tallo hasta la última hoja ligulada, en cm.

**Sanidad de mazorca (San).** Se registró mediante escala de uno a cinco, de acuerdo a la proporción de pudrición de las mazorcas, donde: 1 = 0 a 20 %; 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 % y 5 = 81 a 100 %; se registró el número de mazorcas por cada nivel de calificación y se obtuvo una media ponderada de sanidad en cada unidad experimental, media ponderada =  $((X_1.Y_1)+(X_2.Y_2)+(X_3.Y_3)+(X_4.Y_4)+(X_5.Y_5))/T$  donde  $X_i$  = número de mazorcas,  $Y_i$  = valor de la escala y  $T$  = número total de mazorcas en la parcela.

**Índice de desgrane (Id).** obtenido de la relación entre el peso del grano con respecto al peso total de la mazorca, tomado del promedio de las 5 mazorcas representativas de la población.

Los cuatro grupos se establecieron bajo un diseño experimental látice triple 10 x 10 con tres repeticiones, siendo la unidad experimental de 4 m de longitud y 0.8 m de ancho con 22 plantas, con un modelo estadístico  $y_{ijk} = \mu + Rep_i + Bloque_j(Rep_i) + \tau_k + e_{ijk}$ . Donde  $y_{ijk}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media general,  $Rep_i$  es el efecto de la réplica de  $i$ ,  $Bloque_j(Rep_i)$  es el efecto de  $j$ -th del bloque incompleto con la  $i$ -th réplica,  $\tau_k$  es el efecto de  $k$ -th tratamiento,  $e_{ijk} \sim NIID(0, \sigma_e^2)$ . Se realizó el análisis estadístico con cada Grupo de 100 líneas S<sub>2</sub> con el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System) versión 9.4, así como la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p = 0.05$ ).

## Resultados y Discusión

### Grupo 1

El análisis de varianza (ANAVA) realizado para evaluar las 100 líneas S<sub>2</sub> de maíz de este grupo mostró diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables evaluadas. En el Cuadro 5 se muestran los cuadros medios del ANAVA para 11 variables que corresponden a las características que se consideraron más relevantes como criterios de selección y caracterización *per se* de las líneas.

**Cuadro 5. Cuadros medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S<sub>2</sub> de maíz del Grupo 1, en los Valles Altos Centrales de México.**

FV	GL	Rendimiento y sus componentes					Fenológicas		Agronómicas		Fisiotécnica	
		RtoTha	Lmz	Dmz	Pmz	NHil	GHil	DFM	DFF	Apta	San	Id
Líneas	99	8.7**	6.29**	0.36**	2589**	6.66**	27.89**	43.77**	41.86**	1135**	1.28**	0.004**
Rep	2	3.38 <sub>ns</sub>	5.81*	0.66*	15303**	2.89 <sub>ns</sub>	5.89 <sub>ns</sub>	28.14**	54.32**	49086**	3.10**	0.044**
Bloq(Rep)	19	3.32**	20.3 <sub>ns</sub>	0.11 <sub>ns</sub>	962*	1.66 <sub>ns</sub>	24.56 <sub>ns</sub>	8.9**	8.59**	1304**	0.56**	0.002**
Error	179	1.38	1.56	0.15	492.3	1.98	6.52	2.79	3.11	289	0.28	0.001
C.V. (%)		31.0	8.8	8.17	18.4	8.6	10.2	1.9	1.9	7.0	19.7	3.4

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; RtoTha = Rendimiento de grano por ha; Lmz = Longitud de mazorca; Dmz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras por mazorca; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca; Id = Índice de desgrane; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo.

El coeficiente de variación presentó valores desde 1.9 hasta 31.0 %; siendo el rendimiento de grano con mayor valor de coeficiente de variación. La fuente de variación repeticiones (Rep) no mostró diferencias significativas para RtoTha, NHil y GHil; para bloques (Bloq(Rep)) las diferencias no fueron significativas para Lmz, Dmz, NHil y GHil. Esto indica que las repeticiones en el diseño experimental no fueron homogéneas afectando entre repetición y entre bloques. La baja sanidad de las plantas en algunas parcelas debido a que en el terreno hubo presencia significativa de *Fusarium graminearum* (CIMMYT, 2004) provocó efectos negativos sobre las plantas ocasionando el secamiento y muerte de éstas, el cual fue diferenciado entre repeticiones.

En el Cuadro 6 se muestran los valores medios de las características evaluadas de las líneas sobresalientes del Grupo 1 y rangos máximos y mínimos del grupo. El rendimiento de grano (RtoTha) de las 100 líneas S<sub>2</sub> de maíz fue en promedio de 3.7 t ha<sup>-1</sup> con una variación de 0.6 a 10.1 t ha<sup>-1</sup> y el coeficiente de variación alto (31 %). Sin embargo, de las líneas sobresalientes, la variación mostrada para rendimiento fluctuó de 5.7 a 10.1 t ha<sup>-1</sup>.

Las líneas S<sub>2</sub> sobresalientes (presión de selección = 10 %) fueron: 94, 54, 11, 12, 25, 5, 36, 51, 69 y 32 que obtuvieron un rendimiento de grano entre 10.1 y 5.7 t ha<sup>-1</sup>, en este grupo destaca notoriamente la línea 94 con 10.1 t ha<sup>-1</sup>; estos rendimientos son cercanos o similares a los de los híbridos mencionados por Tadeo-Robledo *et al.* (2015a) y Reynoso *et al.* (2014) recomendados para siembras en los Valles Altos del Centro de México. De acuerdo con Espinosa *et al.* (2003) y Buenrostro-Robles *et al.* (2017) las líneas de maíz que deben ser consideradas como progenitores

femeninos para la formación de híbridos de cruce simple deben producir rendimientos mínimos de 3.0 t ha<sup>-1</sup>; al contrastar las líneas seleccionadas de este grupo, se evidencia el gran potencial que tienen como candidatos a la formación de híbridos trilineales o de cruce simple.

Las líneas sobresalientes tuvieron el peso individual de mazorca (Pmz) entre 133 y 202 g, y la segunda mazorca aportó desde 0 hasta 17 % al rendimiento de grano, como en la línea 36 que en la mazorca superior tuvo el menor peso (133 g) pero por la expresión de la segunda mazorca su rendimiento se incrementó en 17 %.

En general, las líneas seleccionadas del Grupo 1 tuvieron la longitud de mazorca (Lmz) desde 13.8 a 16.7 cm, aunque fueron estadísticamente iguales, de acuerdo al análisis de medias Tukey, y diámetro de mazorca de 4.5 a 5.6 cm, por lo que la única línea diferente entre las sobresalientes fue la línea 36, siendo ésta la de menor diámetro de mazorca (Dmz) y menor peso de mazorca (Pmz); los datos de Pmz, Lmz y Dmz fueron similares a los obtenidos por Buenrostro-Robles *et al.* (2017).

Estas variables, junto con el número de hileras (NHil) y el número de granos por hilera (GHil), son importantes debido a que forman parte de los componentes del rendimiento (Santiago *et al.*, 2017) por lo cual su consideración es relevante para incrementar el rendimiento de las líneas sobresalientes, las cuales también tuvieron entre 16 a 20 hileras por mazorca y de 25 a 30 granos por hilera.

**Cuadro 6. Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S<sub>2</sub> sobresalientes y las tres de menor expresión del Grupo 1 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	RtoTha (t ha <sup>-1</sup> )	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (g)	NHil	GHil	DFM (días)	DFF (días)	Apta (cm)	San	Id
94	L7-2-1	10.1a	16.5ac	5.6ab	202a	16.0ae	30.4ab	84sv	85uv	245aj	2.4bm	0.80ac
54	L2-1-1	7.8ab	16.3ad	5.2af	179ad	18.0ad	24.5ak	95ah	98aj	276ac	2.4am	0.83ac
11	L11-16-1	7.7ac	16.7ab	4.9ag	179ad	16.0ae	27.7ai	91dq	94dr	256aj	2.1dm	0.80ac
12	L3-6-1	7.0ad	16.5ac	5.1ag	167af	16.0ae	31.3a	90fs	93ht	233bj	2.3cm	0.87ab
25	L7-27-1	6.6ae	15.7ae	4.8ag	186ab	16.7ae	28.9af	90es	94et	219cj	1.8gm	0.80ac
5	L10-1-1	6.5af	15.8ae	5.3ad	163ag	18.0ad	29.7ad	91co	94ds	266af	2.0dm	0.83ac
36	L7-3-1	6.2ag	15.5ae	4.5bg	133al	16.0ae	27.3aj	88ju	93ht	230bj	1.7hm	0.83ac
51	L11-16-4	5.9bh	14.8ag	4.8ag	144ak	16.0ae	27.8ai	95ag	99ah	266af	1.9fm	0.80ac
69	L10-3-2	5.8bi	13.8ai	5.0ag	160ah	20.0a	27.9ah	91co	95bp	238aj	1.8gm	0.90a
32	L10-5-1	5.7bj	16.0ae	4.7ag	141al	18.7ac	29.7ad	93al	97ak	242aj	2.1dm	0.80ac
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	L10-3-5	0.8ln	14.4ah	4.8ag	68kn	18.0ad	22.9al	89iu	93gt	258ai	3.7af	0.80ac
21	L8-8-1	0.6mn	10.1ij	4.5bg	51mn	19.3ab	19.0hl	91dq	93ft	215dj	3.5ak	0.77ac
81	L9-1-1	0.6n	9.4j	4.2fg	35n	13.3de	15.3l	94aj	98ai	257ai	4.3a	0.77ac
Media		3.7	14.1	4.7	120	16	25	90	93	2.4	2.7	0.81
Máximo		10.1	16.9	5.7	201.5	20	31.3	98	102	299	4.3	0.90
Mínimo		0.6	9.4	4.1	35.4	12	15.3	79	83	195	1.5	0.70
DMS		3.0	4.5	1.4	79.57	5.0	9.1	6.0	6.3	61.0	1.9	0.10

RtoTha = Rendimiento de grano; LMz = Longitud de mazorca; Dmz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca (escala 1-5); Id = Índice de desgrane (%).

Las líneas sobresalientes del Grupo resultaron de ciclo intermedio, con 84 a 95 días a floración masculina (DFM) y de 85 a 99 días a floración femenina (DFF), vigorosas, con altura de planta de 219 a 276 cm, los datos son similares a los de los híbridos de Reynoso *et al.* (2014) para los Valles Altos.

Las líneas con menor rendimiento (Cuadro 6) mostraron valores en la escala de sanidad de mazorca de 3.7 a 4.3 y las líneas superiores se ubicaron en una severidad de 1.7 a 2.4, lo cual se interpreta que las mazorcas más enfermas reducen fuertemente su rendimiento, esto es mencionado por Gómez *et al.* (2016). La línea 69 y 12 obtuvieron el mayor índice de desgrane; estos datos son similares a los de los trabajos de Ángeles-Gaspa *et al.* (2010) y Pecina *et al.* (2011).

## **Grupo 2**

En el Grupo 2, el análisis de varianza indicó la existencia de diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables evaluadas (Cuadro 7).

Entre repeticiones hubo diferencias altamente significativas, excepto para las variables RtoTHa, NHil, Apta y San; en bloques (Bloq(Rep)) sólo Lmz, Pmz, GHil y San mostraron diferencias significativas, indicando que entre las repeticiones y entre los bloques las unidades experimentales fueron diferentes, esta respuesta se interpreta por la baja sanidad en que algunas parcelas se encontraban ya que se presentó con cierta aleatoriedad en el terreno experimental el hongo *Fusarium graminearum*.

**Cuadro 7. Cuadros medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S<sub>2</sub> de maíz del Grupo 2, en los Valles Altos Centrales de México.**

FV	GL	Rendimiento y sus componentes					Fenológicas		Agronómicas		Fisiotécnica	
		RtoTha	Lmz	Dmz	Pmz	NHil	GHil	DFM	DFF	Apta	San	Id
Líneas	99	9.42**	5.63**	0.44**	2033**	7.72**	29.63**	44.33**	46.06**	1483**	1.2**	0.004**
Rep	2	0.7 <sub>ns</sub>	6.49**	1.92**	23868**	0.28 <sub>ns</sub>	37.96**	26.06**	24.89**	598 <sub>ns</sub>	0.09 <sub>ns</sub>	0.05**
Bloq(Rep)	19	1.79 <sub>ns</sub>	2.5*	0.21 <sub>ns</sub>	747*	1.12 <sub>ns</sub>	24.93**	3.22 <sub>ns</sub>	2.79 <sub>ns</sub>	270 <sub>ns</sub>	0.48*	0.001 <sub>ns</sub>
Error	179	1.79	1.47	0.17	423	1.66	7.67	4	4.39	306	0.28	0.001
C.V. (%)		31.9	8.9	9.3	18.2	7.9	11.3	2.2	2.2	7.7	22.6	4.3

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; RtoTha = Rendimiento de grano por ha; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras por mazorca; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca; Id = Índice de desgrane; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo.

También el coeficiente de variación obtuvo una variación de 2.2 a 31.9 %; siendo el rendimiento de grano de mayor valor en el análisis de varianza. Al comparar el comportamiento de las líneas del Grupo 2 en sus características de rendimiento y componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas, en promedio tuvieron un intervalo de variación de rendimiento de grano desde 0.7 t ha<sup>-1</sup> hasta 8.4 t ha<sup>-1</sup>, con un promedio general de 4.1 t ha<sup>-1</sup>, no obstante, se debe considerar en este resultado que el rendimiento estuvo influenciado por la baja sanidad de las planta y mazorcas.

De las 100 líneas S<sub>2</sub> del Grupo 2, las sobresalientes fueron: 144, 104, 191, 106, 153, 139, 115, 168, 146 y 105 y obtuvieron RtoTha desde 8.4 hasta 6.6 t ha<sup>-1</sup>, la línea 144 fue la de mayor rendimiento en este grupo con 8.4 t ha<sup>-1</sup> aunque

estadísticamente las diez líneas superiores fueron iguales; considerando que el rendimiento mínimo de una buena línea progenitora es de 3.0 t ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con Buenrostro-Robles *et al.* (2017), éstas resultan ser materiales con gran potencial genético.

Las líneas sobresalientes obtuvieron un peso individual de mazorca (Pmz) entre 124 y 186 g, en algunas la aportación de la segunda mazorca al rendimiento de grano fue de importante (la de mayor proliferación fue la línea 168, con 28 % de aportación). Las líneas sobresalientes mostraron variación en longitud de mazorca (Lmz), de 13.1 a 15.7 cm, similares a los datos de los híbridos de Rodríguez *et al.* (2017). El diámetro de mazorca (Dmz) mostró variación de 4.0 a 5.1 cm, aunque estadísticamente fueron iguales entre las líneas sobresalientes; el número de hileras (NHil) fluctuó desde 14 hasta 17.3 y con número de granos por hilera (GHil) de 26 a 29; estas variables al ser parte de los componentes de rendimiento son de mucha importancia, los cuales resultaron favorables y aún similares a los valores de los componentes de rendimiento de los híbridos mencionados por Tadeo-Robledo *et al.* (2015b).

La altura de planta fluctuó entre 221 y 269 cm mostrando porte vigoroso y apropiado para las líneas; entre el grupo de seleccionadas todas fueron estadísticamente similares en este carácter, y con período a floración intermedio a tardío: de 88 a 96 días la floración masculina (DFM), consecuentemente los días a floración femenina (DFF) de 89 a 99 días. En los híbridos de Rodríguez *et al.* (2017) se presentan datos similares.

**Cuadro 8. Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S<sub>2</sub> sobresalientes y las tres de más baja expresión del Grupo 2 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	RtoTha (t ha <sup>-1</sup> )	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (g)	NHil	GHil	DFM (Días)	DFF (Días)	Apta (cm)	San	Id
144	L11-5-2	8.4a	15.7ad	4.8ae	186a	17.3af	29.0ac	93ao	96bn	269ac	1.5fl	0.85ab
104	L4-24-1	7.8ab	15.6ad	4.4af	155af	16.0bf	26.2af	92ar	95bo	224al	1.7cl	0.86ab
191	L10-6-4	7.5ac	13.9ai	4.3af	129al	16.7af	27.6ad	95aj	99ag	249ah	1.8bl	0.86ab
106	L10-1-2	7.4ad	14.4ah	5.1ab	168ab	17.3af	29.1ac	90du	92er	264ae	2.0al	0.85ab
153	L8-8-3	7.1ae	13.7ai	5.0ac	141ai	16.0bf	27.0ae	88hu	92er	223al	1.8bl	0.85ab
139	L10-6-2	6.9ae	14.6ah	4.2af	145ah	16.7af	28.5ad	93ao	97ak	272ab	1.6el	0.86ab
115	L10-5-3	6.9af	15.5ae	4.1af	140aj	17.3af	29.1ac	90du	92eq	227al	1.0l	0.86ab
168	L4-9-1	6.9ag	15.5af	4.2af	124al	16.0bf	27.3ae	85pw	89ns	235al	1.5fl	0.89ab
146	L5-7-2	6.7ah	14.2ai	5.2a	166ac	16.0bf	25.7af	91bu	94cq	221al	1.9al	0.82ab
105	L8-1-1	6.6ai	13.1ai	4.0cf	127al	14.0ef	25.1af	96ae	98ah	216bl	1.6el	0.84ab
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
108	L11-5-1	1.2np	14.2ai	4.4af	82fn	16.7af	21.9bg	94ak	98ah	244aj	3.7a	0.79ab
174	L4-13-1	0.8op	13.9ai	4.3af	55ln	16.7af	25.0af	96af	99ag	242ak	3.5ad	0.70b
161	L9-9-2	0.7p	11.0gi	3.8df	47mn	14.0ef	20.2cg	90cu	95bo	219al	2.8al	0.81ab
Media		4.1	13.6	4.4	113	16.3	24.4	90.4	94.1	226	2.3	0.84
Máximo		8.4	17	5.2	186	20.7	33.9	98.7	103.7	280	3.7	0.91
Mínimo		0.7	10	3.6	45.9	13.3	14.6	78.7	83.3	178	1.0	0.70
DMS		4.8	4.3	1.5	73.75	4.6	9.9	7.2	7.5	62.8	1.9	0.13

RtoTha = Rendimiento de grano; LMz = Longitud de mazorca; Dmz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca (escala 1-5); Id = Índice de desgrane (%).

En este Grupo 2 se tuvo una calificación de sanidad de mazorca de 1.5 a 2.0 para las líneas con mayor rendimiento y para las de menor rendimiento de 2.8 a 3.7, también se encontró correlación negativa entre el rendimiento y la sanidad; es decir, entre más enfermas estuvieron las mazorcas menos rendimiento presentaron. En este grupo es notable la línea 115 que mostro mazorcas completamente sanas, por lo que se le considera un buen germoplasma para tolerancia a las enfermedades. El índice de desgrane para las líneas del Grupo 2 fue similar al ID que muestran los trabajos de Ángeles-Gaspa *et al.* (2010) y Pecina *et al.* (2011), con valores de entre 0.82 y 0.89, deseables en la producción de maíz. En esta característica destaca la línea 168 con excelente índice de desgrane (0.89), y en la línea 146 que es una buena línea por otras características, se requiere continuar trabajándola para incrementar su índice de desgrane (0.82).

### **Grupo 3**

El análisis de varianza realizado en este grupo indica la presencia de diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en todas las variables evaluadas. El coeficiente de variación fluctuó de 2.1 a 31.4 %, siendo el rendimiento de grano el de mayor valor. En este grupo se muestra a las fuentes de variación repeticiones (Rep) y bloques (Bloq(Rep)) con diferencias no significativas, significativas y altamente significativas en muchas de las variables estudiadas, atribuible a la diferencia de homogeneidad en la sanidad de las unidades experimentales.

**Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 100 líneas S<sub>2</sub> de maíz del Grupo 3, en los Valles Altos Centrales de México.**

FV	GL	Rendimiento y sus componentes					Fenológicas		Agronómicas		Fisiotécnica	
		RtoTha	Lmz	Dmz	Pmz	NHil	GHil	DFM	DFF	Apta	San	Id
Líneas	99	11.0**	5.63**	0.47**	2287**	8.0**	26.8**	48.72**	50.17**	1300**	1.52**	0.004**
Rep	2	1.34 <sub>ns</sub>	5.11*	1.69**	8235**	2.14 <sub>ns</sub>	12.7 <sub>ns</sub>	18.4**	44.06**	119 <sub>ns</sub>	0.31 <sub>ns</sub>	0.03**
Bloq(Rep)	19	1.98 <sub>ns</sub>	1.76 <sub>ns</sub>	0.21 <sub>ns</sub>	410 <sub>ns</sub>	2.56 <sub>ns</sub>	8.93 <sub>ns</sub>	12.79**	16.87**	637 <sub>ns</sub>	0.26 <sub>ns</sub>	0.0005 <sub>ns</sub>
Error	179	1.23	1.65	0.17	484	1.84	10.0	3.9	3.99	414	0.31	0.001
C.V. (%)		31.4	9.6	9.1	19.8	8.5	12.7	2.1	2.1	9.7	24.4	4.3

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; RtoTha = Rendimiento de grano por ha; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras por mazorca; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca; Id = Índice de desgrane; \*\* = P ≤ 0.01; \* = P ≤ 0.05; ns = No significativo.

Las líneas expresaron gran variabilidad entre ellas, con el rendimiento de grano (RtoTha) promedio de 3.5 t ha<sup>-1</sup> e intervalo de variación de 0.3 a 11.1 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 10); en este grupo se ubicó la línea con mayor rendimiento de los cuatro grupos estudiados.

En el Cuadro 10 se muestran los valores promedio para las características estudiadas en el Grupo 3, las diez mejores líneas tuvieron RtoTha que fluctuó entre 11.1 y 5.9 t ha<sup>-1</sup>; considerando que el promedio de rendimiento de grano en el estado de México es de 3.5 (SIAP, 2018), estas líneas sobresalientes tienen alto potencial de rendimiento, de ellas destaca

la línea 257 con  $11.1 \text{ t ha}^{-1}$  y muy buenas características agronómicas, ya que sobresale de manera considerable en la mayoría de las variables.

Las diez mejores líneas del Grupo 3 fueron: 257, 235, 206, 209, 288, 259, 219, 264, 277 y 233 las cuales tuvieron peso individual de mazorca (Pmz) que fluctuó desde 100 hasta 228 g; es notorio que en este grupo se encontró la línea con Pmz más bajo de todas las líneas sobresalientes, fue la línea 219 con 100 g y le siguió la línea 206 con 126 g; sin embargo, ésta línea se ubicó en tercer lugar de mejor rendimiento del Grupo con  $7.8 \text{ t ha}^{-1}$ , ya que fue determinante y significativa la aportación de la mazorca secundaria para el rendimiento final (14 %).

Las líneas de mayor rendimiento presentaron longitud de mazorca desde 12.7 hasta 17.4 cm con diferencias significativas; el diámetro de mazorca fue de 4.0 a 5.1 cm siendo valores altamente significativos. En estas variables se presentó mayor variabilidad entre líneas del Grupo con respecto a los Grupos 1 y 2; no obstante, demuestran similitud con los híbridos mencionados por Buenrostro-Robles *et al.* (2017).

El número de hileras fue de 14.7 a 19.3 hileras, con número de granos por hilera de 26 a 37; fue en este grupo donde se ubicaron las líneas con mayor número de granos, componente muy importante del rendimiento de grano (Santiago *et al.*, 2017), otorgándole a la línea 257 las mejores características para expresar su alto rendimiento.

**Cuadro 10. Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S<sub>2</sub> sobresalientes y las tres de más baja expresión del Grupo 3 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	RtoTha (t ha <sup>-1</sup> )	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (g)	NHil	GHil	DFM (días)	DFF (días)	Apta (cm)	San	Id
257	L10-1-9	11.1a	17.4ab	5.1ab	228a	19.3ac	37.0a	88oy	92mw	248a	1.3fg	0.86ab
235	L12-8-3	8.3ab	14.4af	4.8ad	133bf	17.3af	28.6ad	91jx	93iw	230ac	1.9cg	0.86ab
206	L9-3-2	7.8ac	14.5af	4.3ag	126bi	14.7cf	26.1ae	88py	90sw	230ac	1.1g	0.88ab
209	L10-3-1	6.9bc	13.5bh	4.6ag	138bf	19.3ac	26.4ae	92hx	95hv	248a	1.5eg	0.89ab
288	L7-21-2	6.3be	13.9bh	4.3ag	136bf	16.0af	26.6ae	93ev	96fu	229ad	1.5eg	0.85ab
259	L2-24-3	6.0bf	12.8ch	4.7ad	138bf	19.3ac	26.3ae	85xy	88vw	195ae	1.8dg	0.91a
219	L10-5-6	6.0bg	14.5af	4.0cg	100bi	18.0ae	29.3ad	93ev	97cr	216ae	1.4eg	0.88ab
264	L1-3-3	6.0bg	13.9bh	4.7ad	153ac	15.3bf	26.6ae	94ds	96fu	209ae	1.3fg	0.88ab
277	L8-1-2	6.0bh	14.1bg	4.7ad	141be	16.7af	27.8ae	102ac	106ab	193ae	1.5eg	0.84ab
233	L2-24-2	5.9bh	12.7ch	4.5ag	123bi	16.7af	25.7ae	86uy	90rw	215ae	1.6eg	0.89ab
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
205	L6-2-2	0.7op	13.2bh	4.5ag	88bi	17.3af	25.0be	92gw	97ds	187ae	2.1cg	0.86ab
266	L10-14-1	0.5op	12.5ch	3.5g	51hi	15.3bf	24.1be	97bl	100bj	181ae	3.2af	0.83ab
229	L12-5-2	0.3p	15.5ad	3.6eg	60fi	12.7f	25.2be	94dr	98cq	199ae	4.7a	0.78ab
Media		3.5	13.4	4.4	111	15.9	24.8	92.5	96.2	210	2.3	0.85
Máximo		11.1	18.7	5.1	228	20.7	37.0	106.0	108.0	251	4.7	0.91
Mínimo		0.3	9.4	3.5	47	12.7	17.3	83.0	87.3	154	1.1	0.75
DMS		4.0	4.6	1.5	78.5	4.9	11.3	7.1	7.2	73.0	2.0	0.13

RtoTha = Rendimiento de grano; LMz = Longitud de mazorca; Dmz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca (escala 1-5); Id = Índice de desgrane (%).

Este grupo de líneas presentó una altura de planta en el intervalo de 193 a 248 cm, no habiendo diferencias significativas entre las líneas sobresalientes, la altura observada fue aceptable ya que dependiendo de su arquetipo se podrían trabajar para soportar mayores densidades de población: con ciclo intermedio a tardío (85 a 102 DFM y 88 a 106 DFF), similares a los híbridos mencionados (Rodríguez *et al.* 2017). Presentaron calificación de sanidad de mazorca de 1.1 a 1.9, por lo que se considera que poseen un excelente índice de sanidad, mientras que las de bajo rendimiento obtuvieron índices de 2.1 a 4.7; el índice de desgrane también fue aceptable, por lo que, de acuerdo a la prueba de medias, las líneas sobresalientes resultaron estadísticamente iguales y con valores de índice altos (Pecina *et al.* 2011).

#### **Grupo 4**

El análisis de varianza realizado de las líneas de maíz S<sub>2</sub> del Grupo 4, en las variables fenológicas, agronómicas, fisiotécnicas y de rendimiento de grano y sus componentes se presenta en el Cuadro 11. En él se aprecia la existencia de diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables estudiadas. Una línea de este grupo fue eliminada debido a que presentó genes letales de albinismo, dando como consecuencia la muerte de las plántulas.

**Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de 99 líneas S<sub>2</sub> de maíz del Grupo 4, en los Valles Altos Centrales de México.**

FV	GL	Rendimiento y sus componentes					Fenológicas		Agronómicas		Fisiotécnica	
		RtoTha	Lmz	Dmz	Pmz	NHil	GHil	DFM	DFF	Apta	San	Id
Líneas	98	8.63**	6.18**	0.45**	2233**	5.22**	30.63**	48.74**	50.88**	1527**	1.48**	0.004**
Rep	2	3.21 <sub>ns</sub>	2.56 <sub>ns</sub>	1.16**	18070**	56.28**	84.58**	19.768**	24.60**	115 <sub>ns</sub>	0.83*	0.032**
Bloq(Rep)	19	1.69 <sub>ns</sub>	1.1 <sub>ns</sub>	0.17 <sub>ns</sub>	400 <sub>ns</sub>	1..12 <sub>ns</sub>	6.45 <sub>ns</sub>	6.84**	7.28 <sub>ns</sub>	589**	0.24 <sub>ns</sub>	0.002*
Error	177	1.3	1.51	0.19	484	2.32	6.89	3.52	5.0	222	0.26	0.001
C.V. (%)		30.4	9.0	10.1	20.2	10.2	10.7	2.1	2.4	7.0	23.1	3.9

FV = Fuente de variación; GL = Grados libertad; RtoTha = Rendimiento de grano por ha; Lmz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras por mazorca; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca; Id = Índice de desgrane; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = No significativo.

Las 99 líneas S<sub>2</sub> tuvieron en promedio de rendimiento de grano (RtoTha) 3.7 t ha<sup>-1</sup>. Su intervalo de variación fue de 0.4 a 8.4 t ha<sup>-1</sup>; sin embargo, las diez líneas sobresalientes (Cuadro 12) tuvieron RtoTha entre 8.4 y 5.3 t ha<sup>-1</sup> y en las líneas testigo (líneas sobresalientes del Programa de Mejoramiento de Fisiotecnia-CP) se presentó una variación desde 3.4 hasta 9.6 t ha<sup>-1</sup>, en este grupo las líneas en estudio resultaron con el rendimiento más bajo con respecto a las líneas testigo; no obstante, de acuerdo con estudios realizados por Vélez-Torres *et al.* (2018) y Buenrostro-Robles *et al.* (2017) que muestran rendimientos entre 7 a 11 t ha<sup>-1</sup> en híbridos, las líneas sobresalientes de esta investigación resultaron ser excelente germoplasma para continuar avanzando en ciclos de autofecundación para incrementar su endogamia.

En el Cuadro 12 se presentan las 10 líneas sobresalientes 382, 374, 385, 345, 321, 346, 373, 337, 388 y 378 más 11 líneas testigo: 394, 396, 399, 395, 392, 400, 397, 393, 390, 398 y 391. Las líneas sobresalientes obtuvieron un peso individual de mazorca (Pmz) que fluctuó entre 121 a 204 g, con poca contribución al rendimiento de segundas mazorcas (1 a 10 %); la longitud de mazorca fue desde 12.1 hasta 18.1 cm, la línea 382 tuvo buen rendimiento y mazorcas largas; el diámetro que se obtuvo entre el grupo de sobresalientes fue de 4.2 a 5.1 cm, y número de hileras de 14.0 a 17.3; este fue el grupo de mazorcas más delgadas; es decir, el que presentó el promedio de hileras más bajo, pero fue compensado con otras variables como el número de granos por hilera que fue desde 23 hasta 33.8 granos, valor superior al número de granos de los Grupos 1 y 2; estas características son importantes ya que forman parte de los componentes del rendimiento.

Las líneas sobresalientes presentaron la altura de planta de 195 a 265 cm, con porte similar al de los Grupos 1, 2, y 3; el período a floración fue de intermedio a tardío desde 85 hasta 104 DFM y desde 88 hasta 105 DFF, es importante señalar que los genotipos precoces de este Grupo 4 correspondieron a las líneas testigo, con 75 a 85 DFM y 77 a 87 DFF.

Las líneas sobresalientes del Grupo 4 presentaron índices de sanidad de mazorca de 1.3 a 2.4 y en las de bajo rendimiento los valores se incrementaron considerablemente, de 3.8 a 4.4, mostrando las líneas testigo muy buena tolerancia a enfermedades de la mazorca (1.3 a 2.8), similar a las de las líneas sobresalientes, también tuvieron comportamiento similar a los tres grupos anteriores.

**Cuadro 12. Valores promedio del rendimiento de grano y sus componentes, de las características agronómicas, fenológicas y fisiotécnicas de las 10 líneas S<sub>2</sub> sobresalientes, 11 testigos y las tres de más baja expresión del Grupo 4 de líneas de maíz para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	RtoTha (t ha <sup>-1</sup> )	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (g)	NHil	GHil	DFM (días)	DFF (días)	Apta (cm)	San	Id
Líneas sobresalientes												
382	L4-13-2	8.4ad	18.1a	4.5ah	204a	14.7ac	33.8a	88lv	91iq	265ab	1.5gl	0.83ae
374	L1-10-1	7.4af	15.5af	4.5ah	164ae	16.7ac	26.9ak	91gr	93gq	225bn	1.3hl	0.82ae
385	L6-5-1	6.8ah	15.9ae	4.8af	165ae	16.7ac	30.1af	88kv	91jr	245ah	1.4gl	0.86ae
345	L9-13-2	6.6ai	16.3ac	4.2bi	159af	14.0ac	30.9ad	93en	96cm	249ae	1.7gl	0.88ac
321	L7-10-2	6.5aj	15.2ag	4.6ah	150ah	14.0ac	27.3ak	91gr	95eo	234ak	1.9dl	0.90ab
346	L5-9-4	6.0ak	12.1bl	4.5ah	126an	15.3ac	25.3am	91gr	95eo	253ac	1.5gl	0.83ae
373	L6-4-3	5.7al	14.6ak	5.1ab	143al	17.3ab	24.5ao	91gr	94ep	220bp	1.6gl	0.80ae
337	L4-8-2	5.5bm	14.4al	4.8af	121bo	16.7ac	28.4ai	104a	105ab	247af	1.4hl	0.85ae
388	L8-3-1	5.4bn	14.5al	4.7ag	122bo	14.7ac	25.7am	85px	88nt	213bq	2.0cl	0.90ab
378	L4-24-4	5.3cn	14.1al	4.4ai	128an	14.0ac	23.0co	94dl	99bj	214bq	2.4cl	0.86ae
Líneas Testigo												
394	Testigo	9.6a	15.2ah	4.5ah	167ac	16.0ac	32.5ab	77za	78uv	213bq	1.6gl	0.86ae
396	Testigo	9.4ab	14.7ai	4.3bi	157ag	15.3ac	30.5ae	84sy	87ot	215bq	1.3il	0.84ae
399	Testigo	9.0ac	16.4ab	4.9ae	158af	14.0ac	29.4ah	77ya	81tv	227bm	2.4cl	0.88ac
395	Testigo	7.5ae	15.3af	4.4ai	151ah	15.3ac	31.3ac	82tz	83rv	208cr	1.6gl	0.87ae
392	Testigo	7.1ag	15.5af	5.1ab	165ad	15.3ac	30.2af	82uz	82sv	195fs	2.4cl	0.87ad
400	Testigo	6.8ah	16.0ad	4.6ah	150ai	14.7ac	29.7ag	80xa	81tv	241ai	1.2jl	0.84ae
397	Testigo	6.5aj	13.5bl	4.7ag	136am	15.3ac	28.1aj	81wa	85qu	213bq	1.7gl	0.86ae
393	Testigo	5.7al	14.7aj	4.5ah	142al	17.3ab	28.5ai	75a	77v	204cs	2.2cl	0.85ae
390	Testigo	5.2co	14.2al	4.2bi	122bo	12.7bc	28.1aj	76za	78uv	189is	2.0cl	0.84ae
398	Testigo	4.6du	15.9ae	5.0ae	172ab	16.7ac	29.8ag	85qx	86pt	204cs	2.8al	0.84ae
391	Testigo	3.4fv	13.3bl	4.8af	121bo	16.0ac	25.1an	81wa	85qu	216bp	2.2cl	0.86ae
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

**Cuadro 12. Continuación ...**

Línea	Genealogía	RtoTha (t ha <sup>-1</sup> )	Lmz (cm)	Dmz (cm)	Pmz (g)	NHil	GHil	DFM (días)	DFF (días)	Apta (cm)	San	Id
352	L12-1-1	0.6uv	12.0cl	3.3i	39pq	14.0ac	21.2eo	86nx	90kr	162qs	4.4ab	0.79ae
339	L11-7-6	0.6uv	10.9gl	3.7ei	39q	13.0bc	16.8lo	93em	98bl	212bq	4.5a	0.70e
332	L10-5-1	0.4v	10.3kl	3.7fi	47oq	15.0ac	18.5ko	102ab	107a	222bo	3.8ac	0.71de
Media		3.7	13.6	4.3	109	14.9	24.4	90.6	94.1	213	2.2	0.84
Máximo		8.4	18.1	5.5	204	18.7	33.8	104.0	107.3	282	4.5	0.91
Mínimo		0.4	10.2	3.3	39	11.3	15.0	74.7	76.7	153	1.0	0.70
DMS		4.1	4.4	1.6	78.9	5.5	9.4	6.7	8.0	53.4	1.8	0.12

RtoTha = Rendimiento de grano; LMz = Longitud de mazorca; Dmz = Diámetro de mazorca; Pmz = Peso individual de mazorca; NHil = Número de hileras; GHil = Número de granos por hilera; DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina; Apta = Altura de planta; San = Sanidad de mazorca (escala 1-5); Id = Índice de desgrane (%).

El índice de desgrane mostró diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de comparación de medias, y éste alto y similar al reportado por Pecina *et al.* (2011).

El número de mazorcas secundarias (proliferación) fue un factor muy importante para el rendimiento de algunas líneas sobresalientes, como se observa en el trabajo de Reynoso *et al.* (2014) que presenta datos de materiales sobresalientes por rendimiento de grano, donde dicho rendimiento se explica por la presencia de alta proliferación.

## Conclusiones

Se presentó variación genética entre las 400 líneas S<sub>2</sub> estudiadas, por lo que la caracterización del rendimiento de grano y otros atributos agronómicos, permitió seleccionar *per se* las 40 líneas mejores y descartar el resto de los materiales.

Las líneas sobresalientes de los cuatro grupos fueron: 94, 54, 11, 12, 25, 5, 36, 51, 69, 32, 144, 104, 191, 106, 153, 139, 115, 168, 146, 105, 257, 235, 206, 209, 288, 259, 219, 264, 277, 233 394, 382, 374, 385, 345, 321, 346, 373, 337 y 388, las cuales se continuaran en el proceso de endogamia, por su comportamiento agronómico y alto rendimiento que mostraron.

## Bibliografía

- Amelong, A., F. Hernández, A. D. Novoa and L. Borrás. 2017. Maize Stand Density Yield Response of Parental Inbred Lines and Derived Hybrids. *Crop Sci.* 57:32–39
- Ángeles-Gaspa E., E. Ortiz-Torres, A. López P., y G. López-Romero. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 33 (4):287 – 296.
- Ávila P. M. A., J. L. Arellano V., J. Virgen V., y A. J. Gámez V. 2009. H-52 híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agricultura Técnica en México* 35:237–240.
- Birchler J. A., Auger D. L., Riddle N. C. 2003. In search of the molecular basis of heterosis. *Plant Cell* 15(10):2236–2239.
- 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 Investigación Agropecuaria* 33:129-144.
- Buenrostro-Robles M., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, y C. Sánchez-Abarca. 2017. Rendimiento de líneas de maíz exótico irradiado con rayos gamma y de híbridos de cruza simple. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40:351-358.
- Coutiño E. B., y M. Vidal. 2003. Grain yield stability of corn hybrids using best linear unbiased predictors. *Agrociencia* 37:605-616.

- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2004. Enfermedad del maíz: una guía para su identificación en el campo. 4ta edición. México, D.F. 112 p.
- Duvick D. N. 1999. Heterosis: feeding people and protecting natural resources. In: Coors JG, Pandey S (eds.) Proceedings of the international symposium on the genetics and exploitation of heterosis in crops. CIMMYT. Mexico City, 17–22 Aug 1997. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, 19–29.
- Espinosa C. A., M. Sierra M. y N. Gómez M. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana* 14:117-121.
- Gómez M. N. O., F. Palemón A., G. Reyes G., C. del A. Hernández G., M. A. Cantú A., P. Juárez L., y A. Ascencio A. 2016. Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: efecto de ambiente y dosis de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1801-1813.
- González G. J., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 1990. Implicación del rendimiento *per se* y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia* 1(2):29-42.
- Hallauer A., R., M. Carena, and J. B. Miranda F. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Springer-Verlag New York Inc. 664 p.
- Hoxha S, M. R. Shariflou and P. Sharp. 2004. Evaluation of genetic diversity in albanian maize using SRR markers. *Maydica* 49:97-103.

- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal II. Métodos, Teoría, Resultados. AGT Editor. México. 665 p.
- Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R., y J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(2):85–92.
- Pérez-López F. J., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, J. J. López-Reynoso y T. Cervantes-Santana. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitoras de híbridos de cruza simple. *Agrociencia* 48:425-437
- Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. México, D. F. 460 p.
- Reynoso Q. C. A., A. González H., D. de J. Pérez L., O. Franco M., J. L. Torres F., G. A. Velázquez C., C. Breton L., A. Balbuena M., y O. Mercado V. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 871-882.
- Rodríguez F. I., A. González H., D. de J. Pérez L., y M. Rubí A. 2015. Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(8):1943-1955.
- Sánchez-Ramírez F. J., M. C. Mendoza-Castillo, M. Mendoza-Rodríguez, F. Castillo-González, S. Cruz-Izquierdo, S. Castro-Nava y J. D. Molina-Galán.

2016. Aptitud combinatoria de líneas endogámicas para la producción de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruza simple en condiciones de riego. *Agrociencia* 51:393-407
- Santiago-López N., J. J. García-Zavala, A. Mejía-Contreras, A. Espinoza-Banda, U. Santiago-López, G. Esquivel-Esquivel y J. D. Molina-Galán. 2017. Rendimiento de grano de poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado a Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:147-158.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2016. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf). Diciembre 2018.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. <http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/fortalece-mexico-autosuficiencia-en-la-produccion-de-maiz-blanco>. Enero 2017.
- Tadeo-Robledo M., B. Zamudio-González, A. Espinosa-Calderón, A. Turrent-Fernández, A. L. Cárdenas-Marcelo, C. López-López, I. Arteaga-Escamilla y R. Valdivia-Bernal. 2015. Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:33-43.
- Tadeo-Robledo M., A. Espinosa-Calderón, J. de J. García Z., R. Lobato O., N. O. Gómez M., M. Sierra M., y R. Valdivia-Bernal. 2015b. Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(8):1857-1866.

- Vélez-Torres M., J. J. García-Zavala, R. Lobato-Ortiz, I. Benítez-Riquelme, J. J. López-Reynoso, J. A. Mejía-Contreras y G. Esquivel-Esquivel. 2018. Estabilidad del rendimiento de cruzas dialélicas entre líneas de maíz de alta y baja aptitud combinatoria general. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:167–175.
- Yanez G. C. F. 1993. La aptitud combinatoria general de las líneas de maíz (*Zea mays* L.) en la explicación de heterosis. Tesis de Maestría en Ciencias. PREGEP-Genética. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

### **CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FENOLÓGICAS DE 400 LÍNEAS S<sub>2</sub> EN EL VALLE DE MÉXICO**

#### **Resumen**

El arquetipo del maíz (*Zea mays* L.) desde la década de los 70s se ha modificado para hacerlo más eficiente y aumentar su rendimiento. En el ciclo primavera-verano (P-V) 2017 se evaluaron 400 líneas S<sub>2</sub> en cuatro grupos de 100 líneas bajo diseños latice triple 10 x 10 con tres repeticiones. Las líneas se derivaron de compuestos mejorados con alto potencial de rendimiento, con el objetivo de identificar y seleccionar las que posean arquetipos deseables para generar híbridos eficientes y con alto rendimiento de grano para los Valles Altos Centrales de México. Se identificaron 10 líneas sobresalientes de cada grupo con el arquetipo deseable para siembras en altas densidades: líneas erectas y semierectas. De éstas las líneas erectas presentaron un intervalo de variación para rendimiento de grano de 3.9 a 6.6 t ha<sup>-1</sup>; ciclo tardío, con 96 días a floración femenina; altura de planta desde 1.7 a 2.3 m; en líneas semierectas la variación fue mayor al presentar el intervalo de rendimiento de grano desde 0.3 hasta 10.1 t ha<sup>-1</sup>; considerando sobresalientes en un intervalo de 1.7 a 10.1 t ha<sup>-1</sup>; la floración fue de intermedia a tardía (82 a 104 días) con altura de planta de 1.8 a 2.8 cm..

**Palabras clave adicionales:** *Zea mays* L., arquetipos, caracterización, endogamia, líneas.

## Introducción

El maíz nativo es un recurso fitogenético que se ha generado y adaptado mediante selección continua en varias condiciones agroecológicas (Cervantes *et al.*, 2016) siendo una especie con gran diversidad morfológica (Jason *et al.*, 2014) y gran variabilidad genética, aprovechada en el fitomejoramiento para obtener variedades mejoradas adaptadas a diferentes ambientes (Delgado *et al.*, 2014).

Cuando el agua y los nutrimentos no son limitantes, la radiación solar es el recurso ambiental principal para lograr mayores rendimientos (Hamdollah, 2012), y en un cultivo la densidad de población es un factor importante (Quiroz *et al.*, 2017); a mayor densidad de plantas ocurre mayor reflectividad de la radiación solar total y mayor absorción de la radiación fotosintéticamente activa (Zermeño-González, 2005).

Las alteraciones en el contenido de clorofila o las proporciones del pigmento pueden influir en la capacidad de realizar fotosíntesis (Lindsey, 2018) y la habilidad que tiene la planta para disipar el exceso de energía radiante absorbida; esto depende mucho de su morfología, concentración de pigmentos, estructura celular y contenido de agua (Paz-Pellat *et al.*, 2005). Por ello, uno de los objetivos del fitomejoramiento para lograr genotipos de alto rendimiento de grano en maíz es definir la arquitectura de la planta o arquetipo, a través de sus órganos, estructuras, procesos fisiológicos y bioquímicos (Reyes, 1990). Por lo cual, se requiere identificar los caracteres morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que conduzcan al logro de altos rendimientos (Acquaah *et al.*, 1991). En la mayoría de las especies cultivadas es difícil encontrar la combinación ideal de las características deseables de manera

natural; por lo tanto, para la conformación de un arquetipo se recurre al mejoramiento genético (Sánchez *et al.*, 1999).

Una espiga ramificada sombrea las hojas superiores, lo que ocasiona que se reduzca la intercepción de la radiación y a la vez, la tasa fotosintética de esas hojas; así mismo, durante el desarrollo y formación de los granos de polen éstos compiten por fotoasimilados con los óvulos de la inflorescencia femenina (Duncan *et al.*, 1967; Tanaka y Yamaguchi, 2015). Ante la necesidad de aprovechar la energía radiante, las hojas erectas permiten incrementar la densidad de plantas por unidad de superficie tendientes a obtener mayor producción (Zermeño-González, 2005; Johnson, 1977). Una planta de porte bajo, hojas cortas y erectas y con espiga poco ramificada es más eficiente y tolera mayor densidad de siembra (Lindsey, 2018; Castro, 1973).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar 400 líneas endogámicas S<sub>2</sub> con base en sus características morfológicas para identificar y seleccionar las que posean fenotipos deseables; las cuales serán la base de un programa de mejoramiento genético y que, en un futuro, sean aprovechadas para generar híbridos de alto rendimiento de grano.

## Materiales y Métodos

Se evaluaron 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz mediante una prueba *per se*, durante el ciclo primavera-verano de 2017 en el Campo Agrícola Experimental Montecillo del Colegio de Postgraduados; líneas derivadas a partir de 12 compuestos balanceados de maíz de grano blanco provenientes de poblaciones élite de un programa de mejoramiento genético para condiciones de riego en los Valles Altos de México, iniciado en la Universidad Autónoma Chapingo por el Dr. Moisés Mendoza Rodríguez<sup>†</sup>. Se depositaron dos semillas por mata separadas a 0.19 m entre ellas y 0.80 m entre surcos. Después de la emergencia de las plántulas se raleó a una planta por mata para lograr una densidad de 65 000 plantas/ha. El control de maleza se hizo con una aplicación de Marvel (2 L/ha) después del aporque; posteriormente el control de maleza fue manual. El primer riego se aplicó en el momento de la siembra y el segundo 8 días después para asegurar la emergencia de las plántulas, posteriormente se aplicaron tres más (después del segundo aporque, en floración y en llenado de grano). La fertilización fue 120-60-00, la mitad del nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y la otra mitad del nitrógeno al aporque. Se realizó un análisis estadístico en cada uno de los cuatro grupos de 100 líneas S<sub>2</sub>, con el paquete estadístico SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System) versión 9.4, así como la comparación de medias con la prueba Tukey (P = 0.05), bajo el diseño experimental látice triple 10 x 10 con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de 3.2 m<sup>2</sup> con 22 plantas (equivalente a la densidad de población de 65 000 plantas ha<sup>-1</sup>). La evaluación se llevó a cabo sin restricciones de humedad y bajo las condiciones de cultivo recomendadas para la región de estudio.

Las variables evaluadas fueron:

### **a) Agronómicas:**

**Acame (Aca).** Se calificó en la escala de uno a cinco, donde: 1 = 0 a 20 %; 2 = 21 a 40 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 61 a 80 % y 5 = 81 a 100 % de plantas acamadas.

**Cobertura de mazorca (CobMza).** Se calificó en un intervalo de uno a cinco donde: 1 = 81 a 100 %; 2 = 61 a 80 %, 3 = 41 a 60 %, 4 = 21 a 40 % y 5 = 0 a 20 % de mazorcas con cobertura.

**Emergencia (Emer).** Se calificó visualmente a 15 (dds) y mediante la escala de uno a cinco, siendo 1 la mejor y 5 la peor emergencia.

**Índice de proliferación (IPro).** Se calculó mediante la fórmula  $IPro = \text{número de mazorcas secundarias (Nmz2)} / \text{número total mazorcas (Nmz1+Nmz2)}$ .

**Uniformidad de mazorca (UnMz).** Se evaluaron de forma visual todas las mazorcas producidas por parcela mediante la escala de uno a cinco, considerando 1 con la mayor uniformidad y 5 la de menos mazorcas uniformes.

**Uniformidad de planta (UnifPta).** Se evaluaron de forma visual en cada parcela mediante la escala de uno a cinco, siendo 1 la parcela con las plantas más uniformes y 5 la menos uniforme.

### **b) Morfológicas**

**Ángulo de inserción de la hoja con respecto al tallo (AnHoj).** Se determinó la orientación de las hojas en la planta mediante la medición del ángulo formado entre el tallo y la apertura de la lámina foliar, este dato se tomó en la hoja inmediata superior a la de la mazorca superior. Se determinó una escala de uno a cuatro,

donde 1 = hoja erecta con ángulo de inserción menor a  $20^{\circ}$ , 2 = hoja semierecta, entre  $21^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ , 3 = hoja semiabierta, de  $41^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  y 4 = hoja abierta con ángulo mayor a  $61^{\circ}$ .

**Ramificación de la espiga (RamEsp).** Se calificó en escala de uno a cinco, 1 = espiga con más de 21 ramas secundarias, 2 = espiga con 16 a 20 ramas secundarias, 3 = espiga con 10 a 15 ramas secundarias, 4 = espiga con 6 a 10 ramas secundarias y 5 = espiga simple con 1 a 5 ramas secundarias.

### **c) Fisiotécnicas**

**Coloración de las hojas de la planta (ColHoja).** Se calificó en la escala de uno a tres, 1 = hojas verde oscuro, 2 = hojas verde claro y 3 = hojas verde amarillentas.

## Resultados y Discusión

### Grupo 1

Las líneas 38, 100, 83, 19, 26, 94, 54, 12, 5 y 25 mostraron las hojas con los menores ángulo de las hojas con respecto al tallo; es decir, fueron las más erectas del Grupo (Cuadro 13), obteniendo calificaciones desde 1.7 hasta 2.0., estas líneas fueron consideradas como de hojas semierectas, en este grupo no hubo hojas erectas que es el valor más bajo; no obstante, son consideradas líneas con ángulos intermedios que a su vez tuvieron buena integración con otras buenas características como ramificación de la espiga, cobertura de mazorca, coloración de las hojas y emergencia de plántulas. El menor ángulo de la hoja facilita sembrar mayores densidades de población en un cultivo; el trabajo de Guevara-Escobar *et al.* (2005) mencionan que densidades de 90 000 plantas por hectárea son adecuadas para la producción de forraje o de grano en maíz, debido a que mayor densidad de plantas permite mayor reflectividad de radiación solar y mayor absorción de radiación fotosintéticamente activa y el rendimiento de grano por unidad de superficie se ve favorecido, aun cuando se presente sombreado por el incremento de plantas (Zermeño-González *et al.*, 2005) por lo que es necesario formar arquetipos para altas densidades de población para aprovechar la radiación fotosintéticamente activa incidente.

La ramificación de espiga tuvo una variación de 1.7 a 5.0, por lo que espigas muy ramificadas compiten por fotoasimilados con los óvulos de la inflorescencia femenina, también provocan sombreado a las hojas superiores y reducen la

**Cuadro 13. Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S<sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 1, para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	Morfológicas		Agronómicas				Fisiotécnica		
		AnHoj	RamEsp	Aca	CobMza	Emer	IPro	UnifPta	UnMz	ColHoja
38	L6-8-1	1.7	5.0	1.3	1.0	1.3	0.16	1.2	1.8	1.0
100	L7-4-1	1.7	5.0	1.3	1.0	1.5	0.00	1.5	2.0	1.0
83	L4-6-1	1.7	3.7	1.3	1.0	1.3	0.00	1.3	2.0	1.3
19	L10-5-1	1.7	3.3	3.0	1.0	2.3	0.00	1.5	2.5	2.3
26	L3-3-2	1.7	3.3	3.2	1.0	1.0	0.00	1.2	1.7	2.3
94	L7-2-1	2.0	3.0	1.3	1.0	2.2	0.24	1.3	1.8	1.3
54	L2-1-1	2.0	2.0	3.7	1.2	1.0	0.15	1.2	1.7	1.0
12	L3-6-1	2.0	1.7	2.8	1.0	1.5	0.01	1.2	1.5	1.0
5	L10-1-1	2.0	4.3	2.5	1.0	1.0	0.06	1.3	1.8	2.3
25	L7.27-1	2.0	2.0	3.6	1.0	1.5	0.00	1.7	1.8	1.3
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
51	L11-16-4	3.0	2.0	3.7	1.0	1.0	0.12	1.2	2.7	1.3
61	L8-3-3	3.0	4.7	1.3	1.2	1.2	0.22	1.3	2.7	2.3
75	L4-4-1	3.0	2.0	3.7	1.0	1.0	0.06	1.2	1.8	3.0
	Media	2.2	3.1	2.3	1.0	1.3	0.06	1.4	2.1	1.7
	Máximo	3.0	5.0	4.2	1.8	2.3	0.28	2.0	3.3	3.0
	Mínimo	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.00	1.0	1.3	1.0
	DMS	1.28	1.66	1.97	0.43	1.15	0.27	1.04	1.67	1.69

AnHoj = Ángulo de la hoja (escala 1-4); RamEsp = Ramificación de espiga (escala 1-5); Aca = Acame de la planta (escala 1-5); CobMza = Cobertura de mazorca (escala 1-5); Emer = Emergencia (escala 1-5); IPro = Índice de proliferación (%); UniPta = Uniformidad de planta (escala 1-5); UnMz = Uniformidad de mazorca (escala 1-5); ColHoja = Coloración de hojas (escala 1-3).

intercepción de la radiación incidente; las líneas 38 y 100 integraron en su arquetipo buena combinación de ángulo de hoja con espiga simple o poco ramificada.

Para tener conocimiento sobre el tamaño de espiga y su relación con la ramificación, se midieron 25 espigas de cada nivel de ramificación y se sumaron todas las longitudes de las ramas o espigas laterales y posteriormente promediar la longitud de espiga por las 25 espigas de cada nivel; el nivel 1 fue el de mayor ramificación y el nivel 5 el de espiga simple; así, las espigas de nivel 5 tuvieron longitud del eje central de 34 cm y 55 cm de espigas laterales; las espigas del nivel 4 tuvieron el eje central de 32 cm y 152 cm de espigas laterales; las espigas del 3 presentaron un eje central de 28 cm y 242 cm de espigas laterales; las de nivel 2 tuvieron el eje central de 27 cm y 344 cm de espigas lateras, y el nivel 1 tuvo un eje central promedio de 26 cm y 454 cm de espigas laterales, obteniéndose una diferencia de 100 cm aproximadamente entre nivel y nivel (datos no representados).

La coloración de las hojas fluctuó entre 1.0 a 2.3, esta coloración es importante debido a que la proporción de pigmentos en la hoja se debe principalmente por la clorofila, siendo un factor primordial tener plantas con hojas fotosintéticamente activas (Raya *et al.*, 2012). El índice de proliferación de las líneas seleccionadas fue de 0 a 24 % por unidad experimental en la que destacó la línea 94 con la mayor proliferación, otorgándole un incremento sustantivo en el rendimiento de grano.

En cuanto a la capacidad de las líneas para el establecimiento en campo, evaluado a través de la emergencia de plántulas, se tuvo una fluctuación en emergencia de 1.0 a 2.3. Cervantes-Ortiz *et al.* (2007) mencionan que el vigor se encuentra relacionado con el porcentaje de emergencia, indicando que el vigor inicial se

encuentra dominado por efectos de ACE, por lo que las líneas con buen vigor inicial tienen potencial como progenitores femeninos; con respecto a esto las líneas evaluadas mostraron excelente potencial para la producción de semilla. El vigor inicial no fue influenciado por la densidad de población (Cervantes *et al.*, 2014) teniendo la capacidad de aumentar la cantidad de plantas por hectárea, siempre y cuando sean líneas con hojas semierectas o erectas. Las líneas tuvieron uniformidad de planta de 1.2 a 1.5, indicando la homogeneidad de las plantas dentro de la línea, esto fue resultado de que las poblaciones de las cuales se generaron las líneas ya habían sido mejoradas anteriormente. La calificación de acame fue de 1.3 a 3.7; es importante mencionar que casi a la madurez de las plantas incidió un viento fuerte, provocando su caída; sin embargo, en general las líneas se comportaron excelentemente con promedio general de 1.3, también obtuvieron una cobertura de mazorca de 1 a 1.2, indicando que estas líneas en general cuentan con excelente cobertura de mazorca ya que el promedio de todas fue de 1.0 y la uniformidad de mazorcas 1.5 a 2.5, mostrando variabilidad en el tamaño, lo cual se puede mejorar con más ciclos de endogamia.

## **Grupo 2**

En el Cuadro 14 se muestra el comportamiento de las 10 mejores líneas y de las 3 líneas con la expresión más baja del Grupo 2; de las líneas superiores se detectan líneas con hojas erectas y semierectas, de las de hoja erecta sobresalió la línea 105 con calificación de 1.3 y de las semierectas están las líneas 138, 177, 195, 185, 122, 106, 153, 104 y 115, con calificación de 1.7 y 2.0, y las de ángulo mayor obtuvieron

calificación de 4.0. Este grupo de líneas fue el que presentó las hojas más abiertas entre los cuatro grupos estudiados.

De las diez líneas seleccionadas, el nivel de ramificación de espiga mostró una variación desde 1.7 hasta 4.7, sobresalió la línea 85 como la de espiga más simple; es decir, con menos de 5 espigas laterales, además de que tuvo hojas semierectas; esta línea posee un arquetipo deseable para el aprovechamiento topográfico que podría bien ser un buen progenitor femenino en la producción de semilla, favoreciendo el aumento del rendimiento por unidad de superficie y la disminución del porcentaje de semilla pequeña (Virgen-Varga *et al.*, 2016).

Las líneas mostraron buena coloración de las hojas, de 1.0 a 1.7, considerando que la mayoría tuvieron hojas verde oscuro y verde claro, excepto la línea 153 que tuvo calificación promedio de 2.7, indicando un color tendiente al amarillo, por lo que no es una línea deseable, debido a que podría tener baja concentración de clorofilas en las hojas y éstas se encuentran asociadas con la absorción de la radiación y la producción de fotoasimilados (Paz-Pellat *et al.*, 2005).

El índice de proliferación de las líneas seleccionadas fue de 0 a 28 % por unidad experimental, logrando destacar la línea 104 que evidenció la importancia de la proliferación sobre el rendimiento de grano.

Con una calificación de emergencia de 1.0 a 2.0 esta variable presentó efectos de ACG, por lo que es importante considerarla desde el inicio del mejoramiento genético debido a que es de baja heredabilidad (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007).

**Cuadro 14. Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S<sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 2, para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	Morfológicas		Agronómicas				Fisiotécnicas		
		AnHoj	RamEsp	Aca	CobMza	Emer	IPro	UnifPta	UnMz	ColHoja
105	L8-1-1	1.3	4.0	1.0	1.0	1.8	0.14	1.2	1.7	1.3
138	L3-13-1	1.7	4.0	1.0	1.0	1.0	0.02	1.3	2.2	1.3
177	L6-4-2	1.7	3.3	1.0	1.0	1.8	0.13	1.5	2.3	1.7
195	L12-5-2	1.7	3.7	1.3	1.2	1.2	0.02	1.3	2.5	1.3
185	L9-5-1	1.7	4.7	1.2	1.2	1.2	0.13	1.2	2.8	1.3
122	L5-9-1	1.7	2.0	1.0	1.0	1.5	0.05	1.5	2.0	1.0
104	L4-24-1	2.0	1.7	1.2	1.0	1.5	0.16	1.3	2.0	1.7
191	L11-12-5	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	0.28	1.5	1.8	1.7
106	L10-1-2	2.0	2.3	1.2	1.0	1.3	0.08	1.7	2.2	1.3
153	L8-8-3	2.0	2.3	1.3	1.2	1.0	0.13	1.3	2.0	2.7
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
149	L11-5-4	3.3	2.7	1.0	1.0	1.3	0.02	1.2	2.2	1.3
116	L11-16-6	3.7	2.3	1.3	1.0	1.0	0.10	1.0	1.8	2.0
119	L9-24-2	4.0	2.7	1.3	1.0	1.3	0.00	1.3	2.0	2.7
	Media	2.1	3.2	1.3	1.1	1.4	0.08	1.4	2.3	2.0
	Máximo	4.0	5.0	3.3	1.5	2.2	0.33	1.8	3.2	3.0
	Mínimo	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.00	1.0	1.7	1.0
	DMS	1.22	1.91	1.23	0.61	1.28	0.29	1.06	1.61	1.90

AnHoj = Ángulo de la hoja (escala 1-4); RamEsp = Ramificación de espiga (escala 1-5); Aca = Acame de la planta (escala 1-5); CobMza = Cobertura de mazorca (escala 1-5); Emer = Emergencia (escala 1-5); IPro = Índice de proliferación (%); UniPta = Uniformidad de planta (escala 1-5); UnMz = Uniformidad de mazorca (escala 1-5); ColHoja = Coloración de hojas (escala 1-3).

La uniformidad de mazorcas obtuvo una calificación de 1.7 a 2.8 y la uniformidad de las plantas adultas de 1.2 a 1.7, indicando que se deben mejorar estos caracteres con más ciclos de endogamia hasta conseguir homogeneidad de las líneas. También las líneas mostraron resistencia al acame con una variación media de 1.0 a 1.3, la cual es favorable para condiciones de vientos fuertes que en ocasiones se presentan en la región, así mismo, estas líneas presentaron buena cobertura de mazorca, con valores de 1 a 1.2, siendo un aspecto favorable pues las mazorcas se protegen contra diversos factores bióticos como hongos, plagas insectiles o aves.

### **Grupo 3**

Para el Grupo 3 las líneas que se encontraron con hojas semierectas (ángulos entre 1.7 a 2) fueron 206, 277, 298, 230, 235, 209, 259, 264, 269 y 233; y las de mayor ángulo de hoja (hojas abiertas con respecto al tallo) mostraron un promedio de calificación de 3.3.

La calificación de ramificación de espiga estuvo entre 2.3 y 4.7, siendo la línea 259 la de mejor arquetipo del grupo pues presentó las espigas más simples con promedio de calificación de 4.7 y la línea 206 tuvo la mayor ramificación con una calificación de 2.0. Con relación a esta característica, es importante que a través de las generaciones de endogamia se vayan detectando líneas productoras de polen que en el momento de producción de semilla funjan como machos, así como líneas de espiga simple para usarlas como progenitoras femeninas.

**Cuadro 15. Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S<sub>2</sub> con las hojas más erectas y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 3, para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	Morfológicas		Agronómicas			Fisiotécnica			
		AnHoj	RamEsp	Aca	CobMza	Emer	IPro	UnifPta	UnMz	ColHoja
206	L9-3-2	1.7	2.7	1.0	1.2	1.7	0.18	1.2	1.8	2.3
277	L8-1-2	1.7	4.0	1.2	1.0	1.8	0.08	1.7	2.3	1.7
230	L7-21-3	1.7	4.0	1.3	1.2	1.3	0.05	1.7	2.3	2.0
298	L8-1-3	1.7	4.0	1.0	1.0	1.7	0.07	1.3	3.0	1.7
235	L12-8-3	2.0	3.3	1.0	1.2	1.0	0.12	1.2	2.3	1.7
209	L10-3-1	2.0	2.3	1.2	1.3	1.0	0.12	1.3	2.5	1.7
259	L2-24-3	2.0	4.7	1.0	1.2	1.2	0.10	1.2	3.0	1.3
264	L1-3-3	2.0	2.0	1.2	1.0	1.2	0.02	1.2	2.0	1.3
269	L6-4-1	2.0	3.7	1.2	1.0	2.0	0.14	1.3	2.2	1.3
233	L2-24-2	2.0	3.3	1.0	1.7	1.0	0.16	1.6	3.0	1.6
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
221	L10-10-4	3.0	3.3	1.2	1.2	1.2	0.11	1.2	2.3	1.0
254	L10-9-4	3.3	2.0	1.7	1.0	1.5	0.06	1.2	2.0	2.7
281	L10-22-3	3.3	4.0	1.3	1.0	1.5	0.00	1.8	1.8	3.0
	Media	2.2	3.2	1.2	1.1	1.5	0.70	1.3	2.5	2.1
	Máximo	3.3	5.0	2.7	1.7	3.2	0.23	2.0	4.0	3.0
	Mínimo	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.00	1.0	1.3	1.0
	DMS	1.34	1.61	1.20	0.71	1.38	0.29	1.05	1.79	1.58

AnHoj = Ángulo de la hoja (escala 1-4); RamEsp = Ramificación de espiga (escala 1-5); Aca = Acame de la planta (escala 1-5); CobMza = Cobertura de mazorca (escala 1-5); Emer = Emergencia (escala 1-5); IPro = Índice de proliferación (%); UniPta = Uniformidad de planta (escala 1-5); UnMz = Uniformidad de mazorca (escala 1-5); ColHoja = Coloración de hojas (escala 1-3).

Para la característica coloración de hojas se obtuvo un promedio de 1.3 a 2.3, lo que indica que la mayoría de las líneas presentan buen indicador de eficiencia para la intercepción de radiación solar (alto contenido de clorofila), debido a que la coloración verde de las hojas favorece la absorción de mayor cantidad de radiación (Paz-Pellat *et al.*, 2005) y, por consecuencia, aumenta la tasa de asimilación de fotoasimilados. Las líneas con hojas semierectas sobresalientes tuvieron un índice de proliferación entre 7 y 18 %; en este grupo todas las líneas sobresalientes presentaron proliferación, siendo la de mayor porcentaje la línea 206; no obstante que en las líneas del grupo 1 y 2 la proliferación fue mayor. La emergencia de las líneas en campo fue de 1.0 a 2, todas con buen comportamiento, a excepción de la línea 269 la cual obtuvo calificación de 2 de emergencia; se considera que estas líneas también poseen alto potencial de rendimiento ya que el vigor y la emergencia se encuentran relacionados con el potencial para la producción de semilla (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007). Las líneas mostraron la uniformidad de planta de 1.2 a 1.7 y de mazorca de 1.8 a 3, en este carácter se puede observar la falta de homogeneidad en las líneas, aunque con promedio de acame de 1.0 a 1.3, indicando que sí tienen resistencia a la caída de las plantas; también por sus calificaciones de cobertura de mazorca se consideran buenas (promedio de 1.0 a 1.3).

#### **Grupo 4**

Las líneas que sobresalieron en el Grupo 4, de acuerdo con el ángulo de la hoja fueron 364, 368, 328, 384, 340, 383, 314, 324, 373 y 337, con una variación de la media de 1.0 a 2. Con base en esta calificación son consideradas como líneas de

**Cuadro 16. Valores promedio de los caracteres morfológicos, agronómicos y fisiotécnicos de las 10 líneas S<sub>2</sub> con las hojas más erectas, testigos y las 3 con las hojas más abiertas de las líneas de maíz del Grupo 4, para los Valles Altos Centrales de México.**

Línea	Genealogía	Morfológicas		Agronómicas				Fisiotécnica		
		AnHoj	RamEsp	Aca	CobMza	Emer	IPro	UnifPta	UnMz	ColHoja
364	L9-14-2	1.0	4.0	1.0	1.0	1.7	0.02	1.3	2.3	1.0
368	L3-8-1	1.3	3.7	1.5	1.8	1.3	0.00	1.5	3.0	1.3
328	L1-6-1	1.7	4.0	1.2	1.0	1.2	0.11	1.3	2.8	1.0
384	L3-13-2	1.7	5.0	1.3	1.0	1.5	0.02	1.3	3.3	1.7
340	L2-24-6	1.7	3.7	1.0	1.0	1.7	0.10	1.3	2.7	1.7
383	L5-6-1	1.7	4.0	1.0	1.0	1.7	0.00	1.5	3.5	1.7
314	L6-4-4	1.7	3.7	1.0	1.0	1.7	0.07	1.5	2.8	1.3
324	L6-17-1	1.7	3.3	2.0	1.2	1.3	0.04	1.3	3.5	2.3
373	L1-10-1	2.0	4.7	1.0	1.3	1.5	0.07	1.5	2.7	2.0
337	L4-8-2	2.0	2.3	1.7	1.0	1.5	0.23	1.5	2.5	2.0
					Testigos					
396	Testigo	2.0	3.7	1.0	1.2	1.2	0.13	1.5	2.3	1.0
395	Testigo	2.0	3.0	1.0	1.0	1.2	0.10	1.7	2.6	1.3
397	Testigo	2.0	3.3	1.0	1.3	1.3	0.03	1.5	2.5	2.3
391	Testigo	2.0	5.0	2.3	1.0	1.7	0.00	1.3	2.7	2.3
393	Testigo	2.3	4.0	1.0	1.3	1.0	0.00	1.2	3.3	2.0
390	Testigo	2.3	2.7	1.2	1.0	1.3	0.08	1.3	2.3	2.6
394	Testigo	2.7	2.7	1.0	1.0	1.0	0.10	1.2	2.0	1.3
399	Testigo	2.7	3.3	1.0	1.3	1.0	0.08	1.0	3.0	1.0
392	Testigo	2.7	2.3	1.3	1.0	1.3	0.80	1.3	2.8	1.0
400	Testigo	3.0	3.0	1.0	1.3	1.2	0.15	1.3	2.5	1.3
398	Testigo	3.0	3.3	1.0	1.5	1.0	0.02	1.3	2.8	2.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

**Cuadro 16. Continuación...**

Línea	Genealogía	Morfológicas Agronómicas Fisiotécnica								
		AnHoj	RamEsp	Aca	CobMza	Emer	IPro	UnifPta	UnMz	ColHoja
355	L4-7-2	3.3	1.7	1.2	1.3	1.3	0.00	1.3	3.0	2.3
385	L6-5-1	3.7	2.7	1.3	1.0	1.7	0.07	1.7	2.7	1.7
387	L9-24-4	3.7	2.3	1.2	1.2	1.3	0.10	1.7	2.3	2.3
	Media	2.3	3.3	1.2	1.1	1.5	0.50	1.4	2.9	2.1
	Máximo	3.7	5.0	2.3	1.8	2.8	0.33	1.7	3.7	3.0
	Mínimo	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	0.00	1.0	2.0	1.0
	DMS	1.57	1.81	1.06	0.82	1.70	0.24	1.00	1.67	156

AnHoj = Ángulo de la hoja (escala 1-4); RamEsp = Ramificación de espiga (escala 1-5); Aca = Acame de la planta (escala 1-5); CobMza = Cobertura de mazorca (escala 1-5); Emer = Emergencia (escala 1-5); IPro = Índice de proliferación (%); UniPta = Uniformidad de planta (escala 1-5); UnMz = Uniformidad de mazorca (escala 1-5); ColHoja = Coloración de hojas (escala 1-3).

hojas erectas y semierectas. Dentro de las líneas con hojas erectas se encuentran 364 y 368 (Cuadro 16). Por lo discutido en los grupos anteriores, el tener plantas con hojas erectas conlleva a incrementar la densidad de plantas por unidad de superficie. Las líneas de mayor ángulo de hoja mostraron una calificación promedio de 3.7.

Las líneas con las hojas más erectas tuvieron promedios de ramificación de espiga de 2.3 a 5.0; es decir, con las espigas más simples de todas las líneas de los grupos estudiadas. En cuanto a la coloración de hojas alcanzó calificaciones de 1.0 hasta 2.3, por lo que la mayoría de las líneas se pueden considerar como de buena capacidad para la captación de radiación solar. El índice de proliferación fue desde 0 hasta 23 % por unidad experimental, la línea 396 fue la de mayor proliferación la cual aportó sustantivamente al rendimiento de grano.

La emergencia de plántulas mostró variaciones entre 1.2 a 1.7, por lo que estas líneas se consideran con excelente potencial para la producción de semilla, ya que estas dos variables tuvieron comportamiento similar a lo mencionado por Cervantes-Ortiz *et al.* (2007) quienes señalan que el vigor se encuentra relacionado con la emergencia de las plántulas.

Con promedio de uniformidad de plantas adultas de 1.3 a 1.5 y de uniformidad de mazorcas de 2.3 a 3.5; se observan datos altos en la uniformidad de mazorcas concluyendo que se debe avanzar en más generaciones de endogamia para lograr la homogeneidad en todos los caracteres de selección (Hallauer *et al.*, 2010). Las líneas más resistentes al acame mostraron promedio de 1.0 a 1.5; es decir, con resistencia al acame, y solo la línea 324 tuvo el promedio más alto de 2.0. La

variación de cobertura de mazorca fue de 1.0 a 1.8, lo que indica que se trata de líneas con buena cobertura, a excepción de la línea 368 que tuvo el mayor valor en la calificación del carácter.

## **Conclusión**

Las líneas S<sub>2</sub> estudiadas presentaron gran variabilidad genética para las características estudiadas, por lo que mediante su caracterización y selección *per se* fue posible detectar las mejores 40 líneas S<sub>2</sub> de mayor rendimiento, de porte vigoroso, sanas, con hojas semierectas, de precocidad intermedia a tardía, mismas que continuarán el proceso de endogamia.

## Bibliografía

- Acquaah G. M., W. Adams, and J. D. Kelly. 1991. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. *Crop Science* 31:261-265.
- Castro M. G. 1973. Maíces Super Enanos para el Bajío. *Boletín Técnico. Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro"* pp: 1-20.
- Cervantes A., Y. F., A. Castillo G., V. E. Carapia R., M. Andrade R., M. E. Núñez V., O. G. Villegas T., F. Perdomo R., R. Suárez R., y J. A. López S. 2016. Variabilidad genética y asociación morfológica entre poblaciones nativas de maíz y sus cruces F1. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1919-1931.
- Cervantes-Ortiz F., G. García-De los Santos, A. Carballo-Carballo, D. Bergvinson, Luis. Crossa J., M. Mendoza-Elos y E. Moreno-Martínez. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41: 425-433.
- Cervantes-Ortiz F., J. Hernández-Esparza, J. A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, G. Rodríguez-Pérez y L. P. Guevara-Acevedo. 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39: 259-268.
- Delgado M., R., J. A. S. Escalante E., R. Diaz R., A. Trinidad S., E. J. Morales R., y E. Sosa M. 2014. Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1015-1027.

- Duncan W., G., W. A. Williams., and R. S. Loomis. 1967. Tassels and the Productivity of Maize. *Crop Science* 7: 37- 391.
- García E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p
- Guevara-Escobar A., G. Barcenas-Huante, F. R. Salazar-Martínez, E. González-Sosa y H. S. Azpiruz-Rivero. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39:431-439.
- Hallauer A., R., M. Carena, and J. B. Miranda F. 2010. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer-Verlag New York Inc. 664 p.
- Hamdollah E. 2012. Intercropping of maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna sinensis*) and mungbean (*Vigna radiata*): effect of intercrop components on resource consumption, dry matter production and legumes forage quality. *J. Basic Appl. Sci.* 2:355-360.
- Jason A. P., Maria C. R., Michael A. G., Sherry A. Flint-G., Zhiwu Z., Mark J. M., Candice A. C. G., Michael D. M., James B. H., Peter J. B. and Edward S. B. 2011. The Genetic Architecture of Maize Height, *Genetics Society of America. Genetics* 196:1337–135.
- Johnson E. C. 1977. *Arquitectura de la Planta de Maíz*. Informativo del Maíz. Universidad Nacional Agraria del Perú. Programa Cooperativo de Investigación en Maíz. pp: 5-8.

- Lindsey A. J., Barker D. J, Metzger J. D., Mullen R. W., and Thomison P. R. 2018. Physiological and Morphological Response of a Drought-Tolerant Maize Hybrid to Agronomic Management. *Agronomy Journal*. 110:1354–1362.
- Raya P. J. C., C. L. Aguirre M., J. G. Medina O., J. G. Ramírez P., A. Andrio E., A. Castellanos S. y J. Covarrubias P. 2012 Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:633-641.
- Paz-Pellat, F., E. Palacios-Vélez, E. Mejía-Sáenz, M. Martínez-Menes, y L. A. Palacios-Sánchez. 2005. Análisis de los espacios espectrales de la reflectividad del follaje de los cultivos. *Revista Agrociencia* 39:293-301.
- Quiroz M., J., D. de J. Pérez L., A. González H., M. Rubí A., F. Gutiérrez R., J. R. P. Franco M., y J. F. Ramírez D. 2017. Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1521-1535.
- Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. México, D. F. 460 p.
- Sánchez del C. F., J Ortiz C., Ma. del C. Mendoza C., V. A. González H., y M. T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21- 29.
- Tanaka A., y J. Yamaguchi. 2015. Producción de materia seca, componentes de rendimiento de grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:1
- Virgen-Varga J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-Perches, I. Rojas-Martínez. A. Espinosa-Calderón, y A. J. Gámez-Vázquez. 2016. Desespigamiento en

cruzas simples progenitoras de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para Valles Altos de México. *Agrociencia* 50:43-59.

Zermeño-González A., J. A. Montemayor-Trejo, J. Munguía-López, L. Ibarra-Jiménez, y M. Cadena-Zapata 2005. Reflectividad y absorptividad de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad cafime). *Revista Agrociencia* 39:285-292.

## DISCUSIÓN GENERAL

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial, con gran interés económico debido al comercio mundial que se da para diferentes usos; en consecuencia, el precio del maíz en México depende de las fluctuaciones del comercio internacional y por el precio que adquiere el petróleo, ya que el maíz también es utilizado para la elaboración de biocombustibles (Romero *et al.*, 2015), por lo que se han desarrollado nuevas estrategias a través del tiempo para incrementar la producción y abastecer la demanda que ejerce el grano de maíz; para aumentar la producción de grano, además de la aplicación de nuevas tecnologías, se debe de contar con programas de mejoramiento donde se realice la selección e hibridación, de la cual para llegar a la hibridación primeramente tienen que generarse las líneas endogámicas, a través de autofecundaciones por varias generaciones, seguidas de una prueba *per se*, de mestizos o ambas para seleccionar las mejores y reducir los costos al continuar trabajando solo con las líneas sobresalientes..

El comportamiento y producción de las líneas se evalúa mediante su aptitud combinatoria general (ACG) y su aptitud combinatoria específica (ACE) (Reyes 1990), por lo que la evaluación *per se* es una herramienta útil para estimar la ACG de las líneas (González *et al.*, 1990), logrando el aprovechamiento del efecto aditivo de los genes.

El estudio consistió en una caracterización *per se* de 400 líneas S<sub>2</sub> de maíz blanco para los Valles Centrales de México y para condiciones de riego, divididas en cuatro grupos, las cuales mostraron alta variabilidad genética para las características

evaluadas y algunas variables aún presentan variación en su comportamiento, esto es explicable ya que se trata de líneas  $S_2$  que solo tienen 75 % de homocigosis, pero sobre las líneas seleccionadas en el presente estudio se seguirá avanzando a niveles superiores de endogamia y homocigosis.

En general, las líneas mostraron alto potencial de rendimiento, de acuerdo a Espinosa *et al.* (2003) y Buenrostro-Robles *et al.* (2017) quienes mencionan que para obtener buenos rendimientos en la producción de semilla de una cruce simple se debe obtener como mínimo  $3.0 \text{ t ha}^{-1}$ , considerando que la heterosis aumenta los rendimientos del maíz en 15 a 50 % (Birchler *et al.*, 2003). En general, las líneas seleccionadas en los cuatro grupos mostraron alto potencial de rendimiento, de las cuales se presentó variación desde  $5.7$  hasta  $11.1 \text{ t ha}^{-1}$ , estos rendimientos son cercanos o similares a los producidos por los híbridos mencionados por Tadeo-Robledo *et al.* (2015a), Reynoso *et al.* (2014) y Vélez-Torres *et al.* (2018) para los Valles Altos del Centro de México. De las líneas sobresalientes en el Grupo 1 destacó la línea 94 con  $10.1 \text{ t ha}^{-1}$  la cual integra en su arquetipo características favorables como mazorca larga, grano pesado, 84 días a floración masculina, longitud de mazorca de 15.7 cm y peso de mazorca de 186 g; en el Grupo 2 la línea 144 produjo  $8.3 \text{ t ha}^{-1}$  con 93 días a floración masculina y longitud de mazorca de 15.7 cm, en el Grupo 3 la línea 257 rindió  $11.1 \text{ t ha}^{-1}$  con 88 días a floración, longitud de mazorca 17.4 cm y peso de mazorca 228 g; en el Grupo 4 la línea 382 tuvo  $8.4 \text{ t ha}^{-1}$ , con 88 días a floración masculina, longitud de mazorca 18.1 cm y peso de mazorca 204 g; todas estas líneas que sobresalieron por su alta expresión de sus características las hacen buenas candidatas para continuar con el proceso de

endogamia, se consideran de ciclo intermedio, y al ser líneas cuyo origen es de compuestos o poblaciones diferentes (Línea 94 proviene de L7-2-1; Línea 144 de L11-5-2; Línea 257 de L10-1-9; Línea 382 de L4-13-2) tienen la posibilidad de cruzarse y responder con vigor híbrido alto por no tener rasgos consanguíneos; es decir, son líneas contrastantes. El diámetro de mazorca, la longitud de mazorca y el índice de desgrane también tuvieron aportación significativa al rendimiento de grano.

Debido a que la densidad de plantas por unidad de superficie está relacionada con el rendimiento de grano, se llevó a cabo la caracterización del tipo de planta con relación al ángulo que guardan las hojas con respecto al tallo de todas las líneas estudiadas, pues, de acuerdo con Guevara-Escobar *et al.* (2005), menor ángulo de las hojas en las plantas favorece el establecimiento de mayores densidades de siembra, aprovechando el área topográfica de la parcela; se considera que una densidad de 90 000 plantas por hectárea es adecuada para una producción de forraje o grano de maíz; y que una alta densidad de plantas otorga mayor reflectividad de la radiación solar y mayor absorción de la radiación fotosintéticamente activa (Zermeño-González *et al.*, 2005). De las líneas S<sub>2</sub> sobresalientes por el menor ángulo de las hojas, en el Grupo 1 destacó la línea 94 considerada como de hojas semierectas, que produjo rendimiento de 10.1 t ha<sup>-1</sup>. En el Grupo 2 se identificó a la línea 105, de hojas erectas, con un rendimiento de 6.6 t ha<sup>-1</sup>, y la línea 106, de hojas semierectas, también fue sobresaliente por su menor ángulo de hojas y por su rendimiento de 7.4 t ha<sup>-1</sup>. En el Grupo 3 destacaron las líneas 235, con 8.2 t ha<sup>-1</sup>, y la línea 206, con 7.8 t ha<sup>-1</sup>, ambas tuvieron hojas

semierectas. En el Grupo 4, al igual que en el Grupo 2, se identificaron líneas erectas; la línea 364 tuvo rendimiento de 3.9 t ha<sup>-1</sup> y la línea 368 rindió 4.3 t ha<sup>-1</sup>; además, sobresalió por su rendimiento de grano la línea semierecta 337 que produjo 5.5 t ha<sup>-1</sup>. Aunque las líneas con hojas erectas no tuvieron el mejor rendimiento con respecto a las de hojas semierectas, resulta ser un buen germoplasma, ya que para obtener esta característica de forma natural es muy difícil, por lo que las líneas 105, 364 y 368 podrían utilizarse en hibridación y transferir esta característica a su F<sub>1</sub> por lo que se deben de considerar para continuar con el trabajo de endogamia.

El análisis de componentes principales y el de dispersión gráfica fueron un complemento en la apreciación de la variabilidad genética que muestran las líneas endogámicas de maíz estudiadas, con respecto a las variables rendimiento y sus componentes, variables fenológicas, agronómicas y fisiotécnicas. En los cuatro grupos de líneas las variables que explicaron la variación global del primer componente principal fue el rendimiento de grano y para el segundo componente principal fueron los días a floración, siendo éstas las variables principales para distribuir la variación entre las líneas, permitiendo con ello discriminar las líneas por la gran variabilidad que mostraron, y definir las sobresalientes que deben continuar con el proceso de endogamia hasta obtener líneas altamente endogámicas y homocigóticas.

## CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de componentes principales permitió conocer la distribución de la variación de las líneas; con base en sus características se evidenció alta diversidad genética entre ellas por lo que permitió tanto la discriminación como la selección de las líneas con alto potencial de rendimiento; estas líneas seleccionadas presentaron rendimiento de grano desde 5.7 hasta 11.1 ha<sup>-1</sup>.

Las variables diámetro de mazorca, longitud de mazorca, proliferación e índice de desgrane fueron características que tuvieron aportaciones significativas al rendimiento de grano.

Las líneas endogámicas de mayor rendimiento, no mostraron el ángulo de inserción más erecto de hoja.

En la selección de germoplasma además del rendimiento de grano se deben considerar otros caracteres relevantes como los aspectos fenológicos y morfológicos de las plantas, entre ellos: ángulo de la hoja, ramificación de espiga, altura de planta, resistencia al acame, proliferación y días a floración, entre otros; esto permitirá mejorar la adaptación a condiciones adversas ejercidas por el ambiente y aprovechar el área topográfica mediante la integración del mejor arquetipo.

Se identificaron 40 líneas sobresalientes por su rendimiento y caracteres deseables morfológica y agrónomicamente, las cuales continuarán con el proceso de mejoramiento genético, para que en el futuro algunas de ellas puedan ser utilizadas

como progenitores de híbridos o de variedades sintéticas que contribuyan a solucionar el problema de producción de maíz.

## Bibliografía

- Birchler J. A., Auger, D. L., and Riddle, N. C. 2003. In search of the molecular basis of heterosis. *Plant Cell* 15(10):2236–2239.
- Buenrostro-Robles M., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, y C. Sánchez-Abarca. 2017. Rendimiento de líneas de maíz exótico irradiado con rayos gamma y de híbridos de cruza simple. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40:351-358.
- Espinosa C. A., M. Sierra M. y N. Gómez M. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana* 14:117-121.
- González G. J., J. D. Molina G., y A. Martínez G. 1990. Implicación del rendimiento *per se* y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia* 1(2):29-42.
- Guevara-Escobar, A., G. Barcenas-Huante, F. R. Salazar-Martínez, E. González-Sosa y H. S. Azpiruz-Rivero. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39:431-439.
- Reynoso Q. C. A., A. González H., D. de J. Pérez L., O. Franco M., J. L. Torres F., G. A. Velázquez C., C. Breton L., A. Balbuena M., y O. Mercado V. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:871-882.
- Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. México, D. F. 460 p.

- Romero P. A., M. Hernández J., A. León M., y D. Ma. Sangermán-Jarquín. 2015. Impacto en el mercado mexicano de maíz en ausencia de políticas de producción de biocombustibles en Estados Unidos de América. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1023-1033.
- Tadeo-Robledo M., B. Zamudio-González, A. Espinosa-Calderón, A. Turrent-Fernández, A. L. Cárdenas-Marcelo, C. López-López, I. Arteaga-Escamilla y R. Valdivia-Bernal. 2015. Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 33-43.
- Vélez-Torres M., J. J. García-Zavala, R. Lobato-Ortiz, I. Benítez-Riquelme, J. J. López-Reynoso, J. A. Mejía-Contreras y G. Esquivel-Esquivel. 2018. Estabilidad del rendimiento de cruzas dialélicas entre líneas de maíz de alta y baja aptitud combinatoria general. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:167–175.
- Zermeño-González A., J. A. Montemayor-Trejo, J. Munguía-López, L. Ibarra-Jiménez, y M. Cadena-Zapata. 2005. Reflectividad y absortividad de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad cafime). *Revista Agrociencia* 39:285-292.