

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y DETERMINACIÓN DE CALIDAD
FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN MAÍCES SEGREGANTES DE LA
POLIEMBRIONÍA

Tesis

Que presenta EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

Saltillo, Coahuila

Junio 2019

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y DETERMINACIÓN DE CALIDAD
FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN MAÍCES SEGREGANTES DE LA
POLIEMBRIONÍA

Tesis

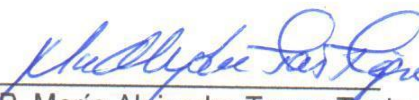
Elaborada por EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. José Espinoza Velázquez
Asesor principal



Dr. Raúl Rodríguez Herrera
Asesor



M.P. María Alejandra Torres Tapia
Asesor



Dr. Fernando Borrego Escalante
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimientos

A Dios por el simple hecho de haberme dado el regalo de la vida, en mi caminar haberme mostrado la vocación para llegar a ser quien ahora soy, por todos aquellos lugares y personas que me puso en el camino para guiarme y crecer disfrutando de la calidez de la vida, aun en la presencia de momentos inoportunos pero que a su vez es el impulso que uno necesita, él sabe y su voluntad queda plasmada en cada una de ellas, por la sabiduría y entendimiento que necesitamos como personas para ser cada día mejor, pero más agradecido por el temor hacia él, ya que es el único sobre todas las cosas y la gloria siempre será de ti mi Dios.

A Mí Alma Terra Mater, por darme todas las herramientas necesarias para poder cumplir con un objetivo más después de haberme formado profesionalmente, ser agrónomo ha sido un placer, pero más placer sentirme parte de tan gran institución que con el afán de ayudar y servir a la tierra que nos da la vida, es de orgullo ser un Buitre de la Narro.

Al Dr. José Espinoza Velázquez, por haber sido parte complementaria de mi formación académica, dándome la oportunidad de trabajar y aprender de sus conocimientos, por su valiosa amistad, su apoyo, por su disponibilidad y tiempo, sinceramente muchas gracias.

Al Dr. Raúl Rodríguez Herrera, por su apoyo incondicional y dedicación en el desarrollo de este trabajo, por su confianza y amistad recibida, sus consejos que daban la pauta para reivindicarme ante las situaciones personales, muchas gracias.

A la M.C. Alejandra Torres Tapia, por su valiosa amistad y colaboración en este trabajo, por su disponibilidad y asesoría.

Al Dr. Fernando Borrego, por su colaboración para la elaboración del presente trabajo.

Al Sr. Rogelio Burciaga Vera por su gran amistad, sobre todo el apoyo incondicional en las actividades realizadas, su guía y fortalecimiento en aspectos técnicos, por abrirme las puertas de su hogar, muchas gracias.

Dedicatoria

A mis queridos Padres:

ROLANDO ROBLERO LÓPEZ

ARMINDA MUÑOZ RODRÍGUEZ

A mi Padre por ser un impulso siempre en mi vida, por enseñarme a ser una persona con valores, por el gran apoyo incondicional, por su gran amor, cariño y sobre todo la mejor amistad; la manera de luchar y salir adelante se lo debo a ti Papá.

A mi Madre por su gran amor y cariño, por alentarme en salir adelante, aconsejarme y estar siempre pendiente de mí, sobre todo el hacerme sentir orgulloso de ser tu hijo, Mamá.

Ambos son parte fundamental en mi vida, y todos los logros siempre serán de ustedes, gracias por la mejor herencia... La educación.

A mis Hermanos:

Abimael, Ariana Nayeli, Susi & Yovani Cruz.

A cada uno de ustedes por todos los momentos que juntos hemos vivido, por el apoyo y hermandad que siempre persistirá, por su cariño y comprensión, los quiero.

A ti mi querida esposa **María Fernanda Ballinas Moreno**, por ser el apoyo personal que me hacía falta, por el complemento que veo en ti y por darme la oportunidad de crecer profesionalmente, has sido el pilar en mi vida, por tu amor, cariño, confianza, motivación etc. Por estar conmigo en las buenas y en las malas, pero sobre amada.

Y a toda mi familia, por el apoyo que se ha sentido siempre, a mis abuelos con gran cariño, tíos y primos.

Índice General

	Página
Lista de Cuadros	viii
Lista de Figuras	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Estado actual de la producción del maíz	5
Germoplasma	5
Poliembrionía en maíz (PEm)	6
Calidad de semilla	8
Vigor	8
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Experimento de campo	10
Condiciones experimentales	11
Labores culturales	11
Variables agronómicas evaluadas	12
Experimento en laboratorio	15
Calidad Física	15
Calidad Fisiológica	15
Capacidad de germinación	16
Variables de vigor	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Experimento de campo	21
Comportamiento ambiental de la poliembrionía	38
Modelo AMMI para poliembrionía	44
Experimento en laboratorio	47

Calidad Física	47
Calidad Fisiológica	51
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	58

Lista de Cuadros

Cuadro	Página
1. Genotipos generación 3 (GEN-3).	10
2. Cuadros medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Río Bravo, Tamaulipas.	23
3. Cuadros medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Buenavista, Saltillo, Coahuila.	27
4. Cuadros medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en General, Cepeda, Coahuila.	30
5. Concentración de medias generales de las variables de respuesta a través de localidades (ambientes).	31
6. Cuadros medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Saltillo, Coahuila.	34
7. Ordenamiento de las variables en base al rendimiento.	37
8. Pruebas estadística para Poliembrionía (PEm) como característica cualitativa por ambientes.	39
9. Cuadros medios del análisis de varianza y niveles de significancia para las variables obtenidas en los ambientes de Río Bravo, Buenavista y General Cepeda.	40
10. Prueba de comparación de medias para ambientes y grupos.	42
11. Correlación fenotípica de las variables en evaluación.	43
12. Cuadros medios del análisis de varianza y nivel de significancia para variables de calidad física.	49
13. Medias de los genotipos, grupos genéticos y ambientes para variables de calidad física.	50

14. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables en laboratorio correspondientes a germinación estándar.	52
15. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia para las variables en laboratorio correspondiente a envejecimiento acelerado.	54

Lista de Figuras

Figura	Página
1. Análisis de componentes principales para las variables en campo (Rio Bravo, Tamaulipas).	24
2. Prueba de medias de grupos.	25
3. Análisis de componentes principales para las variables en campo (Buenavista, Saltillo, Coahuila).	28
4. Prueba de medias para grupos.	29
5. Análisis de componentes principales para las variables en campo (General Cepeda, Coahuila).	32
6. A) Análisis de componentes principales para grupos, B) Análisis de componentes principales para ambientes.	35
7. Prueba de media para genotipos	36
8. Biplot AMMI. Según el plano conformado por los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Los puntos representan los grupos y los vectores los ambientes.	44
9. Biplot AMMI 2. Conformado por los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.	45
10. Biplot AMMI 1. Conformado por el la variable de interés y el primer componente principal (PEm y CP1). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.	46
11. Biplot AMMI 1. Conformado por el la variable de interés y el primer componente principal (PEm y CP2). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.	47
12. Análisis de componentes principales para variables de germinación y vigor. A) Germinación estándar; B) Envejecimiento Acelerado.	56

RESUMEN

**CARACTERIZACIÓN DE AGRONÓMICA Y DETERMINACIÓN DE CALIDAD
FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN MAÍCES SEGREGANTES DE LA
POLIEMBRIONÍA**

POR

**EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSÉ ESPINOZA VELÁZQUEZ –ASESOR–**

Saltillo, Coahuila

Junio 2019

La poliembrionía en maíz (PEm), presenta potencial de aplicación agronómica debido a su capacidad de emitir tallos múltiples por superficie sembrada. Con el fin de evaluar la capacidad productiva y la determinación de calidad física y fisiológica sobre genotipos segregantes de la PEm fueron evaluados 30 familias de medios hermanos maternos, 15 de altura normal y alta poliembrionía (NAP), 15 de altura normal y baja poliembrionía (NBP), cinco genotipos de tercera generación (G-3) y tres testigos (Híbridos), en tres localidades utilizando un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo alfa-látice con tres repeticiones. Con las variables obtenidas en el experimento de campo y laboratorio fue realizado análisis de varianza, análisis de componentes principales, pruebas de medias (Tukey $\alpha=0.05$), correlación fenotípica, y estimación de la interacción genotipo-ambiente (AMMI). De acuerdo a los análisis de realizados, las diferencias encontradas corresponden a la variabilidad genética de los materiales tanto en campo como de laboratorio, por lo que existen genotipos con capacidades productivas y con respuestas fisiológicas favorables, por lo que, familias del grupo NBP presentan buen comportamiento agronómico y productivo, así como valores aceptados en calidad física y fisiológica de las semillas, respecto al grupo NAP la variabilidad existente es amplia, tal comportamiento los coloca en un grupo con potencial de explotación según los análisis, el fenómeno poliembriónico sigue siendo una característica de importancia para explotar las cualidades en beneficio del incremento productivo y de calidad nutritiva para ser compartido con agricultores comuneros, ejidatarios y pequeños propietarios.

Palabras clave: *Zea mays*, poliembrionía, componentes principales, interacción genotipo-ambiente, AMMI.

ABTRACT

ENVIRONMENTAL EFFECT ON MAIZE GENOTYPES OF THE
SEGREGATING POLYEMBRYONY

BY

EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ
MASTER IN SCIENCES IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. JOSÉ ESPINOZA VELÁZQUEZ –ADVISOR–

Saltillo, Coahuila

June 2019

Polyembryony in corn (PEm), is a potentially useful trait for agronomic applications, because of its ability to give rise several stalks per sown surface. In order to assess the productive capacity and determination of physical and physiological quality on segregating the PEm genotypes were evaluated 30 families of maternal brothers, 15 of normal height and High polyembryony (NAP), 15 of normal height and low polyembryony (NBP), five genotypes of third generation (G-3) and three witnesses (hybrids), in three locations using an incomplete block design at random in accordance with alpha-lattice with three repetitions. With the variables obtained in the field and laboratory experiment was carried out analysis of variance, principal component analysis, tests (Tukey $\alpha=0.05$), phenotypic correlation, and estimation of genotype-environment interaction (AMMI). According to the analysis of made, the differences found correspond to the genetic variability of the materials in both field and laboratory, so that there are genotypes with the productive capacities and with favorable physiological responses, so, families of the NBP group present a good agronomic performance and productive, as well as accepted values in physical and physiological quality of seed, in respect of the NAP group variability is wide, such behavior places them in a group with potential of exploitation according to the analysis, the polyembryonic phenomenon remains a feature of importance to exploit the qualities for the benefit of the increase of production and nutritious quality to be shared with farmers comuneros, ejidos and small owners.

Key words: *Zea mays*, polyembryony, principal componentes, genotype-environment interaction, AMMI.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial, ubicándose entre los tres primeros lugares, junto al trigo y arroz (FAOSTAT, 2017), y se utiliza de diversas maneras en la alimentación humana y animal, así como en la elaboración de productos industriales de aplicación diversa como la producción de almidón, glucosa, dextrosa, aceites, cereal en alimentos del desayuno, botanas, etanol, aceites, pegamentos, etc. también, como ingrediente materia prima (commodity) en la elaboración de bebidas gaseosas (refrescos), alcohólicas y otros productos. Del mismo modo, hay algunos derivados del maíz utilizados en las industrias minera, textil, electrónica, adhesiva, farmacéutica, cosmética, etc. (SIAP, 2012).

En la producción de este cereal son de importancia los maíces de especialidad, ya que fueron seleccionados en diferentes comunidades, y los cuales requiere un manejo cuidadoso y vigilancia durante su desarrollo para necesidades específicas (Hallauer, 2001). Entre los maíces de especialidad, es común encontrar genes mutantes de importancia que son determinantes para la especialización del material varietal, dentro de estos, el mutante denominado Poliembrionía en maíz (PEm), que es una variante más de la amplia colección de genes con efecto fenotípico. La PEm o el desarrollo de varios embriones en la misma semilla, pueden provenir de diferentes vías de reproducción, lo que determina la heterogeneidad genética de las semillas (Erldeska, 1996). Por otra parte, en lo general, la poliembrionía, puede distinguirse en cuatro categorías de semillas en función del carácter de su herencia (uniparental o biparental), que contiene embriones de diferentes orígenes: semillas con embriones sexuales, monogámicos (quiméricos) y embriones partenogénéticos y con embrioides (Batygina, 1999).

La poliembrionía en maíz ha sido reportada como de herencia simple y recesiva (Kermicle, 1969; 1971; Pilu, 2000; Evans, 2007), pero también como de herencia cuantitativa (Pesev *et al.*, 1976; Castro y Rodríguez, 1979). Además, se ha mencionado que existen otros mecanismos inconsistentes (genético-

reproductivo) en cuanto a la fijación de la PE en maíz (Espinoza *et al.*, 1998; Rebolloza *et al.*, 2011; Fonseca *et al.*, 2015).

La PEm permite producir dos o más plántulas, debido a la presencia de dos o más embriones por semilla o, desde un punto de vista fenotípico, dos o más plúmulas por grano germinado. Sin embargo, son las características específicas del desarrollo de la semilla, como la formación de embriones de diferentes orígenes, reservas de nutrientes, cobertura dura, períodos de inactividad, etc., lo que determina el conjunto de semillas vivas en el suelo (Batygina Y Vinogradova, 2007). La PEm presenta ventajas agronómicas, tales como: reducción en la cantidad de semilla usada para siembra, por unidad de superficie, mayor probabilidad de tener al menos una plántula emergida por semilla, mayor producción de materia seca por hectárea sembrada e incremento de la calidad nutrimental del grano (Pesev *et al.*, 1976; Castro y Rodríguez. 1979; Castro 1979; Gómez, 1983; Espinoza *et al.*, 1998). La PEm tiene un significado adaptativo y mejora la supervivencia de la especie en condiciones normales y de estrés (Batygina y Vinogradova, 2007).

La PEm es un tema de investigación en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM de la UAAAN). Los resultados obtenidos incluyen el desarrollo de cuatro poblaciones de interés, dos de ellas concentran el fenómeno en frecuencias de 55 a 65 %. Las otras dos, generadas por selección reversa, a partir de las primeras, son poblaciones donde se ha seleccionado en contra de PEm, reducido considerablemente su frecuencia (< 1 %). Con base en estas poblaciones se han derivado una serie de genotipos de utilidad en la investigación para evaluar la capacidad productiva de genotipos de maíz que contiene niveles diversos de PEm (Domínguez, 2013; Alcalá *et al.*, 2018).

Otro de los aspectos importantes a conocer es el comportamiento de calidad en las semillas PEm, ya que una semilla de calidad contribuirá a mayor eficiencia productiva, donde tenga la capacidad de emerger uniformemente en condiciones desfavorables, la calidad permite la integración de estructuras y procesos

fisiológicos en la conservación de la viabilidad cuyos indicadores son germinación y el vigor (Salazar *et al.*, 2006).

Para conocer el comportamiento de diversos genotipos de maíz a través de ambientes, Crossa *et al.* (2006) mencionan que las pruebas multiambientes son importantes en el mejoramiento de plantas, porque los genotipos evaluados en diferentes medios o condiciones productivas permiten compara la respuesta entre genotipos-ambientes (IGA), lo cual conduce a una mejor selección de los genotipos más aptos, y con ellos realizar nuevos ensayos.

El presente trabajo forma parte del proyecto aprobado y financiado por el CONACYT con clave: FON.SEC. SEP-CONACYT CIENCIA BÁSICA CV-2015-03SORD2416, titulado "Identificación y secuenciación de regiones de DNA, que controlan la poliembrionía en maíz". La investigación que se presenta en este trabajo de tesis cumple uno de los objetivos primordiales del proyecto general, y sirve como proveedor de materia prima (semillas, diversos genotipos) para la realización de otras investigaciones subsecuentes.

De esta manera se pretende explorar sobre los alcances y beneficios de este gen mutante, para poder explotar y aprovechar la especialidad fenotípica del maíz PEm con fines agronómicos, fácilmente transferibles a agricultores comuneros, ejidatarios y pequeños propietarios.

Objetivos

- Evaluar la capacidad productiva y características agronómicas de genotipos segregantes de la poliembrionía a través de ambientes.
- Determinar la calidad de semillas de genotipos de maíz segregantes de la PEm.

Hipótesis

- La poliembrionía en maíz es un fenómeno heredable y estable a través de ambientes.

- Al menos un material genético segregantes de la poliembrionía es estable en la expresión y producción, además de tener buen comportamiento agronómico.
- La poliembrionía es un fenómeno que permite la obtención de buena calidad en semilla que pudiera ser incorporado a poblaciones avanzadas de mejoramiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Estado actual de la producción de maíz

Destacado como cultivo de uso diverso y con ello la denominación del segundo producto natural industrializado después del petróleo, el maíz se sitúa como una materia prima de importancia económica y social, de esta manera ha sido colocado como uno de los granos (cereales secundarios ya que no es considerado como de grano pequeño) que más se produce a nivel mundial, aunque con una disminución en la producción en el año 2018 a 1, 046 millones de toneladas, en el año 2019 se prevé un aumento debido al uso industrial (FAO, 2019).

En México, este cultivo es una de los más importantes y significativas para el país ya que se produce en prácticamente todas las entidades federativas; la producción nacional en el año 2017 fue de 27, 762, 481 toneladas, aunque con una disminución respecto al año anterior, México ocupó el 5° lugar en producción mundial, durante el periodo 2012-2017 la producción aumentó con una tasa promedio anual de 4.7 %, derivado de incrementos en los rendimientos de la cosecha (SIAP, 2018).

El incremento en rendimiento por unidad de producción se ha dado debido al uso de tecnologías, atribuidas a la implementación de paquetes tecnológicos y al mejoramiento genético, este último con incrementos rápidos garantizando una reducción en los costos de producción.

Germoplasma

Para la generación de genotipos sobresalientes en un programa de mejoramiento genético es necesario que cumplan con las necesidades fundamentales del campesino o productor rural, así como la de los consumidores. Las diversas fuentes de germoplasma de maíz disponibles en la actualidad, existen en forma de razas, variedades criollas, poblaciones, variedades mejoradas, variedades sintéticas, híbridos y líneas puras que representan las fuentes de materiales genéticos más usados en casi todos los programas de mejoramiento de este

cereal. Sin embargo, tales programas abarcan solamente una fracción de la diversidad genética. Es por ello que la ganancia productiva tendrá que ver específicamente si los bancos de germoplasma de los mejoradores tienen una buena colección del germoplasma de distintas fuentes (Paliwal *et al.*, 2001).

La manera más rápida de obtener incrementos en un programa de mejoramiento genético tiene que ver particularmente con la explotación de la heterosis que se obtiene del cruzamiento entre líneas puras en especies de naturaleza reproductiva catalogada como alógama. De esta manera, la heterosis ha sido una base fundamental en el desarrollo y producción de semilla híbrida de maíz (Tomes, 1998). Aunado a la heterosis, también existen factores que determinan el incremento en productividad, tales como el aprovechamiento adecuado de la diversidad y el manejo adecuado del germoplasma, de esta manera será aprovechado si se cuenta con alelos favorables que tienen que ver con características de importancia agronómica y económica, tales como rendimiento, sanidad, porte de planta, precocidad, tolerancia a estrés, además de contar con herramientas que permitan determinar parámetros de calidad y una evaluación exhaustiva en las localidades a impactar o, sitios de importancia (Betran y Hallauer, 1996; Hallauer *et al.*, 1988).

Para poder obtener la producción deseada y en su caso, explotar todas aquellas características de interés, es necesario realizar evaluaciones tempranas siguiendo un método de mejoramiento dentro de las poblaciones, utilizando una estructura familiar que facilite la obtención de datos para el conocimiento de la variabilidad genética evaluada, además de conocer el avance y nivel de fijación de los genes que influyen en las características deseadas.

Poliembrionía en maíz (PEm)

La poliembrionía es un fenómeno de interés, ya que al expresarse da origen a dos o más plántulas-plantas adultas por semilla por lo que reduciría el número de semillas requeridas en campo al momento de la siembra, permitiendo con ello un ahorro por el concepto semilla en el propósito de alcanzar una población determinada por unidad de superficie y suponer un incremento en la producción,

seleccionando además por su valor nutritivo, calidad de aceite y calidad de proteína (Espinoza et al., 1998).

Investigadores del IMM de la UAAAN iniciaron el estudio de este tema al generar en 1973 la primera población base o de origen denominada SSE (selección 17 súper enana; Castro, 1973). En el manejo de esta población se observó la presencia de plantas dobles, derivadas de una sola semilla. A esta condición se le denominó “plantas gemelas” y la frecuencia inicial de ellas fue de 1.5% aproximadamente. La reproducción de este tipo de plantas fue controlada con el propósito de aislar el fenómeno, y a partir de sus progenies, se integró una nueva población sobre la cual se propuso incrementar la frecuencia del carácter mediante un proceso de selección recurrente. Castro y Rodríguez (1979) concluyen que el carácter es altamente heredable ($h^2 = 0.67$, determinado por la vía de regresión progenie-progenitor medio), señalando también que las dos plantas resultantes de las semillas con doble embrión son gemelas genéticamente idénticas en base a la reducida varianza fenotípica que presenta dentro de los pares de plantas.

Siguiendo este esquema de selección para incrementar la frecuencia del carácter “doble embrión” en la población poliembriónica de maíz por los investigadores del IMM-UAAAN, se consigna que en el año de 1991 la PEm alcanzó 47%. Dado que la población PEm presentaba plantas de porte enano y de altura normal, en 1992 se decidió dividir la población de plantas gemelas en dos, una integrada por plantas enanas (braquíticas) y otra con plantas altas (de 195 a 230 cm). Una vez depuradas las poblaciones en cuanto al carácter altura de planta, el proceso de selección continuó en las dos nuevas poblaciones, y para 1996 las dos poblaciones alcanzaron una frecuencia de poliembriónía promedio de 60 %. A partir de esta condición y hasta ahora, las poblaciones se siguen manejando por separado, denominados como sigue: 1) una población de plantas altas, o porte normal, y alta frecuencia poliembriónica (denominada en breve como NAP) y, 2) otra población integrada por plantas enanas o braquíticas, también de alta frecuencia poliembriónica (denominada BAP) (Espinoza *et al.*, 1998). Formando además dos nuevas poblaciones (denominadas NBP y BBP) utilizadas como

poblaciones control o de referencia de la característica, las cuales fueron derivadas a partir de las poblaciones NAP y BAP, respectivamente, aplicando el esquema de selección reversa. Esta estrategia se sigue aplicando en las poblaciones NBP y BBP con la cual se ha logrado reducir la PEm a frecuencias inferiores a 2 % (Velázquez, 2013).

Calidad de semilla

La calidad de semilla es un complemento adicional en un programa de mejoramiento, ya que permite y amplía la caracterización y selección de genotipos sobresalientes.

Con este propósito, se han desarrollado técnicas de análisis que permiten evaluar la calidad de las semillas para la siembra (Hernández y Carballo, 1997), las cuales son de interés tanto para la industria semillera como para las instituciones responsables de la certificación, ya que determinan el valor de las semillas para beneficio del agricultor (ISTA, 2005).

La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Kelly, 1988), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria. (Basra, 1995; Copeland y McDonald, 1995).

En términos generales, una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales, permitiendo cumplir con los estándares de producción para poder obtener los volúmenes de esperados de semilla aprovechable, es por ello que la calidad fisiológica integra todas estas estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener índices altos en viabilidad (Antuna *et al.*, 2003). Los principales indicadores de calidad fisiológica de la semilla tienen que ver con la germinación y el vigor (Moreno *et al.*, 1988).

Vigor

En este sentido, el vigor de la semilla es útil para poder predecir el comportamiento de un lote en condiciones desfavorables para la germinación y

emergencia de las plántulas, así también para la estimación en el manejo de postcosecha a la que pueden ser sometidos, ya que se ha demostrado que el vigor y la longevidad están relacionados (Moreno, 1996). El primer componente de la calidad fisiológica que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido de una reducción en la germinación o de un mayor porcentaje de plántulas anormales (Ferguson, 1995).

En consecuencia, se han desarrollado diversas técnicas relativas a la medición del vigor. En este sentido, la prueba de envejecimiento artificial cumple con los requerimientos para la evaluación de calidad fisiológica de la semilla, dicha técnica está basado en someter a la semilla a elevadas temperaturas (30 a 42 °C) y humedades relativas (85 a 100 %) por un periodo específico de tiempo (Baskin, 1973). Con este propósito se han desarrollado cámaras de envejecimiento artificial que cumplen con este principio.

El envejecimiento acelerado puede deteriorar la semilla y es igual al que ocurre naturalmente, es la prueba de vigor más aplicada a semillas comerciales (Vashisth, 2009; Durán *et al.*, 2011) por su exposición a temperaturas y humedades altas (Barros y Filho, 2003) merman su capacidad germinativa, el crecimiento inicial de plántulas, la tolerancia a condiciones adversas ya que no ocurre uniformemente en semillas, aún en un mismo lote (McDonald, 1999).

En pruebas fisiológicas realizadas a semillas de maíz poliembriónico de diferentes grado en frecuencia dado al porcentaje del germoplasma poliembriónico, demuestra que al someter las semillas a envejecimiento acelerado tiene respuestas diferentes, tanto efectos favorables como desfavorables, en función de las virtudes en el comportamiento de los genotipos se pueden mencionar los de mejor calidad fisiológica (Mora *et al.*, 2013). En este sentido las diferencias fisiológicas entre genotipos pueden ser atribuidos a los procesos bioquímicos y reacciones enzimáticas durante el proceso de germinación, reflejando crecimiento y uniformidad de las plántulas (Ruíz *et al.*, 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento en campo

En este estudio se utilizaron 30 familias provenientes de dos poblaciones, 15 de cada una, con la siguiente descripción, 1) Población NAP, plantas con altura normal y alta poliembrionía, y 2) Población NBP, plantas con altura normal, pero baja frecuencia de poliembrionía, generadas en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IIM-UAAAN). Las 15 familias NAP fueron denominadas como C-1, C-2...C-15, mientras que las 15 familias de NBP se identificaron como A-1, A-2...A-15. Además, se utilizaron seis genotipos, originalmente híbridos radiales (NAP x Líneas endogámicas, completamente carentes de poliembrionía), y que ahora son genotipos segregantes de la poliembrionía, de tercera generación (una generación más después de F₂, manejada a través de apareamiento preferencial positivo).

Con la finalidad de facilitar la mención de los genotipos utilizados en el estudio, se estableció la simplificación siguiente.

- C = Población normal de alta frecuencia poliembriónica (NAP)
- D = Población braquítica de alta frecuencia poliembriónica (BAP)
- CML-78 y CML-311, líneas proporcionadas por CIMMYT.
- AN-255-18-19 (En breve 18-19), AN-7, AN-Tep-3 (En breve Tep-3), AN.CS-8 (En breve CS-8), líneas generadas en el IMM-UAAAN.

Cuadro 1. Genotipos generación 3 (GEN-3).

Grupo Asignado	Cruza
E	(C x 18-19)
B	(C x AN-7)
F	(C x Tep-3)
G	(C x CS-8)
C	(D x CML-78)

Condiciones experimentales

Los ensayos fueron realizados en tres ambientes agroecológicos diferentes en el año 2017, uno de los ambientes correspondió al Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Río Bravo–Tamaulipas con coordenadas geográficas 25° 57' de Latitud Norte y 98° 01' de Longitud Oeste, y una altitud de 26 msnm. El segundo experimento fue establecido en el Campo Experimental de la UAAAN en Buenavista, Saltillo, Coahuila con coordenadas geográficas 25° 21' de Latitud Norte y 101° 02' de Longitud Oeste, y una altitud de 1756 msnm. El tercer experimento se ubicó en lote de un predio cercano al municipio de General Cepeda, Coahuila con coordenadas geográficas de 25° 23' Latitud Norte y 101° 12' con una altitud de 1466 msnm. Cada ensayo fue establecido bajo un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo alfa-látice, tres repeticiones, longitud del surco de 5 m, distancia entre surco de 0.80 m, y distancia entre plantas de 15 y 17 cm para NBP y NAP respectivamente. Con los datos resultantes se realizaron análisis de varianza, y cuando fue necesario, las medias de los tratamientos se compararon utilizando la prueba de rango múltiple Tukey ($\alpha=0.05$). El análisis genético para estimar los efectos principales de la interacción genotipos x ambientes se realizó mediante el Modelo de los Efectos Aditivos Principales e Interacciones Multiplicativas (Modelo AMMI, Additive Main effect and Multiplicative Interaction), basado en un modelo estadístico lineal-bilinal (Crossa *et al.*, 2000).

Labores culturales

Las actividades de manejo del cultivo se realizaron conforme al ciclo vegetativo a excepción de Río Bravo donde las labores culturales fueron llevadas a cabo por el personal de campo de INIFAP Río-Bravo. Para las localidades Buenavista y General Cepeda se dio prioridad a las primeras etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, de manera tal que el manejo de experimentos fuera lo más homogéneo posible, y no interfiriera en las características experimentales, las labores se presentan a continuación:

Fertilización: la fórmula de fertilización que se aplicó fue de 160-80-00 donde al momento de la siembra se aplicó el 50 por ciento de Nitrógeno, y todo el Fósforo. El otro 50 % del Nitrógeno se aplicó al momento del cultivo.

Riegos: el número de riegos fue variable dependiendo de la necesidad y ajustándose a la precipitación pluvial, sin descuidar el suministro de agua en los periodos críticos pre-floración y floración y llenado de grano.

Control de malezas: se realizó a base del control cultural, eliminación manual y aporque de los surcos.

Control de plagas: para el control de plagas del suelo se utilizó Furadán granulado con 250 g por parcela útil, durante el desarrollo del cultivo se aplicó Lorsban 480 EM (Clorpirifos étil) para plagas foliares, todas las aplicaciones se realizaron de manera preventiva.

Cosecha: esta actividad se realizó al terminar el ciclo de vida de la planta, cuando el porcentaje de humedad se consideró pertinente para cosecha, esta actividad se realizó parcela por parcela, pisando y ordenando las mazorcas por su aspecto, para tener la facilidad a la hora de tomar los datos.

Variables agronómicas evaluadas

Días a Floración masculina (DFM), Días a Floración femenina (DFF): corresponden a los días transcurridos desde la siembra hasta el 50 por ciento de las plantas en las parcelas experimentales que presentaron anteras dehiscentes (floración masculina) y estigmas receptivos (floración femenina).

Altura de planta (AP). La medición en centímetros, corresponde desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Inserción de mazorca (IM). La medición en centímetros, corresponde desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de mazorca superior.

Acame de tallo (AT). Es la proporción de plantas, expresado en porcentaje, que presentaron tallo quebrado por debajo de la mazorca principal.

Acame de raíz (AR). Expresando en porcentaje, la proporción de plantas acamadas por parcela, considerando aquellas que presentaron inclinación mayor a 30° respecto a la vertical.

Plantas con *Fusarium* (PF). Expresado en porcentaje, la proporción de plantas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, con respecto a la parcela total.

Mazorca con *Fusarium* (MF). Expresado en porcentaje, corresponde la proporción de mazorcas por parcelas con manifestación fenotípica por la presencia del hongo.

Mala cobertura (MC). Expresada en porcentaje, corresponde a la proporción de mazorcas que no completaron su cobertura para protección de la mazorca.

Plantas cosechadas (PLC). Es el número de plantas cosechadas por parcela útil.

Humedad (H). Se estimó al momento de la cosecha, tomando una muestra de aproximadamente 200 g, de las mazorcas de cada parcela y se mide con el determinador de humedad Dickey- John, mini-GAC plus 2100.

Peso de campo (PC). Expresada en kilogramos, corresponde al peso neto de las mazorcas cosechadas en la parcela útil, tomando en cuenta todas las mazorcas.

Rendimiento (REND). Este valor se obtuvo mediante la producción estimada por parcela experimental expresada en $t\ ha^{-1}$ con una humedad de grano de 15.5 %. El dato de rendimiento por cruza se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC). La expresión de estos dos términos es como sigue:

$$PS = ((100 - \%HUM) / 100) * PC$$

Donde:

%HUM= Porcentaje de humedad del grano a la cosecha

PC= Peso de campo en kilogramos.

$$FC = (10,000 / APU * 0.845 * 1000)$$

Donde:

APU= Área de parcela útil; resultado de la distancia entre surcos multiplicado por la distancia entre plantas por el número total de plantas por parcela útil.

0.845= Constante para transformar el rendimiento de pesos seco al 15.5 % de humedad.

1000= constante para obtener el rendimiento en $t\ ha^{-1}$.

10,000= Valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m².

Rendimiento ajustado por covarianza. Cuando el número de plantas cosechadas fue muy variable entre parcelas dentro de experimentos se realizó un análisis de covarianza, para estimar el efecto de esta variable en la expresión del rendimiento. Una vez comprobado que la covariable mostró efecto significativo mediante la prueba de F, el rendimiento fue ajustado mediante la siguiente fórmula.

$$\hat{Y}_{ij} = Y_{ij} - b_1 (X - \bar{y})$$

Dónde: \hat{Y}_{ij} = rendimiento corregido por covarianza; Y_{ij} = rendimiento observado; b_1 = coeficiente de regresión estimado X = número de plantas cosechadas en la parcela \bar{y} = promedio de plantas cosechadas en el experimento.

Análisis estadístico

Cada uno de los experimentos fue establecido en un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo alfa-látice. El modelo lineal es como sigue.

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + t_j + \gamma_{k(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

$i = 1, \dots, t$, $j = 1, \dots, b$. t = número total de tratamientos (grupos); b = número de bloques; Y_{ijk} = variable de respuesta observada o medida en el i -ésimo tratamiento y j -ésimo bloque; μ = media general de la variable de respuesta; t_i = efecto del i -ésimo tratamiento (grupo); B_j = efecto del j -ésimo bloque; $\gamma_{k(i)}$ = efecto del k -ésimo genotipo dentro del j -ésimo grupo; ε_{ijk} = error asociado a la ijk -ésima unidad experimental.

La interacción genotipo por ambiente se evaluó con el modelo AMMI:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = es el rendimiento medio observado del genotipo i en el ambiente j para la variable medida; μ = es la media general; G_i = efecto de genotipo; E_j = efecto ambiental; λ_k = valor singular de k eje en el análisis de componentes principales; α_{ik} = vector propio del genotipo i para el eje k ; γ_{jk} = vector propio del ambiente j

para el eje k ; n = número de componentes principales en el modelo; e_{ij} = es el error aleatorio no observable que se asume homogéneo con distribuciones normales e independientes, es decir, NID $(0, \sigma^2/n)$. }

La interacción genotipo por ambiente (IGA) está dada por la suma de los términos multiplicativos $\sum_{k=1}^n \Delta_k \alpha_{ik} \gamma_{jk}$.

Experimento en laboratorio

Con el objetivo de conocer la calidad de la semilla de los genotipos de maíz evaluados en los ambientes de Rio Bravo y Buenavista, se realizaron pruebas físicas y fisiológicas de laboratorio, cuyos resultados se integran a la calidad genética que fue observado en el apartado anterior.

Las variables observadas en este apartado son descritas a continuación:

Calidad física

Peso mil semillas

Considerando la metodología descrita por ISTA (2009), tomando al azar 8 repeticiones de 100 semillas de cada material, el conteo fue realizado manualmente; cada una de las repeticiones fue pesada en gramos en una balanza analítica de 0.001 g de precisión, determinando el peso de mil semillas considerando el promedio de las ocho repeticiones multiplicado por 10.

Peso volumétrico y contenido de humedad

Para la determinación de estas variables fue empleado mediante un determinador de humedad donde incluye el peso volumétrico, utilizando al 250 g de cada material por tres repeticiones de cada una, la humedad representada en porcentaje y el peso volumétrico en Kg/hL (INSTA, 2004).

Calidad fisiológica

Las pruebas realizadas para determinar la calidad fisiológica fueron mediante la capacidad de germinación en porcentaje de plantas normales (PN), plantas Anormales (PA), semillas sin germinar (SSG), en este mismo sentido para

conocer el vigor se tomaron en cuenta las variables, longitud media de plúmula (LMP), longitud media de radícula (LMR), peso seco de plántula completa después de la eliminación del remanente del grano (PS), estas pruebas fueron para germinación estándar y de la misma manera para envejecimiento artificial o acelerado, todo ello bajo las condiciones controladas en laboratorio utilizando la metodología descrita por ISTA (2004), con adecuaciones.

Capacidad de germinación

De acuerdo con las reglas de análisis de semillas (ISTA) por sus siglas en inglés, siguiendo las condiciones de luz, humedad, temperatura y entre papel con modificaciones en el número de semillas por repetición.

Fueron sembrados 25 semillas de cada material con cuatro repeticiones cada una, utilizando como sustrato papel para germinación, con una dimensión de 45 x 30 cm, previamente humedecido con agua destilada, colocando la semilla con el embrión hacia debajo de forma equidistante en una línea central del papel y a la vez con cinco líneas hacia arriba cada 2 cm entre cada una de ellas paralelas al punto medio de forma horizontal, ajustado la línea central con cinta de doble pegamento, cubriéndolo con otro papel húmedo, para posteriormente ser enrollado formando “tacos”, los cuales fueron colocados en una bolsa de polietileno en posición vertical, por cada bolsa colocando seis tacos de manera aleatoria para después ser llevado a una cámara germinadora a una temperatura de 25 ± 1 °C, en condiciones de luminosidad por 7 días, con un solo remojo a la hora de preparación, se buscó que el taco llevara suficiente humedad.

Una vez llegado el tiempo de espera a los 7 días se cuantificaron las plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), y semilla sin germinar (SSG), descritas por AOSA (1992).

Plántulas normales (PN). Fueron considerados plántulas normales a todas aquellas que presentaron sus estructuras fisiológicas como el sistema radicular bien desarrollado, plúmula con buen desarrollo y de coloración verde con un tamaño arriba de 2.0 cm de longitud.

Plántulas anormales (PA). Fueron considerado aquellas que su desarrollo fue deficiente, con estructuras poco desarrolladas, como plúmulas retorcidas en espiral, coleoptilos con coloración amarilla y con una longitud menor de 2.0 cm.

Semillas sin germinar (SSG). En esta condición fueron tomados en cuenta todas aquellas semillas que no mostraron signos de rompimiento y desarrollo.

Variables de vigor

Longitud media de plúmula (LMP). Una vez realizada el conteo de las variables de germinación y tomando en cuenta las líneas paralelas cada 2 cm, con una asignación de valores 3, 5, 7, 9, 11 y 13; el número de plúmulas encontradas paralelamente se multiplico por el valor asignado sumando el total para posteriormente este valor ser dividido sobre el número total de semillas sembradas (25) expresado el resultado en centímetros.

Longitud media de radícula (LMR). Considerando las plántulas normales fueron tomadas 10 plántulas de manera aleatoria como muestra de cada repetición, midiendo la raíz principal con la ayuda de una regla métrica registrando su longitud en centímetros.

Peso seco (PS). Tomando en cuenta todas las plántulas normales mencionadas anteriormente en el conteo final, fue descartado el resto del grano de cada plántula normal, colocando la plúmula y la radícula en bolsas de papel, cada uno con su descripción, llevándolas a una cámara con temperatura de $75 \pm 1^\circ \text{C}$ por 24 horas. Posteriormente transcurrido el tiempo cada una de las bolsas después de enfriarse fue pesada con una balanza analítica de 0.001 g de precisión, por una lado la bolsa + muestra y por otro lado la muestra sin bolsa. La diferencia es el resultado del peso seco en gramos.

Todas estas variables tomadas fueron repetidas en la prueba de germinación con envejecimiento artificial o acelerado.

Envejecimiento acelerado (EA). Esta práctica fue efectuada de acuerdo a la metodología propuesta por AOSA (1992). Contabilizando 100 semillas por material depositadas en una canasta de plástico a la vez dentro de un vaso de precipitado con 500 mL de agua destilada sin que las semillas tengan contacto

con el agua, finalmente cada vaso es sellado con un plástico sujetado por una liga de caucho, por cada uno de los materiales, posteriormente fue llevado a una cámara de envejecimiento a una temperatura de 42 ± 0.5 °C por un tiempo de 96 horas. Concluida el tiempo fueron preparados los tacos para germinación y obtener las variables como fueron descritos anteriormente.

Diseño experimental en laboratorio

De acuerdo a los datos obtenidos en las dos pruebas de laboratorio para germinación estándar y germinación con envejecimiento acelerado, para la siembra se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones por cada material, para la evaluación de datos se utilizó un diseño factorial.

Análisis estadístico

Fue realizado el análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.0 y comparación de medias de rango múltiple Tukey con nivel de significancia de 0.05 con el paquete estadístico R-Studio versión 1.1456.

El análisis de varianza fue bajo el siguiente modelo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + B_j + tB_{ij} + \gamma_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

$i = 1, \dots, t$, $j = 1, \dots, b$. t = número total de ambientes; b = número de grupos; γ = número de genotipos; Y_{ij} = variable de respuesta observada o medida en el i -ésimo ambiente del j -ésimo grupo en el k -ésimo genotipo; μ = media general de la variable de respuesta; t_i = efecto del i -ésimo ambiente; B_j = efecto del j -ésimo grupo; tB_{ij} = efecto de la interacción entre el i -ésimo ambiente y el j -ésimo grupo; $\gamma_{k(j)}$ = efecto del k -ésimo genotipo dentro del j -ésimo grupo; ε_{ijk} = error asociado a la ijk -ésima unidad experimental.

Análisis de componentes principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo del análisis de componentes principales (ACP) es proyectar observaciones multivariadas en un

plano de manera tal que sea posible explicar variabilidad multivariada, ya sea entre observaciones o entre variables.

Se busca proyectar los datos multidimensionales en un espacio bidimensional, construido por ejes (componentes principales) de máxima varianza (Balzarini *et al.*, 2010). El método opera sobre una matriz de varianzas-covarianzas (S) preservando las distancias euclidianas entre observaciones, los datos pueden o no ser estandarizados. Si se estandariza, el ACP opera sobre una matriz de correlación (R), si no se estandariza, trabaja sobre S. La técnica de estandarización se recomienda para situaciones donde las variables no sean conmensurables (distintas unidades de medidas) y/o tienen varianzas muy distintas.

Si X es una matriz $n \times m$, de datos de n observaciones (entidades de análisis) sobre los cuales se registran m variables, una solución del ACP es obtenida mediante la descomposición espectral de la matriz $X'X$ ($m \times m$) que contiene la información de la matriz de varianzas y covarianzas de los marcadores.

De esta manera el modelo es el siguiente:

$$S = X'X \frac{1}{n-1}$$

$$X'X = \sum_{j=1}^m \lambda_j e_j e_j' = ED_\lambda E'$$

Dónde e_j es el j-ésimo autovector y λ_j es el j-ésimo autovalor de la descomposición espectral de $X'X$, E es la matriz que contiene todos los autovectores y D_λ es una matriz diagonal cuyos elementos no nulos son los autovalores. La otra solución puede obtenerse de manera análoga, a partir de la descomposición espectral de la matriz XX' ($n \times n$). Las componentes principales se construyen a partir de los autovectores de estas descomposiciones de la siguiente forma:

$$CP_j = e_j' X = e_{1j}X_1 + e_{2j}X_2 + \dots + e_{nj}X_m$$

Es decir, la j-ésima componente principal, es una combinación lineal de las m variables originales ponderadas por los autovectores. La varianza de la componente j-ésima es $Var(CP_j) = \lambda_j$. (Balzarini *et al.*, 2010).

Para poder visualizar los componentes principales es necesario realizar el gráfico Biplot. Los gráficos Biplot (Gabriel, 1971) permiten visualizar las conexiones entre las ordenaciones de las filas y de las columnas de la tabla de datos. El Biplot refleja que ambas ordenaciones se representan simultáneamente en el mismo gráfico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento en campo

En esta parte se abordan los resultados obtenidos en la serie de experimentos en campo, año 2017, para las localidades de Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Saltillo, Coahuila (UAAAN), además de un tercer ensayo que corresponde a General Cepeda, Coahuila. De este último sólo se presenta la medición de poliembrionía en campo de los diversos genotipos con esa característica, y las variables estructurales como son días a floración masculina y femenina, así como altura de planta y mazorca, esto por la pérdida de la producción por la presencia de una helada temprana (23 de octubre, 2017) que acabó con el establecimiento.

De acuerdo al análisis de varianza, los cuadrados medios presentados en el Cuadro 2, para Rio Bravo, las repeticiones muestran diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para las variables días a floración masculina y femenina (DFM y DFF). Esta condición pudiera ser el efecto de la diferencia del gradiente de humedad presente en cada repetición, dado que la planta, al estar en condiciones de estrés (temperatura), acelera su metabolismo y en este caso a florecer más rápido (Chávez *et al.*, 2017). De la misma manera y con la misma significancia, estas variables también presentaron diferencias entre grupos, y genotipos dentro de grupos, la variabilidad genética también contribuyen a este comportamiento.

Para las variables Altura de planta y mazorca (AP y AM), el comportamiento fue altamente significativo ($p \leq 0.01$) para grupos, lo que se asume como una diferencia de al menos un grupo por arriba de la media general.

En cuanto a la variable de mayor interés, el rendimiento (REN) fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$) para repeticiones y grupos respectivamente. El efecto de grupos, pudiera deberse a diferencias en la composición genética o de expresión variable de los materiales; esto indica que al menos un grupo es diferente al resto.

En el resto de las variables, el comportamiento fue de manera similar para todas las fuentes de variación con un comportamiento más presente en acames, sean

de raíz y tallo (AR y AT) además de mazorcas podridas y mala cobertura (MP y MC), estas últimas con diferencias significativas ($p \leq 0.01$, y $p \leq 0.05$) respectivamente en genotipos dentro de grupos, por lo cual aun dentro de grupos pueden algunos genotipos ser susceptibles o tolerantes, según su condición genética. Estas variables de efecto desfavorable pudieron ser una limitante para la expresión normal de los genotipos en evaluación, dado que en el ambiente se presentaron factores abióticos, como temperatura, alta humedad relativa y vientos fuertes, los cuales, en conjunto, tuvieron efectos muy desfavorables sobre las variables mencionadas.

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 2), en la Figura 1 se muestra el comportamiento en base al análisis de componentes principales de los grupos respecto a las variables en campo, los puntos representan los genotipos, cada grupo está representado con un color específico, los vectores representan las variables. En la figura se representa el 46 % del total de la variación tomando en cuenta los componentes principales uno y dos (CP1 y CP2), de esta manera pueden ser explicadas las diferencias entre grupos, señalado por la notoria distribución específica de los grupos. Los grupos relacionados a rendimientos pertenecen a los grupos “plantas de porte normal, y baja poliembriónía (NBP)” y Testigos (TEST), estos grupos representan el comportamiento mayor en producción. Por otra parte, se observa la correlación que existe entre variables, como son DFM y DFF, además de AR y AT; el grupo con floración tardía pertenece mayormente a “plantas de porte normal, y alta poliembriónía (NAP)” además, con mayor incidencia de mazorcas podridas.

Cuadro 2. Cuadrados medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Río Bravo, Tamaulipas.

FV	GL	DFM (Días)	DFF (Días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	MP (%)	REN (t/ha ⁻¹)	
Rep	2	34.6	** 39.3	** 54.6	504.6	4.1	0.2	7.0	1.7	16.3	*
Bloque(Rep)	9	5.4	6.4	287.9	430.7	6.3	0.5	2.3	1.9	5.6	
Grupo	3	76.9	** 99.5	** 725.8	** 2796.7	** 21.6	0.7	9.7	21.5	199.9	**
Genotipo(Grupo)	34	7.3	** 8.67	** 257.8	439.9	6.6	0.3	4.4	* 2.5	** 5.3	
Error Exp.	65	3.2	3.9	165.1	284.9	7.9	0.4	3.4	1.7	5.0	
CV (%)		2.4	2.6	6.3	19.0	89.0	67.7	50.8	21.7	27.3	
Media general		73.1	75.3	202.8	88.7	3.2	0.9	3.7	6.1	8.2	

*,** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; casos sin asterisco(s) son no-significativos; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR = Acame de raíz; AT = Acame de tallo; MC = Mala cobertura; MP = Mazorca podrida y REN = Rendimiento.

Los materiales con mayor altura están presentes en NBP. Es notable que los genotipos segregantes de poliembrionía, que inicialmente fueron combinaciones híbridas del tipo radial (variedad por línea endogámica), son los materiales más dispersos, incluyendo a algunos que se ubicaron entre los mejores.

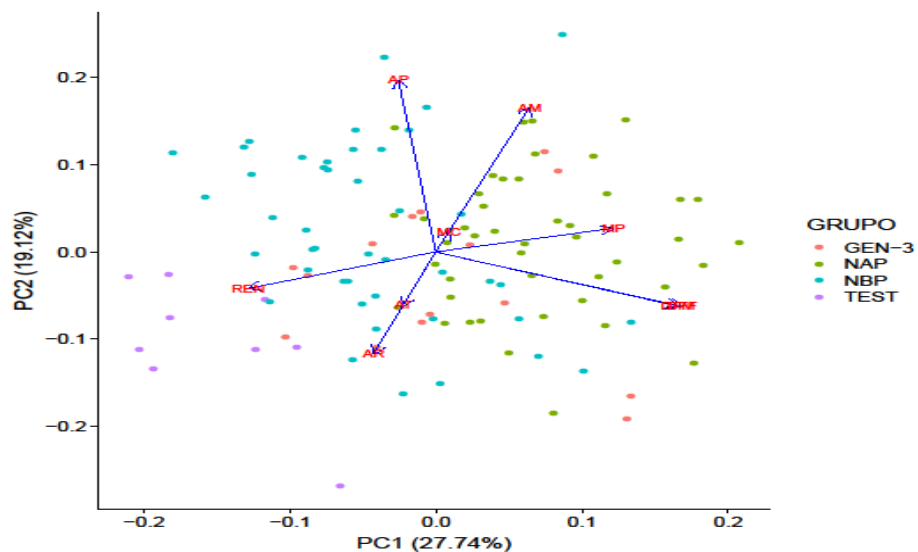


Figura 1. Análisis de componentes principales para las variables en campo (Rio Bravo, Tamaulipas).

Los grupos antes mencionados, relacionados a rendimiento ($t\ ha^{-1}$) o de mejor producción, se presentan en forma gráfica (Figura 4.2), con el método de prueba de medias, donde se puede observar la presencia de tres grupos de significancia, donde el grupo con mayor rendimiento y diferente al resto corresponde a los testigos con un promedio de $14.9\ t\ ha^{-1}$, seguido por NBP con un promedio de $9.12\ t\ ha^{-1}$ con mayor desviación estándar, lo cual permite suponer que dentro de este grupo existen familias con valores de mayor comportamiento respecto a la media, en comparación con resultados obtenidos por (Reyes *et al.*, 2007) para híbridos comerciales de esa región los resultados obtenidos de este trabajo superaron en un 45 % la producción, aun utilizando genotipos que fueron derivados por la vía de medios hermanos, como la del grupo NBP.

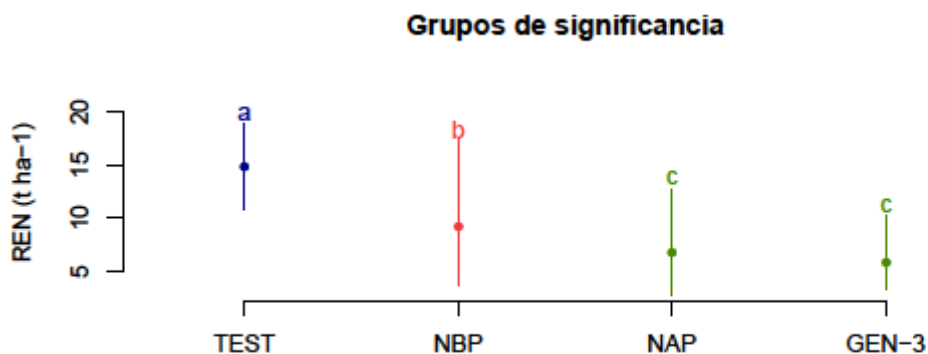


Figura 2. Prueba de medias de grupos, Tukey $\alpha = 0.05$, DMS = 1.969

Los resultados obtenidos de experimentos en Buenavista (Cuadro 3) permiten mostrar el comportamiento de las variables para cada fuente de variación, y puede apreciarse mayores diferencias con respecto a los resultados de Rio Bravo. Por ejemplo, la variable días a floración masculina (DFM) presenta diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para repeticiones, grupos y genotipo dentro grupos, indicando la variabilidad que existe en genotipos. Las repeticiones pudieron haber tenido dicho comportamiento debido al sombreado de árboles en los bordes de la parcela experimental; en cuanto a la variabilidad de los grupos, el origen genético que existe entre los materiales permiten tal comportamiento, dando lugar a la diferencia entre genotipos dentro de grupos.

La fuente de variación repeticiones (REP) también mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para días a floración femenina (DFF), acame de raíz (AR), mala cobertura (MC) y mazorcas podridas (MP); y significativas ($p \leq 0.05$) para las variables altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y rendimiento (REN). Por otra parte en grupos dentro de repeticiones se presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables DFF y rendimiento (REN), y significativas ($p \leq 0.05$) para AP y acame de tallo (AT), dichos efectos diferenciales tiene que ver con la importancia que tiene la utilización de estos modelos experimentales (bloques incompletos) los cuales permiten mostrar la heterogeneidad tanto del ambiente, como la respuesta de los genotipos en condiciones adversas. Cabe mencionar que dentro de la parcela experimental bloques incompletos estuvieron limitados a la exposición de luz en una parte del

día efecto del sombreado por árboles, este efecto pudo ser el causante de dichas diferencias, en el caso de la variable REN, anidado dentro de bloques y repeticiones, permite suponer la buena expresión de algunos genotipos o la limitación de otros, y todo esto tiene que ver principalmente con la variabilidad genética entre y dentro de los grupos.

Para grupos, la diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) se presentó en la mayoría de las variables a excepción de MC ($p \leq 0.05$). El efecto de grupos puede asumirse principalmente a la variabilidad genética que existe entre grupos, por lo que en al menos un grupo presenta las características favorables, tanto como precocidad en floración, altura de planta y mazorca adecuada, baja incidencia de enfermedades y sobre todo buena producción promedio de rendimiento, este último de gran importancia, ya que es una de las características que permiten la selección de genotipos, en este caso el valor promedio del grupo es quien diferencia del resto.

En el caso de genotipos dentro de grupos, la diferencia encontrada en la variable DFM altamente significativo ($p \leq 0.01$) corresponde a la variabilidad genética que existe aún dentro de los grupos, así también para las variables DFF, AM, AR, AT y MP con significancia ($p \leq 0.05$), expresan esta diferencia, por lo que los genotipos dentro de cada grupo tienen una respuesta favorable o desfavorable según sea el caso específico. En este sentido, es de importancia la variabilidad que existe entre los grupos, ya que la recombinación de estos genotipos permitirá una ganancia genética, superando a los materiales paternos.

Cuadro 3. Cuadrados medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

F.V.	GL	DFM (Días)	DFF (Días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	MP (%)	REN (t/ha ⁻¹)
Rep	2	287.1 **	275.7 **	918.0 *	569.1 *	7.9 **	0.8	10.4 **	12.8 **	12.6 *
Bloque(Rep)	9	5.6	14.9 **	665.2 *	215.0	1.7	1.7 *	1.5	0.8	22.3 **
Grupo	3	573.3 **	624.9 **	3381.4 **	6981.9 **	8.0 **	3.6 **	3.0 *	29.4 **	99.7 **
Genotipo(Grupo)	34	8.1 **	8.2 *	256.171	208.6 *	2.5 *	1.6 *	1.1	1.8 *	5.9
Error Exp.	65	3.9	4.6	261.5	128.9	1.4	0.9	0.9	1.0	5.2
CV (%)		2.3	2.5	7.2	8.6	74.7	52.5	65.9	40.4	19.9
Media general		85.6	87.4	223.9	131.9	1.6	1.8	1.4	2.4	11.5

*, ** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; casos sin asterisco(s) son no-significativos; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR = Acame de raíz; AT = Acame de tallo; MC = Mala cobertura; MP = Mazorca podrida y REN = Rendimiento.

El análisis de componentes principales presentado en la Figura 3 (ensayo en Buenavista) es explicado el 52 % del total de la variación, distinguiéndose tres grupos de variables relacionados; en el grupo NAP están relacionados la mayoría de las variables, donde intervienen las variables morfológicas y de sanidad, por lo tanto en este grupo se tiene mayor incidencia de patógenos, además de susceptibilidad al acame, el cual está correlacionado con la altura de planta, teniendo también un comportamiento tardío en floración. En cuanto a producción, nuevamente se demuestra que los grupos TEST Y NBP presentan mejor comportamiento, es interesante indagar dentro de las familias NBP con esta condición, la variabilidad que existe entre ellos puede ser criterio para conformar poblaciones de selección para futuros objetivos de mejoramiento con base en estos genotipos.

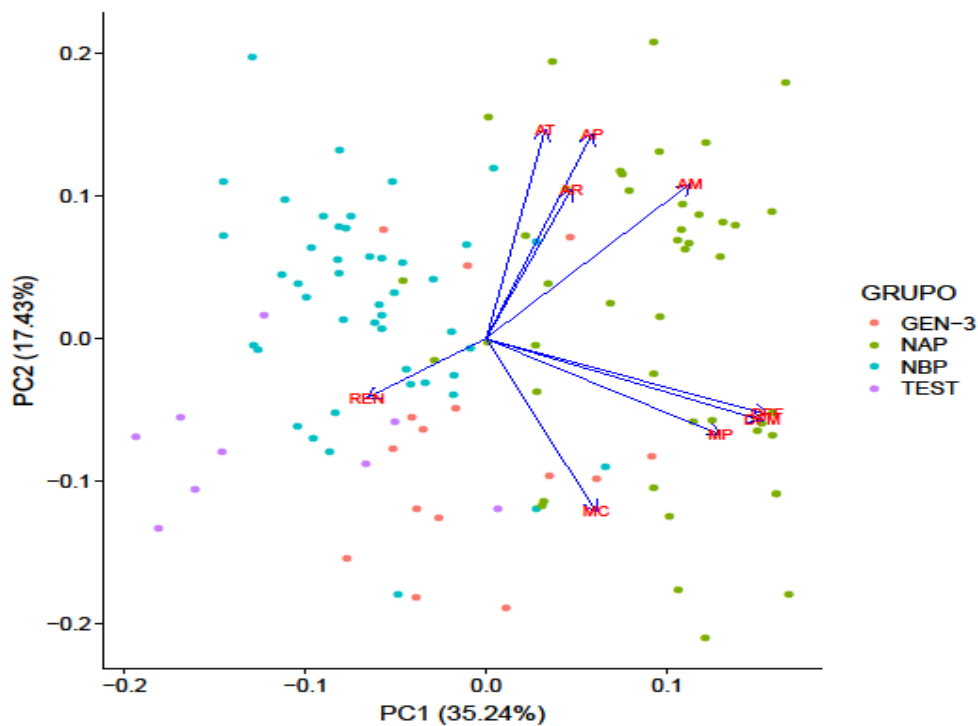


Figura 3. Análisis de componentes principales para las variables en campo (Buenavista, Saltillo, Coahuila).

La Figura 4 muestra la prueba de medias para grupo en base a REND, por lo que se obtienen dos grupos de significancia, el primer grupo y diferente al resto corresponde a los TEST con un promedio de 17.3 t ha^{-1} , en el segundo grupo de

significancia se encuentran NBP con un promedio de 11.2 t ha^{-1} y NAP con 11.18 t ha^{-1} , estas aunque de comportamiento similar, el grupo NAP presenta una desviación estándar mayor, lo cual indica que dentro de este grupo se encuentran familias superiores a la media. Estos resultados coinciden con el trabajo realizado por (Alcalá *et al.*, 2018) donde evaluó a la población NAP en dos densidades diferentes, obteniendo una media aproximada de 10 t ha^{-1} , cabe mencionar que en este trabajo se utilizaron familias derivadas de esa población. En esta región se han hecho evaluaciones de materiales genéticos, tanto híbridos como variedades, tal es el caso de los trabajos de Rincón *et al.* (2014) quienes han evaluado variedades en la región Sureste de Coahuila, región donde se encuentra la localidad de Buenavista, las variedades evaluadas presentaron rendimientos que van desde 6.39 t ha^{-1} hasta 7.85 t ha^{-1} en condiciones de temporal (cultivo desarrollado con precipitación pluvial).

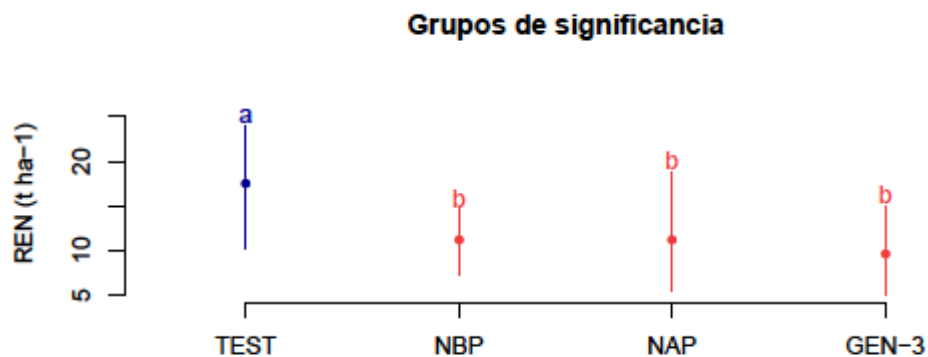


Figura 4. Prueba de medias para grupos. Tukey $\alpha = 0.05$, DMS = 2.0084

Para la localidad de General Cepeda, en el Cuadro 4 se presenta el análisis de varianza de las variables logradas antes del fenómeno ambiental, mostrándose diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en repeticiones para la variable AP, y diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para AM; refiriéndose al efecto de bloques dentro de repeticiones se obtiene significancia ($p \leq 0.05$) para días a floración femenina. La diferencia encontrada en grupos pertenece a las variables DFM, DFF, AM e IIM con una probabilidad de ($p \leq 0.01$) y de ($p \leq 0.05$) para AP; la variabilidad genética entre grupos permite este comportamiento. Tal es la variabilidad entre grupos que aún dentro de grupos existen genotipos que tienen un comportamiento diferente, es por

ello que en el efecto de anidamiento de genotipos dentro de grupos se encuentran las variables DFM y DFF con diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); por otra parte la variable AM con diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Con respecto a los demás ambientes, este (General Cepeda) en particular presenta un promedio de floraciones tempranas y con una altura de planta y mazorca superior a lo observado en los ambientes de Rio Bravo y Buenavista.

Cuadro 4. Cuadrados medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en General, Cepeda, Coahuila.

F.V.	GL	DFM (Días)	DFF (Días)	AP (cm)	AM (cm)	IIM (%)		
Rep	2	8.1	1.9	1193.7	**	613.6 *	17.9	
Bloque(Rep)	9	6.6	9.4	*	271.5	156.8	35.9	
Grupo	3	175.9	**	241.5	**	486.9 *	2322.2 **	413.3 **
Genotipo(Grupo)	34	10.9	**	10.2	**	206.7	264.2 *	39.9
Error Exp.	65	3.4	4.6	159.9		145.6	24.8	
CV (%)		2.5	2.9	5.5		9.3	8.8	
Media general		72.1	72.3	230.7		130.2	56.5	

*,** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; casos sin asterisco(s) son no-significativos; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; IIM = Índice de inserción de mazorca.

Como puede apreciarse en la concentración de medias generales de cuatro variables morfológicas, y un índice entre la cuarta y tercera variable (Cuadro 4.4), la localidad (1) presenta los valores promedio más discordantes, y es también el ambiente de prueba más contrastante. La altitud costera, y los cambios de temperatura y precipitación (final del invierno, primavera, y principios del verano), son condiciones ambientales extremas para los genotipos bajo estudio; el impacto de ese ambiente influyó para generar precocidad, y portes bajo de planta. Los ambientes (2) y (3) corresponden a territorio coahuilense, pero con situaciones geográficas y climáticas de contraste. Es notorio el efecto de mayor temperatura en el verano de General Cepeda sobre los días a floración, que se anticipa prácticamente dos semanas a la floración promedio en Buenavista, localidad que presenta 300 m más de altura. Sin embargo, tuvieron un efecto similar sobre los

genotipos para las variables altura de planta y mazorca, y en consecuencia el índice de inserción de mazorca (IIM). Cabe mencionar que la altura de planta se tomó a la hoja bandera de las plantas, lo cual magnifica el IIM.

Cuadro 5. Concentración de medias generales de las variables de respuesta a través de localidades (ambientes).

Localidades	DFM días	DFF días	AP cm	AM cm	IIM %
1) INIFAP-Río Bravo, Tamps.	73.1	75.3	202.8	88.7	43.7
2) UAAAN, Campus Buenavista, Saltillo	85.6	87.4	223.9	131.9	58.9
3) Lote en General Cepeda, Coah.	72.5	72.3	230.7	130.3	56.5

DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; IIM = Índice de inserción de mazorca.

El análisis de componentes principales presentado en la Figura 5, para General Cepeda tiene una explicación del 82 % del total de la variación, conforme al análisis de varianza del Cuadro 4, donde se muestra significancia de grupos para todas las variables, en esta figura es explicado el comportamiento de las diferencias encontradas, donde en NAP están relacionados la mayoría de variables y en algunos casos genotipos del grupo GEN-3, en estos grupos según la figura obtuvieron floraciones tardías, altura de mazorca y con un índice de inserción de mazorca superior al resto, las consecuencias de este comportamiento son desfavorables, ya que permitirán en gran medida la caída de las plantas.

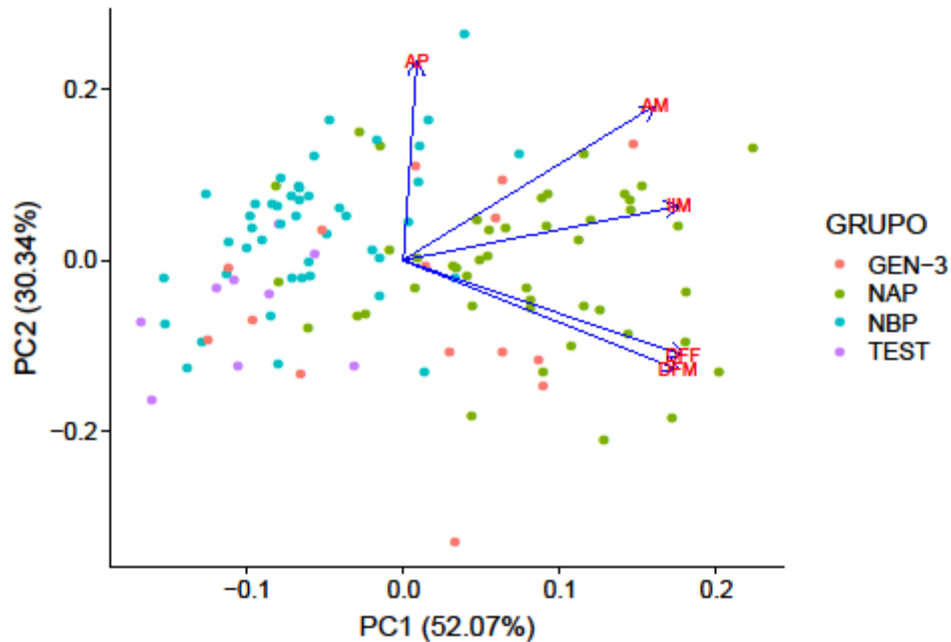


Figura 5. Análisis de componentes principales para las variables en campo (General Cepeda, Coahuila).

El análisis combinado se presenta en el Cuadro 6 donde los ambientes (Rio Bravo y Buenavista) son contrastados y expresados las diferencias e igualdades entre ellos. En este sentido, la fuente repeticiones presenta diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables DFM, DFF, MC y MP; mientras que la variable AP presenta una significancia de ($p \leq 0.05$). Para bloques dentro de repeticiones las significancias de ($p \leq 0.01$) pertenecen a las variables DFM, DFF y AP, en cambio a las variables AM, AT y REN con una significancia de ($p \leq 0.05$) de esta manera el uso del diseño fue lo más adecuado ya que permite la diferenciación que se encuentran entre repeticiones y a la vez en bloques, reduciendo el error experimental.

Para ambientes, el comportamiento altamente significativo ($p \leq 0.01$) estuvo presente en todas las variables estudiadas en este trabajo, por lo que puede reafirmarse del gran contraste que existe entre los ambientes evaluados, se puede hacer mención de que en al menos uno de los ambientes las condiciones ambientales limitaron o facilitaron la expresión de los genotipos evaluados, por

ejemplo, obteniendo materiales más precoces, altura promedio mayor, susceptibilidad a enfermedades y en su caso, en algún ambiente, el REN fue mejor. En el caso de grupos, la mayoría de las variables a excepción de AR y AT presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), por lo que aunado a las diferencias entre los ambientes, se suma la variabilidad que existe entre grupos, con estos resultados puede existir al menos un grupo con buenas características y a la vez con buen rendimiento promedio dentro de ambos ambientes.

El comportamiento en el efecto de la interacción ambiente por grupo expresa diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables, menos REN; dicha interacción puede explicarse como el comportamiento diferencial de los grupos a través de los ambientes evaluados, por lo que la variabilidad genética que existe entre grupos permite un comportamiento diferente de acuerdo al ambiente. Este comportamiento puede ser en mayor precocidad en un ambiente específico, altura promedio mayor, y en su caso susceptibilidad o tolerancia a las enfermedades.

En el sentido de conocer la existencia de variabilidad dentro de grupos, los genotipos dentro de grupos presentan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables DFM, DFF, AP, AM y MP; en cuanto a las variables AT, MC y REN con una significancia de ($p \leq 0.05$), de esta manera puede conocerse que dentro de grupos, existen genotipos que presentan características superiores al resto, tanto en floración, altura de planta, tolerancia a factores abióticos y valor productivo. Conociendo esta variabilidad con buenas virtudes dentro de los grupos puede seguir el proceso de mejoramiento para concentrar genes favorables, aprovechables en futuros objetivos de mejoramiento entre las poblaciones poliembriónicas.

Cuadro 6. Cuadrados medios de análisis de varianza y nivel de significancia para las variables de respuesta, experimento de maíz en Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Saltillo, Coahuila.

F.V.	GL	DFM (Días)	DFF (Días)	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	MP (%)	REN (t ha ⁻¹)
Rep	2	243.3 **	230.5 **	655.3 *	158.8	2.2	0.20	11.6 **	9.9 **	10.9
Bloques (Rep)	9	10.8 **	13.7 **	789.6 **	505.1 *	6.6	1.6 *	1.7	0.9	14.2 *
Ambientes	1	5205 **	4796.8 **	12165.3 **	61403.9 **	152.5 **	11.9 **	139.9 **	384.8 **	364.4 **
Grupo	3	548.9 **	614.4 **	3287.4 **	9509.0 **	3.9	1.9	10.1 **	45.4 **	284.1 **
Ambientes*Grupo	3	121.1 **	134.6 **	989.3 **	1420.8 **	32.1 **	3.6 **	5.6	6.3	10.7
Genotipo(Grupo)	34	13.24 **	13.9 **	432.3 **	472.9 **	4.7 **	1.10 *	3.5 *	2.9	9.0 *
Error Exp.	175	4.1	5.4	228.8	214.7	4.6	0.7	2.3	1.4	5.8
CV (%)		3.6	2.9	7.09	13.3	90.5	64.7	60.2	27.9	24.4
Media general		79.3	81.4	213.4	110.3	2.4	1.33	2.5	4.2	9.8

*,** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; casos sin asterisco(s) son no-significativos; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; AR = Acame de raíz; AT = Acame de tallo; MC = Mala cobertura; MP = Mazorca podrida y REN = Rendimiento.

Para conocer la distribución de los grupos a través de ambientes y tener mejor referencia del comportamiento de los efectos estudiados en este trabajo, en las Figuras 6 (A y B) se puede observar la distribución de los genotipos dentro de los grupos y por otra parte la diferencia que hay entre ambientes lo cual queda claramente establecida, con una explicación del 58 % de la variación total aportada por el componente principal uno y dos (CP1 y CP2). En el apartado A de dicha figura, las variables de floración, de altura, tanto de planta como de mazorca, y acame de tallo están relacionadas con el grupo NAP, de esta manera se explica floración tardía, plantas altas, por tal motivo la frecuencia de acame de tallo teniendo una correlación con esta variable, ya que es provocado por porte de planta alta y un índice de inserción de mazorca por arriba del 50%, estos comportamientos corresponden a la localidad de Buenavista según el apartado B de la figura. Para Rio Bravo se obtienen comportamientos relacionados para NAP, algunos casos NBP y GEN-3 con las variables de mala cobertura, acame de raíz y mazorcas podridas (MC, AR y MP), este último explica mayormente a este grupo de variables correlacionadas, para el caso de rendimiento (REN) tiene una relación positiva con Buenavista y particularmente al grupo de testigos, así como para familias del grupo NBP, este último es de interés en futuras programas de mejoramiento.

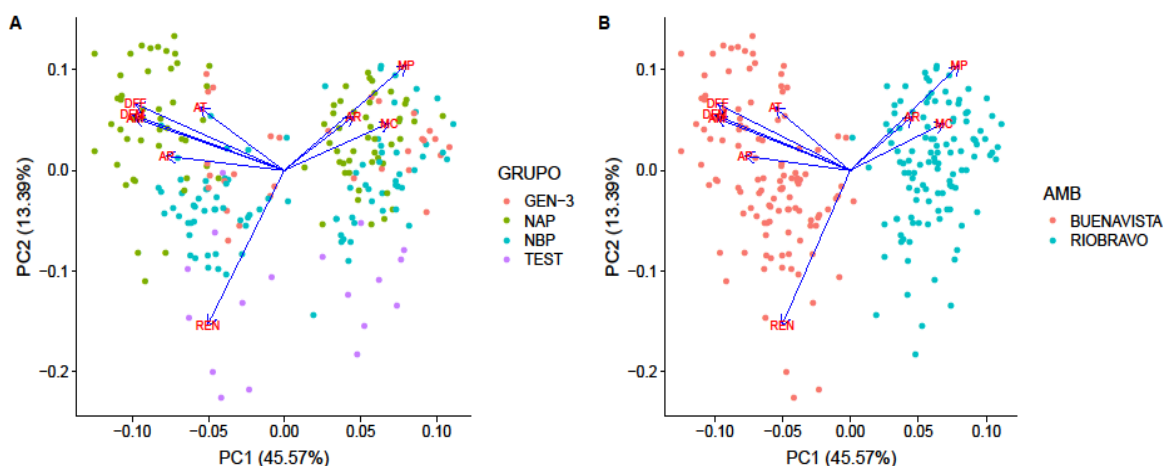


Figura 6. A) Análisis de componentes principales para grupos, B) Análisis de componentes principales para ambientes.

Para conocer mejor el comportamiento individual de los genotipos, la Figura 7 representa la prueba de medias, donde el genotipo DK-4060 obtuvo el mejor rendimiento, seguidos por Garañón y el híbrido experimental AN-HCM, como un cuarto grupo y diferente a los grupos anteriores se encuentra A-09 (11.8 t ha⁻¹) del grupo NBP, seguido por el genotipo C-02 (11.4 t ha⁻¹), aunque con desviación estándar mayor que A-09, estos comportamientos observados responden a la diferencias estadísticas encontradas de genotipos dentro de grupos, por lo que puede suponer que entre estas familias existe variabilidad genética con aptitudes aprovechables para su posible explotación, al generar estructuras familiares para evaluar y recombinar los seleccionados pueden generarse variedades o poblaciones de selección con buenos atributos para ambientes desfavorables.

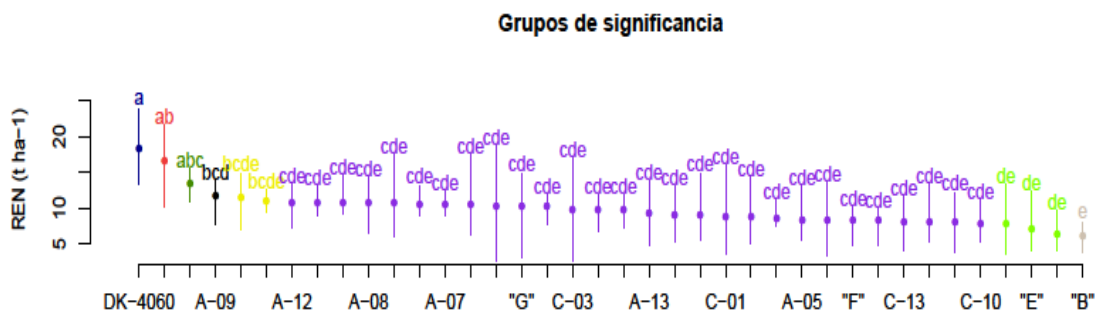


Figura 7. Prueba de media para genotipos. Tukey $\alpha=0.05$, DMS = 5.30.

En base a la prueba de medias para rendimiento, en el Cuadro 7 es presentado el ordenamiento de los genotipos, están presentes tres genotipos de cada grupo genético que obtuvieron los valores altos en producción, es presentado además el comportamiento que tuvieron en todas las variables en campo, de acuerdo a este cuadro, los testigos tuvieron la producción mayor del experimento para los ambientes de Rio Bravo y Buenavista, con floración precoz, altura de planta y mazorca considerable, con buena inserción de mazorca abajo del 50 %, en tanto a sanidad Garañón presenta mayor tolerancia a enfermedades; en cuanto a los genotipos poliembriónicos, la familia A-09 del grupo NBP presenta buen rendimiento a pesar de conformar aun de una estructura familiar dentro de la población de derivación, lo que indica que existe variabilidad genética suficiente para seguir un proceso de selección y recombinación de las familias con esta condición en programas de mejoramiento futuro, en general presentan floración

temprana, altura promedio mayor con variación por arriba de 50 % de inserción de mazorca, presencia de susceptibilidad a enfermedades en mazorca, tolerancia considerable a enfermedades de tallo. De manera general, la variabilidad existente entre grupos poliembriónicos es importante, ya que es ahí donde el interés de concentrar mayormente genes favorables en la generación de poblaciones de selección para objetivos particulares de mejoramiento es un reto alcanzable debido a que se tiene la materia prima (germoplasma) con atributos deseables, los retos serían en particular de este trabajo en la reducción de la altura de planta y mazorca, precocidad en floración, selección de familias con tolerancia a enfermedades. Para el grupo de tercera generación debido a la generación de variación por medio de las cruces, el comportamiento fue en general precario, por lo que en este trabajo se utilizaron para su observación y complementación de genotipos que representan al fenómeno poliembriónico.

Cuadro 7. Ordenamiento de las variables en base al rendimiento.

#	Genotipos	REN (t ha ⁻¹)	DFM (Días)	DFF (Días)	AP (cm)	AM (cm)	IIM (%)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	MP (%)
1	DK-4050	18.1	75.5	76.1	210.1	84.8	40.4	15.8	3.8	12.2	9.5
2	Garañon	16.5	77.5	78.5	196.7	86.7	44.1	5.9	4.0	0.5	11.7
3	HCM	13.1	75.7	78.9	198.3	82.1	41.4	12.0	5.4	0.7	12.8
4	A-09	11.6	76.4	77.7	226.6	117.4	51.8	9.6	1.8	10.5	28.5
5	C-02	11.7	83.9	86.2	207.6	115.9	55.8	17.4	2.1	20.2	27.4
6	A-06	10.7	76.6	79.1	227.3	115.7	50.9	3.2	2.4	15.4	18.8
7	A-12	11.1	75.0	78.3	208.3	107.7	51.7	15.1	6.3	4.1	18.0
14	C-08	10.3	80.5	84.5	231.6	133.6	57.7	11.6	2.1	8.4	29.8
15	C-09	10.6	81.6	83.8	218.3	125.3	57.4	0.0	0.5	13.5	17.3
16	G	9.6	82.6	84.0	192.9	96.8	50.2	8.7	3.7	4.8	27.5
29	F	8.7	77.3	78.7	208.5	92.4	44.3	10.5	1.7	28.3	19.1
36	E	6.8	79.8	82.6	193.7	90.9	46.9	11.1	1.6	3.6	30.0

REN = Rendimiento; DFM = Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; IIM = Índice de inserción de mazorca; AR = Acame de raíz; AT= Acame de tallo; MC = Mala cobertura y MP = Mazorcas podridas.

Comportamiento ambiental de la poliembrionía

En la manera de conocer la estabilidad en frecuencia del fenómeno poliembriónico a través de los ambientes estudiados, en el siguiente apartado es presentado pruebas de independencia del carácter en el grupo de alta frecuencia poliembriónica (NAP), esto con el fin de conocer el comportamiento del carácter, debido a que no puede establecerse una comparación entre los demás grupos (GEN-3 y NBP) poliembriónicos por el hecho de tener gran diferencia en frecuencia entre ellos, además del origen de cada grupo germoplásmico.

Tomando en cuenta el Cuadro 8, puede representarse las prueba estadística (χ^2 de Pearson) para variables cualitativas, según las pruebas realizadas tomando los datos de frecuencia de PEm y plantas individuales para los tres ambientes y realizando el muestreo a las familias NAP por mejor representación de la característica, los resultados de la prueba muestra que no existe diferencias significativas entre ambientes, pero tomando en cuenta el valor de p (0.10226 y 0.13347), para las comparaciones de Buenavista vs General Cepeda y Buenavista vs Rio Bravo respectivamente, puede suponerse que existe una diferencia aunque no sea significativa, contrariamente los ambientes General Cepeda vs Rio Bravo ($p = 0.91024$) donde representan mayor igualdad estadística según el comportamiento de las variables muestreadas para estos ambientes, en el sentido de buscar alguna relación que explique la diferencia aunque no significativa de los datos correspondientes entre Buenavista vs Rio Bravo y General Cepeda, será explicado posteriormente por la metodología que explota la interacción tal es el caso del modelo de Additive Main effect and Multiplicative Interaction por sus siglas en inglés (AMMI) para tener conocimiento de lo que ocurre con los genotipos poliembriónicos en su distribución, basado en la frecuencia poliembriónica obtenida en los tres ambientes.

Cuadro 8. Pruebas estadística para Poliembrionía (PEm) como característica cualitativa por ambientes.

Ambientes	Prueba estadística	P-value
1*2	X cuadrado de Pearson	0.10226
1*3	X cuadrado de Pearson	0.13347
2*3	X cuadrado de Pearson	0.91024

1 = Buenavista; 2 = General Cepeda; 3 = Rio Bravo

Para ello se realizó el análisis correspondiente para las variables con datos completos de los tres ambientes. En el Cuadro 9 son presentados los cuadrados medios del análisis de varianza, donde se aprecian los efectos de las fuentes de variación.

Las variables días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), que son variables correlacionadas, en el análisis de varianza se comportaron de manera similar, teniendo efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) de en ambientes de la misma manera para altura de planta y mazorca (AP y AM), de esta manera puede explicarse la amplia diferencia existente entre ellos.

El efecto generado por anidamiento de bloques dentro de ambientes, muestra diferencias significativas ($p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$) para altura de planta (AP) y altura de mazorca respectivamente, con esto se explica que el modelo experimental utilizado fue buena elección debido a un número alto de tratamientos.

La variabilidad genética entre grupos genéticos tuvo efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) para todas las variables por lo que, al menos un grupo genético presentó floraciones tardías y alturas tanto de planta como mazorca superior al resto. Los efectos encontrados en ambientes y grupos son expuestos en la interacción de las mismas, teniendo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) dentro de todas las variables, por lo que los grupos genéticos tuvieron un arreglo diferencial dentro de cada ambiente para todas las variables, por ejemplo, al menos un grupo tuvo floraciones tardías en un ambiente en particular y floraciones tempranas en otra (as), por lo que en al menos un ambiente se tiene las condiciones deseadas en el desarrollo del maíz evaluado.

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza y niveles de significancia para las variables obtenidas en los ambientes de Rio Bravo, Buenavista y General Cepeda.

F.V.	GL	DFM (días)	DFD (días)	AP (cm)	AM (cm)
Amb	2	5214.29 **	5811.04 **	5811.04 **	14781 **
Bloque(Amb)	9	10.17	12.13	959.93 **	590.19 *
Grupos	2	1004.29 **	1230.14 **	9165.24 **	13888 **
Amb*Grupos	4	89.42 **	91.81 **	1706.04 **	1495.14 **
Error Exp.	207	7.46	8.72	281.12	272.62
CV (%)		3.54	3.75	7.67	14.01

*, ** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; DFM = Días a floración masculina; DFD= Días a floración femenina; AP= Altura de planta y AM= Altura de mazorca.

En el Cuadro 10, se muestra una prueba de medias para los promedios de ambientes y grupos de las diferentes variables, en este acomodo es presentado variable poliembrionía (PEm).

La PEm en una manera de corroborar las frecuencias establecidas y publicadas por Velázquez (2013); Domínguez, (2013) y Alcalá *et al.*, (2018), correspondientes a cada grupo germoplásmico y no de comparación, ya que esta no debe existir por el origen de cada grupo, en la prueba de medias para ambientes se aprecian dos grupos de significancia, siendo en las localidades de General Cepeda y en Rio Bravo donde la expresión de la poliembrionía fue mayor (33 y 31 % respectivamente) lo que corresponde a la prueba de independencia obtenida anteriormente, mientras que para grupos se encontraron diferencias altamente significativas, resaltando la mayor expresión de la poliembrionía en las familias NAP (58.4%), seguido de los genotipos de tercera generación GEN-3 (31.5%) y como era de esperarse las familias NBP presentan en promedio baja poliembrionía (< 1%), encontrándose en los rangos ya establecidos en promedio de frecuencia del fenómeno de la poliembrionía, pero dentro de cada grupo

existe una interacción de genes que de acuerdo a la porción del germoplasma utilizado se presentará en mayor o menor frecuencia (González *et al.*, 2011).

Para días a floración masculina (DFM), la prueba de medias para ambientes mostró dos grupos de significancia donde Rio Bravo y General Cepeda son estadísticamente iguales en madurez floral (73 y 72 días después de la siembra) con diferencia de un día en promedio, en contraste al ambiente de Buenavista (85 días después de siembra en promedio) la diferencia es por 11 días aproximadamente, por lo que en este ambiente los materiales fueron en promedio tardíos. Para días a floración femenina (DFF) se observaron tres grupos de significancia, de igual manera el ambiente más tardío fue Buenavista con respecto al promedio de Rio Bravo y General Cepeda, en este último los genotipos fueron más precoces tanto para floración masculina como femenina con alrededor de 72 días después de la siembra, estos efectos diferenciales que muestran los grupos genéticos en los ambientes puede deberse a la acumulación de horas calor, las diferencias en fotoperiodos y a la mayor fotosíntesis en cada localidad (Sánchez, 2016). En Rio Bravo por ser una zona de transición entre árido y subhúmedo teniendo una temperatura anual de 23.2 °C (Climate-Data), la intensidad y calidad de luz inducen a los materiales a comportarse y exhibir precocidad, en cuanto a General Cepeda debido a la altitud tiene una temperatura anual de 22.3 °C en la por lo que podría recibir la misma intensidad de luz que Rio Bravo y tener el mismo comportamiento en cuanto al ciclo fenológico del cultivo. En el caso de Buenavista recibe una temperatura anual de 18 °C por tal motivo el comportamiento a días a floración de los materiales fue más tardío, cabe mencionar que en cada localidad la siembra se estableció en fecha distinta, eso aumenta la variación o coincidencia fenológica que existe a días a floración para localidades, de esta manera se comprueba que la temperatura y otros factores relacionados toma un papel importante en el desarrollo fenológico de diferentes especies que requieren de cierta cantidad de calor para pasar de un estado de su ciclo de vida a otro (Rawson *et al.*, 2001).

Para las variables altura de planta y mazorca (AP, AM) se presentaron dos grupos de significancia en la prueba de medias para ambientes, teniéndose más

altura de planta y mazorca en promedio para General Cepeda y Buenavista comportándose de manera similar.

Cuadro 10. Prueba de comparación de medias para ambientes y grupos.

AMBIENTES	PEm (%)	DFM (días)	DFF (días)	AP (cm)	AM (cm)
Rio Bravo	32 a	73.2 b	75.6 b	203.1 b	90.4 b
Buenavista	23.7 b	85.9 a	87.9 a	223.4 a	132.6 a
General Cepeda	29.4 a	72.3 b	72.7 c	229.6 a	130.5 a
GRUPOS					
NAP	58.4 a	79.9 a	81.7 a	222.2 a	127.2 a
GEN-3	22.6 b	77.1 b	79.4 b	201.8 b	101.9 c
NBP	0.2 c	74.4 c	75.5 c	221.9 a	114.9 b

Tukey ($\alpha=0.01$), Valores con letras iguales son estadísticamente iguales; PEm= Poliembrionía; DFM= Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; AP= Altura de planta y AM= Altura de mazorca.

Para los grupos genéticos, el comportamiento promedio muestra dos grupos de significancias para AP y tres grupos de significancia para AM, obteniendo mayor altura de planta y de mazorca NAP y NBP, por lo tanto valores altos de estas variables en la etapa de madurez de la planta puede ser perjudicial al inducir al acame, por ello es deseable contar y seleccionar materiales de porte bajo para resistencia a la densidad de población y resistencia al acame (Antuna *et al.*, 2003). En caso de los genotipos GEN-3 se presentaron valores más bajos para altura de planta y por ende de mazorca, el desarrollo de estos genotipos es de manera variable debido a la mezcla de genes obtenida por la cruce de genotipos exóticos con la población NAP.

Dentro de las variables evaluadas existe de alguna manera relación entre ellas, por tal motivo en el Cuadro 11, se presenta un análisis de correlaciones lineales y fenotípicas de acuerdo a los datos obtenidos en campo, en este análisis se

muestra una relación significativa entre las variables DFM y DFF con PEm, en el caso fenotípico, dicha relación se da de tal manera que en los ambientes donde se presentan un grado de precocidad a floración tanto masculina y femenina, fue donde se tuvieron los valores altos en la frecuencia de PEm, esta relación pueda estar determinado de alguna manera con la temperatura del suelo o el ambiente, estudios relacionados con la PEm han permitido obtener mejores frecuencias de la característica al ser evaluados en invernaderos, tal motivo que al ser evaluados en campo la frecuencia disminuye cierto porcentaje (Rebolloza *et al.*, 2011). De esta manera la PEm pudiera ser afectada por estos factores externos.

Cuadro 11. Correlación fenotípica de las variables en evaluación.

Variabes	PEm		DFM		DFF		AP	
DFM	0.893	**						
DFF	0.928	**	0.952	**				
AP	-0.157	ns	-0.065	ns	-0.148	ns		
AM	0.285	ns	0.376	ns	0.298	ns	0.762	**

** = Significancia al ($p \leq 0.01$), ns = No significativo, PEm= Poliembrionía, DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración femenina, AP= Altura de planta y AM= Altura de mazorca.

Modelo AMMI para frecuencias de poliembrionía

Para conocer el ordenamiento de los materiales en observación con respecto a los ambientes, en la Figura 8 y 9 se presentan los biplot generado en base a los valores de frecuencia de la PEm.

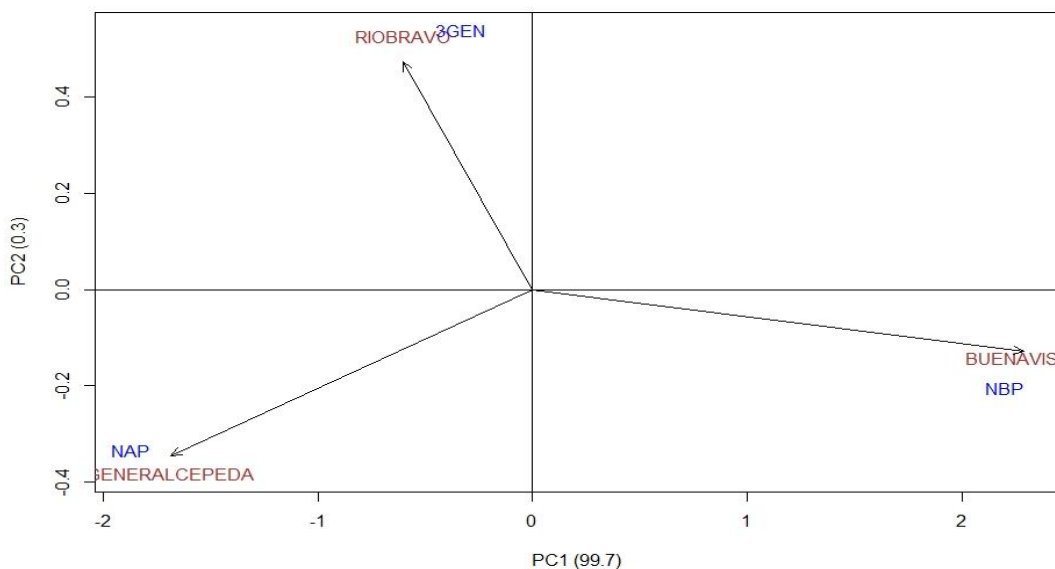


Figura 8. Biplot AMMI. Según el plano conformado por los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Los puntos representan los grupos y los vectores los ambientes.

La variación total es expresada por los dos componentes, el CP 1 expresa el 99 % de la variación, por lo que puede suponerse que este componente puede explicar la interacción que se genera entre grupos poliembriónicos y el ambiente. Tomando en cuenta el comportamiento (Figura 8), existe una correlación de los grupos GEN-3 y NAP con los ambientes de Rio Bravo y General Cepeda respectivamente, por lo que entre estos ambientes la expresión de la poliembrionía tiene más frecuencia, asumiendo que la temperatura del suelo en la siembra de estos materiales favorece la expresión (Batygina and Vinogradova, 2007), contrariamente con el grupo NBP y considerando a este grupo genético con el ambiente de Buenavista la expresión se hace presente sabiendo que este grupo fenotípicamente se ha seleccionado en contra de la poliembrionía por lo que su frecuencia es baja ($\leq 1\%$).

En la Figura 9 se muestran el comportamiento de los genotipos a través de los ambientes. El total de la variación es explicado por el CP1 y CP2, con 65% y 45 % respectivamente por lo tanto permiten suponer que ellas son suficientes para explicar los patrones de expresión. Tomando en cuenta la Figura 4.9, existen familias que tienen mejor expresión para carácter de PEm en relación con un ambiente específico, tal es el caso de las familias C-06, C-13 y A-09 con Rio Bravo, General Cepeda y Buenavista respectivamente, esto puede ser explicado por la cercanía que se encuentran al vector de ambientes, existen además genotipos que se expresan de manera similar entre dos ambientes, pero más relevancia tiene el que se comporta de manera similar a través de los ambientes en este caso corresponde a las familias C-11 y C-03 que se encuentra con valores cercanos a cero del CP1, a pesar de la gran diferencia que existe entre ambientes, su estabilidad es de interés y podría suponerse que estos germoplasmas poliembriónicos presenten mecanismos flexibles para contrarrestar los cambios ambientales que limitan la expresión del carácter.

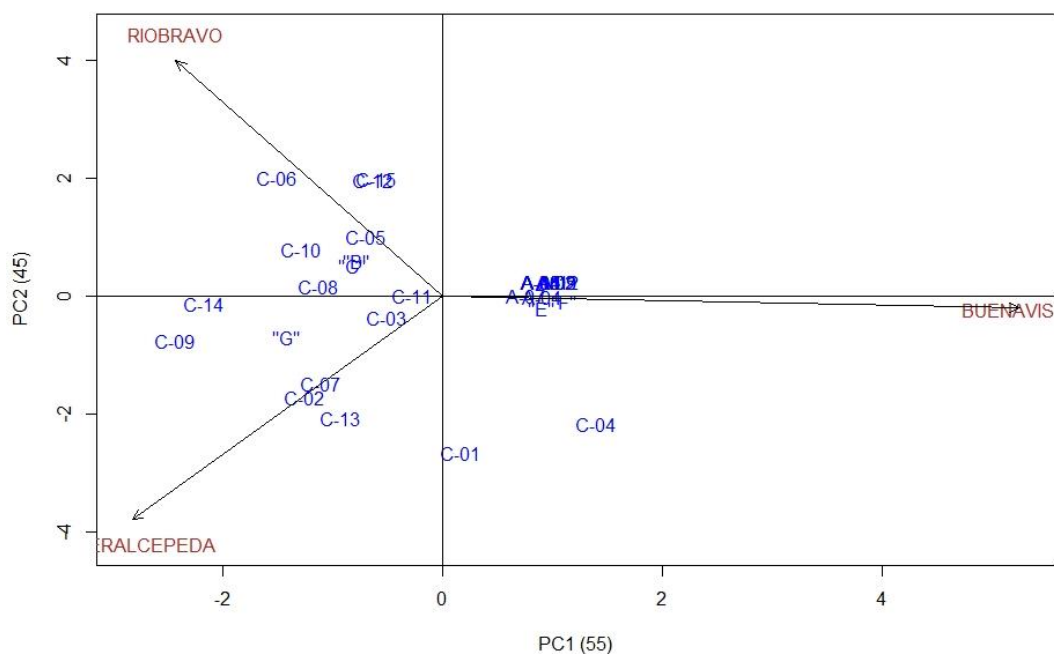


Figura 9. Biplot AMMI 2. Conformado por los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.

El Biplot generado en la Figura 10, con base al modelo AMMI 1 puede interpretarse los tres grupos de genotipos, en este caso las familias NBP relacionado con el ambiente de Buenavista, mientras que los genotipos en GEN-3 y familias NAP tienen mejor expresión en General Cepeda y Rio Bravo. Particularmente como es mencionado anteriormente las familias C-11 y C-03 son los que más adaptabilidad tienen y que expresan alrededor del 63% de PEm. Es importante mencionar que el genotipo que presentó mayor frecuencia de los grupos de tercera generación "G" que corresponde a la cruce (C x CS-8) con alrededor del 43% de PEm, este comportamiento puede estar asociado a la reducción en el fenómeno de penetrancia incompleta, donde el material exótico utilizado permite en gran medida la expresión de la PEm (Rebolloza *et al.*, 2011).

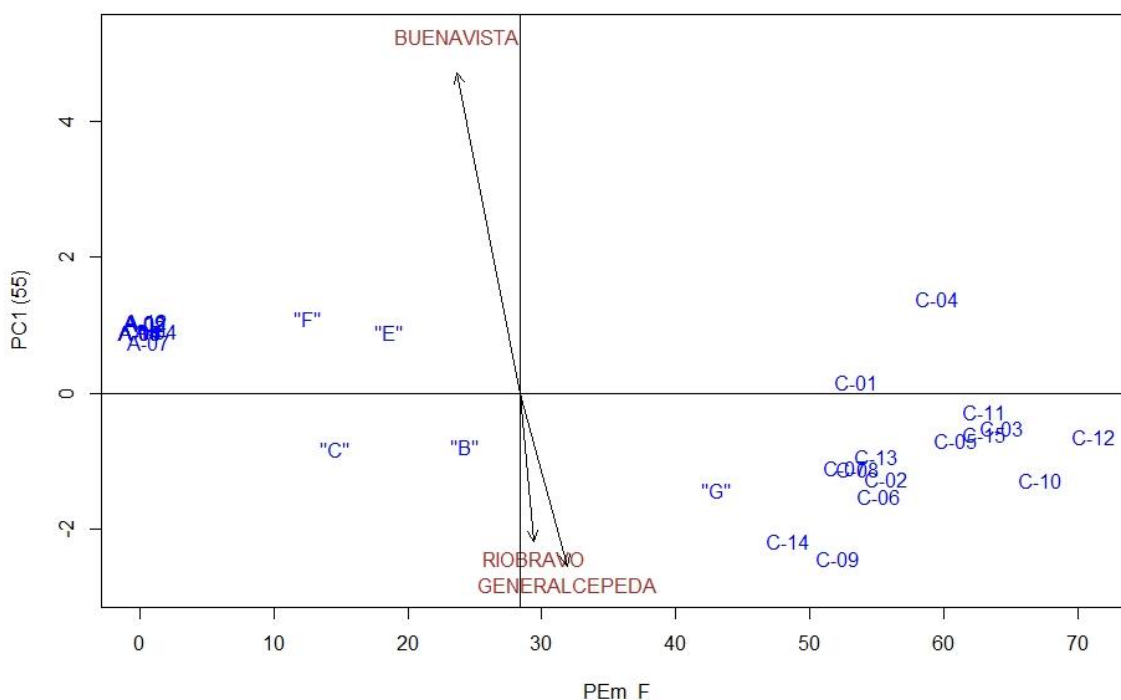


Figura 10. Biplot AMMI 1. Conformado por el la variable de interés y el primer componente principal (PEm y CP1). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.

En complementación de la figura anterior, la Figura 11 representa el comportamiento del segundo componente y la PEm, de esta manera puede observarse el ordenamiento de las familias entre Rio Bravo y General Cepeda,

teniendo mayores familias el segundo ambiente, la familia (C-12) del grupo NAP que más representó el carácter con un promedio del 70% en Rio Bravo y General Cepeda esto supone que dentro de la población poliembriónica aún existe suficiente variabilidad genética y de compatibilidad que pueda aprovecharse para incrementar considerablemente la PEm complementariamente con características agronómicas deseables, los resultados obtenidos dentro de cada grupo genético entran en los rangos promedios ya publicados.

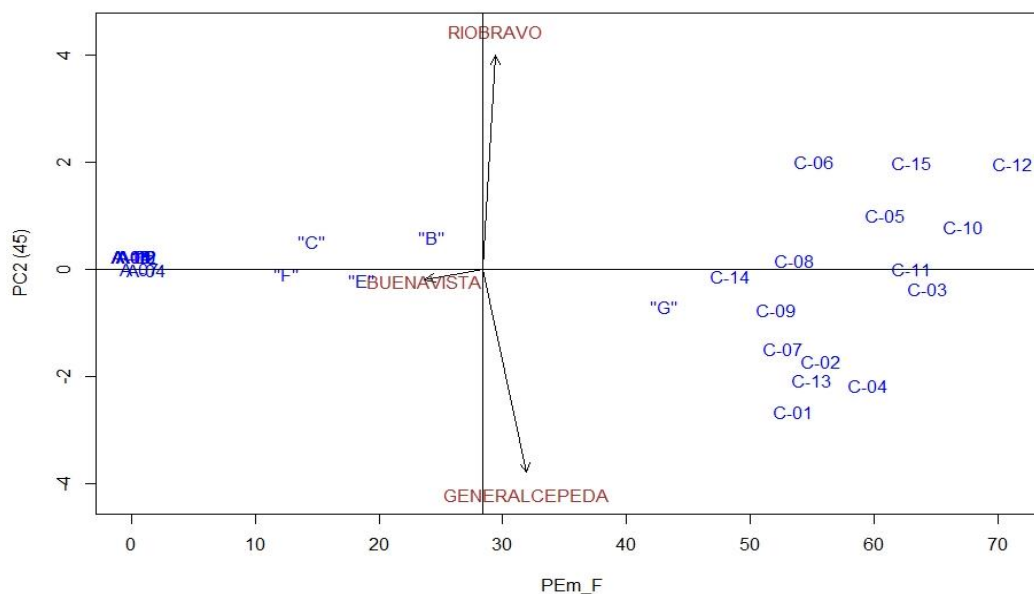


Figura 11. Biplot AMMI 1. Conformado por el la variable de interés y el primer componente principal (PEm y CP2). Las letras representan los genotipos y los vectores los ambientes.

Experimento en laboratorio

En base al segundo objetivo de este estudio, para determinar la calidad de las semillas producidas en los ambientes de Rio Bravo y Buenavista, se utilizaron las pruebas de germinación y vigor (pruebas fisiológicas y envejecimiento acelerado) en laboratorio donde los resultados son mostrados a continuación.

Calidad física

Para conocer los efectos de las fuentes de variación para variables de calidad física, en el Cuadro 12 está presente el análisis de varianza, donde ambiente presenta diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables

contenido de humedad, peso volumétrico y peso de mil semillas (CH, PV y PMS) respectivamente, lo que indica el efecto directo del ambiente en el desarrollo de las semillas. En el caso de grupos genéticos, la diferencia está dada en las variables CH y PMS con una diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) lo que nos lleva a suponer que existe una gran diferencia entre estos grupos, por lo que al menos un grupo genético tiene mayor contenido de humedad y por ende mayor peso en semillas.

Los genotipos dentro de cada grupo genético su efecto muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para PV y PMS, por lo que para estas variables pueden presentarse genotipos con mayor densidad y peso en semillas, esto debido a la variabilidad genética de los genotipos, ya que su origen germoplásmico es de amplia variabilidad, a excepción de los testigos (híbridos comerciales).

Las diferencias presentadas en ambientes y grupos genéticos, son expuestas aún más en la interacción, donde puede suponerse que existe un arreglo diferente de los grupos genéticos de acuerdo al ambiente, es decir, puede suponerse que un grupo genético obtuvo mejores resultados físicos en semilla de acuerdo al ambiente en el cual fueron producidos, tal es el caso de las variables CH y PV que obtuvieron niveles significativos ($p \leq 0.05$) y para PMS con diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), por lo que hubo un ambiente donde el desarrollo de las semillas fue de manera normal, y en su caso el otro ambiente donde los factores adversos tuvieron un efecto en el desarrollo, por lo que la obtención de calidad física fue limitada.

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia para variables de calidad física.

FV	CH		PV		PMS		
	GL	(%)		(Kg/HL)		(gr)	
Ambiente (Amb)	1	1025	**	1986	**	1357	**
Grupo	3	3.311	**	108		736	**
Gen(Grupo)	34	0.763		263	**	42.4	**
Amb*Grupo	3	2.2	*	137	*	35.8	**
Error	186	0.603		48.5			
Error de PMS	262					3.81	
CV %		6.414		10.5		7.0	

*, ** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; CH = Contenido de humedad; PV = Peso volumétrico y PMS = Peso de mil semillas.

Para conocer el comportamiento en calidad física de los materiales, en el Cuadro 13 están presentes las medias de las variables correspondientes para calidad, donde es mostrado el promedio de genotipos, grupos genéticos y de ambientes. Los genotipos de herencia poliembriónica aunque en su origen compartan genes propios de la población, presentan aún basta variabilidad, en este sentido los genotipos que obtuvieron valores altos para cada uno de las variables son; para el caso de genotipos del grupo de porte normal alta poliembriónía (NAP) en contenido de humedad (C-06 y C-09), peso volumétrico (C-07 y C-01) y peso de mil semillas (C-03). Para los genotipos del grupo de porte normal y baja poliembriónía (NBP) en contenido de humedad (A-15 y A-03), peso volumétrico (A-10) este genotipo es el que obtuvo mayor comportamiento de esta variable y es el que se encuentra en el rango de aceptación por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 1980) para su comercialización ya que su valor oscila entre 73 y 75 Kg/hL y peso de mil semillas (A-08). En el caso de los genotipos de tercera generación (GEN-3) en contenidos de humedad (B), peso volumétrico y peso de mil semillas (F). Para los testigos se encuentran

(Garañon, HCM y Garañon) respectivamente. El promedio de grupos genéticos muestra a GEN-3 con mayor contenido de humedad y peso volumétrico y en su caso los testigos con mayor peso semillas. En ambientes, la localidad donde tuvieron un desarrollo normal las semillas y por ende de mejor comportamiento físico tuvieron las semillas fue en Buenavista, ya que en esta localidad el manejo agronómico fue más homogéneo y de más participación, contrario a Rio Bravo, donde el manejo estuvo a cargo de trabajadores de campo de INIFAP, además se suma el efecto ambiental lo cual fue limitante en el desarrollo de las plantas.

Cuadro 13. Medias de los genotipos, grupos genéticos y ambientes para variables de calidad física.

GENOTIPO	CH (%)	PV (Kg/hL)	PMS (gr)	GENOTIPO	CH (%)	PV (Kg/hL)	PMS (gr)
A-01	12.1	69.8	345.4	C-07	12.6	70.4	246.4
A-02	12.3	71.6	363.1	C-08	11.8	68.6	283.8
A-03	12.5	64.7	307.3	C-09	12.4	65.0	293.7
A-04	11.7	70.2	311.8	C-10	11.9	57.1	257.1
A-05	11.6	36.6	304.7	C-11	12.1	62.5	282.1
A-06	11.9	65.0	333.9	C-12	12.2	64.6	282.3
A-07	11.9	72.3	350.4	C-13	12.0	65.7	252.3
A-08	12.4	69.4	404.2	C-14	12.0	59.3	250.4
A-09	12.4	68.5	302.3	C-15	12.1	68.7	270.0
A-10	11.9	73.2	317.5	DK-4060	11.7	63.6	347.4
A-11	11.6	66.5	276.4	E	12.6	63.5	316.6
A-12	11.5	67.3	342.5	F	12.6	72.8	328.7
A-13	10.7	72.6	318.1	G	12.2	72.0	317.9
A-14	12.0	71.2	351.8	Garañon	12.2	60.1	359.2
A-15	12.6	69.4	366.6	HCM	11.8	72.9	318.3
B	12.7	63.8	228.2	GRUPO			
C	12.6	72.5	266.6	NAP	12.2	65.5	251.1
C-01	12.1	69.7	268.6	NBP	11.9	67.2	298.2
C-02	12.5	67.1	315.5	GEN-3	12.5	68.9	270.9
C-03	12.5	65.3	324.8	TEST	11.9	65.5	313.3
C-04	12.3	67.9	241.1	AMBIENTE			
C-05	12.0	68.3	272.7	BUENAVISTA	14.8	70.6	305.7
C-06	12.4	63.1	297.0	RIO BRAVO	9.4	62.6	248.7

CH = Contenido de humedad; PV = Peso volumétrico; PMS = Peso de mil semillas.

Calidad fisiológica

En el Cuadro 14 están presentes los cuadrados medios del análisis de varianza para germinación estándar, mostrándose el comportamiento en germinación y vigor particularmente, el efecto de ambientes muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables de germinación como son plantas normales (PN); ($p \leq 0.05$) para plantas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG). Para el caso de vigor en las variables longitud media de plúmula (LMP) y peso seco (PS), con diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); las diferencias observadas demuestran que las semillas al ser producidas en ambientes diferentes permiten un comportamiento específico en germinación y vigor.

Dentro de los grupos genéticos presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables de germinación y vigor, el comportamiento de los grupos genéticos tiene que ver con la variabilidad genética que existe entre ellos, cabe señalar que cada grupo genético comparten características específicas de acuerdo a la población germoplásmica de las cuales fueron derivados. Por lo que al menos un grupo genético presenta atributos de calidad favorable.

En el caso de la interacción ambiente por grupo genético la significancia ($p \leq 0.01$) fue dada en las variables de vigor (LMP, LMR y PS), este comportamiento tiene que ver a un arreglo diferente de los grupos genéticos compartidos en un ambiente específico, es decir; el vigor de las semillas de al menos un grupo se ve favorecida de acuerdo al ambiente donde fueron producidas las semillas.

Para genotipos dentro de grupos genéticos los efectos muestran diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables (PN, PA y SSG) de germinación y vigor (LMP y PS); y significativa ($p \leq 0.05$) para LMR, lo que demuestra la variabilidad genética que existe aun dentro de grupos genéticos, aunque comparten genes de la población de derivación, de manera individual presentan diferencias al resto por lo que existen genotipos dentro de grupos con características favorables.

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables en laboratorio correspondientes a germinación estándar.

FV	GL	Germinación			Vigor		
		PN (%)	PA (%)	SSG (%)	LMP (cm)	LMR (cm)	PS (mg/pl)
Ambiente	1	791.6 **	8.5 *	6.4 *	50.6 **	5.6	3552.8 **
Grupo	3	1266.0 **	14.3 **	16.2 **	17.6 **	39.7 **	1593.7 **
Ambiente*Grupo	3	143.4	3.2	2.6	62.4 **	31.5 **	611.4 **
Gen(Grupo)	35	237.4 **	2.8 **	3.4 **	9.6 **	11.1 *	207.3 **
Error Exp.	259	74.3	1.5	1.0	3.0	7.3	106.0
CV %		9.9	49.3	46.6	21.6	16.4	18.6
Media		86.9	7.4	5.7	8.1	16.4	55.2

*, ** = significativa al ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) respectivamente; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; PN = Plantas normales; PA= Plantas anormales; SSG= Semillas sin germinar; LMP= Longitud media de plúmula; LMR = Longitud media de radícula; PST = Peso seco total.

En la prueba de vigor, específicamente en someter las semillas a estrés por envejecimiento acelerado en el Cuadro 15 son presentado los resultados obtenidos, donde en efecto de ambientes muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables, tanto de germinación y vigor después de ser envejecidas; de la misma manera para grupos genéticos, por lo que esta prueba evidencia el vigor entre grupos genéticos y la diferencia dependiente del ambiente en que se produce las semillas.

En la interacción ambiente por grupo muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables PNEA, SSGEA y LMREA; y significativa ($p \leq 0.05$) para longitud media de plúmula (LMPEA), la prueba de envejecimiento expone las diferencias de las variables no encontradas en germinación estándar para esta fuente de variación, por ejemplo en plantas normales, esta prueba pudo ser una limitante para algunos grupos y benéfico para otro con dependencia del ambiente, es por ello que en semilla sin germinar aumenta su variación ósea

mayor número de grupos genéticos con efectos negativos en semillas germinadas.

Los genotipos dentro de grupos genéticos el comportamiento fue significativo ($p \leq 0.01$) para las variables de germinación (PNEA y SSGEA) y de vigor (LMPEA, LMREA y PSEA); lo que demuestra que en esta prueba de envejecimiento los genotipos son más expuestos demostrando mayor variabilidad. Esta variabilidad puede observarse en el comportamiento de los coeficientes de variación entre cada prueba, teniendo mayor variación en envejecimiento.

Cuadro 15. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia para las variables en laboratorio correspondiente a envejecimiento acelerado.

FV	GL	Germinación			Vigor			
		PNEA (%)	PAEA (%)	SSGEA (%)	LMPEA (cm)	LMREA (cm)	PSEA (mg/pl)	
Ambiente	1	11937.6	** 31.8	** 169.5	** 516.6	** 437.8	** 24651.2	**
Grupo	3	4877.9	** 38.6	** 32.1	** 133.2	** 86.7	** 2609.2	**
Amb*Grupo	3	871.9	** 3.0	8.7	** 15.7	* 62.5	** 182.7	
Gen(Grupo)	35	508.4	** 1.2	5.4	** 10.4	** 33.4	** 379.6	**
Error Exp.	259	183.9	1.8	1.7	4.9	9.6	193.7	
CV %		17.0	53.0	43.3	26.9	19.9	23.2	
Media		79.7	8.3	12	8.19	15.5	60.1	

*,** = significativo al ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) respectivamente; FV= Fuente de variación; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; PNEA = Plantas normales después de envejecimiento acelerado; PAEA= Plantas anormales después de envejecimiento acelerado; SSGEA= Semillas sin germinar después de envejecimiento acelerado; LMPEA= Longitud media de plúmula después de envejecimiento acelerado; LMREA = Longitud media de radícula después de envejecimiento acelerado; PSEA = Peso seco después de envejecimiento acelerado.

En la Figura 12 se muestra la relación que existe en base al análisis de componentes principales entre las variables para germinación estándar y envejecimiento acelerado (A y B) respectivamente, explicando el comportamiento de los grupos genéticos, para el caso de germinación estándar del apartado A, la variación esta explicada en un 72 % que corresponde a la suma del componente principal uno y dos, en este apartado se observa una correlación entre las variables de vigor, contrariamente con las variables de germinación donde no existe una relación entre ellas; los grupos genéticos se muestran dispersos alrededor de las variables, de esta dispersión se rescata a NBP donde el conjunto de familias de manera general están concentrados y relacionadas con las variables de vigor (LMP, LMR y PS) y en un grado mayor con plantas normales (PN) que corresponde a germinación, en este sentido también se encuentran los testigos. Tal comportamiento se puede atribuir que en los grupos genéticos de NBP (Familias de porte normal y baja poliembrionía) y TEST (testigos híbridos comerciales) existen familias y al menos un híbrido con buena calidad fisiológica. En el apartado B que corresponde a envejecimiento acelerado, es explicado el 79 % de la variación total; donde las variables de vigor (LMPEA, LMREA, PSEA) y en su caso de germinación (PNEA) forman un grupo de variables correlacionadas, estas a su vez con una relación más generalizado con las familias NBP, de esta manera se muestra la respuesta genética positiva de las familias dentro de este grupo, dicho comportamiento es de interés ya que la variabilidad genética dentro de este grupo puede ser útil para seguir en un proceso de mejoramiento. Estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos por Gutiérrez *et al.*, (2011); donde menciona que la restauración de los genotipos al estar sometidos a envejecimiento acelerado comprende desde una modificación genética (ADN) que permite amortiguar, tolerar o restaurar los daños causados por la prueba de vigor. Esta condición en este grupo de familias puede ser utilizada como un criterio de selección para poder tener un margen mayor de almacenamiento de semilla o de post-cosecha y que esta no pueda afectar la calidad fisiológica de las semillas. En esta condiciones también se encuentran genotipos de tercera generación (GEN-3); para el grupo de familias

de porte normal y alta poliembrionía (NAP) con mayor distribución y de manera general relacionadas con las variables de SSGEA y PAEA, por lo que este grupo genético es el que mayor efecto negativo en germinación y vigor demostró después de la prueba de envejecimiento contrariamente con el comportamiento de NBP que se ve favorecida. De acuerdo a resultados obtenidos por Rincón *et al.*, (1990); Salinas *et al.*, (1996) y Gutiérrez *et al.*, (2011), los efectos del envejecimiento acelerado son directos a la expresión de germinación y vigor, con disminución significativa de acuerdo a la proporción de humedad y temperatura en el cual interactúan las semillas. La ayuda gráfica permite conocer la variabilidad que existe entre los grupos genéticos y además la variabilidad dentro de cada grupo genético, lo que supone que existen al menos un genotipo dentro de cada grupo con alta calidad fisiológica.

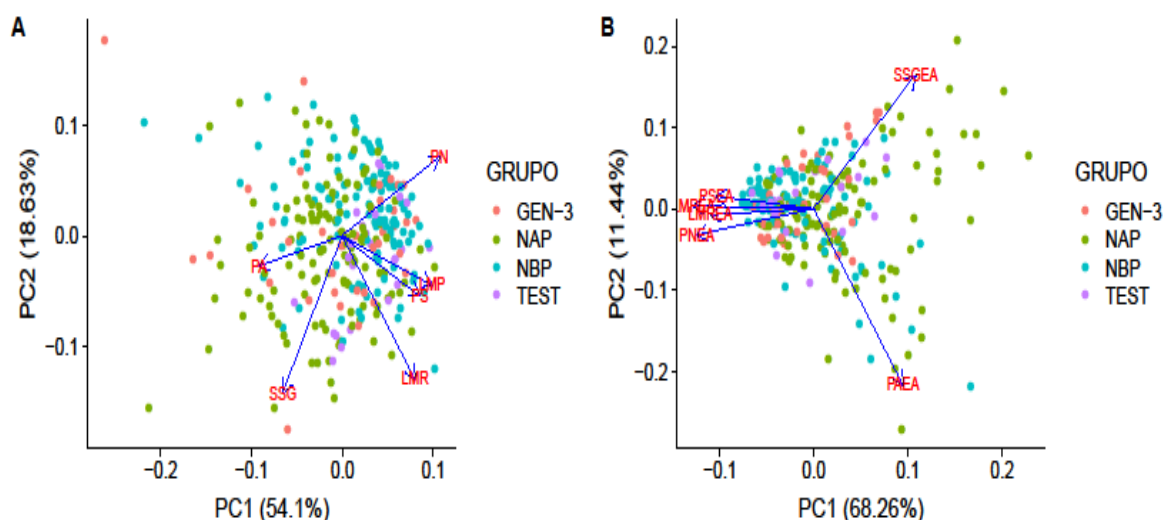


Figura 12. Análisis de componentes principales para variables de germinación y vigor. A) Germinación estándar; B) Envejecimiento Acelerado.

CONCLUSIONES

Los genotipos con mejor producción corresponden a los testigos, teniendo mejor rendimiento el híbrido DK-4060 (DeKalb) seguido por Garañon y por último el híbrido experimental AN-HCM.

En cuanto a los grupos poliembriónicos, familias del grupo de genotipos de porte normal y baja poliembriónia (NBP) aunque por debajo de los testigos la familia A-09 obtuvo un rendimiento de 11.8 t ha^{-1} , seguido por el genotipo C-02 de porte normal y de alta poliembriónia con 11.4 t ha^{-1} . Por otra parte las familias NBP presentaron en lo general mejor comportamiento agronómico, contrariamente con las familias NAP, teniendo mayor incidencia a enfermedades, más tardías y mayor frecuencia al acame.

En cuanto al carácter poliembriónico, la frecuencia entre los grupos segregantes es dinámico entre ambientes, pero esto no confirma que exista una interacción entre ambientes ya que la variable es de tipo cualitativa, con esta dinámica se distingue en NAP que existen familias con frecuencia de hasta 70 % no estables, así también familias (C-11 y C-03) estables entre los ambientes con una frecuencia de alrededor del 64 %. En los ambientes de Rio Bravo y General Cepeda se obtuvieron mayor frecuencia del carácter.

Para calidad física el comportamiento fue variable, aunque los genotipos tuvieron mayores valores en el ambiente de Buenavista, se destacándose a las familias NBP. En cuanto a calidad fisiológica, las familias del grupo NBP obtuvieron mayor comportamiento, ya que presentaron mejor vigor después de ser envejecidos artificialmente, contrariamente con NAP al tener un efecto negativo en vigor.

REFERENCIAS

- Alcalá-Rico, JSGJ, J Espinoza-Velázquez, A López-Benítez, F Borrego-Escalante, R Rodríguez-Herrera, R Hernández-Martínez. 2018. Agronomic performance of maize (*Zea mays* L.) populations segregating the polyembryony mutant. Rev. Fac.Cs. Agr Universidad del Cuyo. Argentina. (en Prensa) ISSN on-line: 1853-8665.
- Antuna G O, F Rincón S, E Gutiérrez R, N A Ruiz T, L Bustamante G (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26:11-17.
- Balzarini M, Bruno C, Peña A, Teich I, Di Rienzo J. 2010. Estadística en Biotecnología. Aplicaciones en Info-Gen. Encuentro Grupo Editor. Córdoba, Argentina.
- Balzarini M.G., Di Rienzo J.A. InfoGen versión 2016. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>.
- Barros, T. S. and Filho, J. M. 2003. Accelerated aging of melon seeds. Scientia Agrícola. 60(1):77-82
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- B Batygina, T & Vinogradova, Galina. (2007). Phenomenon of polyembryony. Genetic heterogeneity of seeds. Ontogenez. 38. 166-91. 10.1134/S1062360407030022.
- Batygina, T.B., Genetic Heterogeneity of Seeds. Embryological Aspects. Fiziol Rastenii. 1999^a vol. 46, no. 3. pp.61-64.
- B Batygina, T & Vinogradova, Galina. (2007). Phenomenon of polyembryony. Genetic heterogeneity of seeds. Ontogenez. 38. 166-91. 10.1134/S1062360407030022.
- Baskin. C.C. 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. & Technol. 1:427-452.
- Betran, F. J. and A. R. Hallauer. 1996. Hybrid improvement after reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. Maydica 41:25-33.
- Castro Gil M, S Rodríguez Herrera. 1979. Estudio preliminar del potencial de plantas de maíz con tallos gemelos, Fitotecnia. 2(3): 39-49.

- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Crossa J, P L Cornelius, M Vargas. 2000. Modelos Estadísticos Multiplicativos para el Análisis de la Interacción Genotipo x Ambiente. CIMMYT. México D. F. 30 pp.
- Durán, H. D.; Gutiérrez, H. G.; Arellano, V. J.; García, R. E. y Virgen, V. J. 2011. Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. Agron. Mesoam. 22(1):11-20.
- Erdelská, O. 1996. Polyembryony in maize: histological analysis. Acta Societatis Botanicorum Poloniae. Vol. 65(1-2):123–125.
- Espinoza J, M C Vega, E Navarro, G A Burciaga (1998) Poliembrionía en maíces de porte normal enano. Agron. Mesoam. 9:83–88.
- Evans M M S (2007) The indeterminate gametophyte 1 gene of maize encodes a LOB domain protein required for embryo sac and leaf development. The Plant Cell 19:46–62.
- FAOSTAT (2017). FAO, Dirección de estadística. Comparación de producción.
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigor testing. In: Seed vigor testing seminar. Zurich: International Seed Testing Association. Copenhagen Denmark.1-9.
- González-Vázquez, VM, Espinoza-Velázquez, J, Mendoza-Villarreal, R, De León-Castillo, H, & Torres-Tapia, MA. (2011). Caracterización de germoplasma de maíz que combina un alto contenido de aceite y poliembrionía. *Universidad y ciencia*, 27(2), 157-167.
- Hallauer A R, J B Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press, Ames, IA. pp: 183-201.
- Hallauer, A. R. (2001). Specialty Corns. Second Edition. CRC Press LLC. Library of Congress Cataloging Publication Data. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C pp466.
- Hernández L., A. y Carballo C., A. 1997. Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia*. 31(4):397-403.
- Kelly A., F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.

- Kermicle, JL. 1969. Androgenesis conditioned by a mutation in maize. *Science* 166(3911): 1422-4.
- Kermicle, JL. 1971. Pleiotropic effects on seed development of the indeterminate gametophyte gene in maize. *Am. J. Bot.* 58:1- 7. DOI10.1002/j.1537-2197.1971.tb09938.x.
- Meyer, A. M. and A. Poljakoff. 1975. The germination of seed .Second Edition. Pergamon Press. Orford .pp 153-178.
- Mora-Mata E, Torres-Tapia M A, Zamora-Villa V M, Espinoza-Velázquez J, Facio Parra F. (2013) Capacidad de germinación de semillas y vigor de plántulas en familias de maíz poliembriónico y de alto contenido de aceite. *Agraria* 10 (1): 19-26.
- Moreno M E, M E Vázquez, A Rivera, R Navarrete, F Esquivel. 1988. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mayz L.*) stored under adversed conditions. *Seed sci. Technol.* 26:439-448.
- Moreno M. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa universitario de alimentos. Tercera edición. UNAM. México. 103- 128.
- Morgan DT, Repleye RD (1951) Polyembryony in maize and lily, following X-irradiation of the pollen. *Jour. Hered.* 41: 90-93.
- McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair, and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27:177-237.
- Néstor Felipe Chaves-Barrantes, Marco Vinicio Gutiérrez-Soto. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agron. Mesoam.* 28(1):255-271. ISSN 2215-3608 doi:10.15517/am.v28i1.21904
- Paliwal, R. L. (2001). Mejoramiento del maíz por selección recurrente. *El maíz en los trópicos. Mejora y producción.* RL Paliwal, G. Granados, HR Lafitte y AD Violic (Eds.). *Colección FAO: Producción y Protección Vegetal*, 28, 123-143.
- Pérez de la Cerda, Felipe de Jesús; Carballo Carballo, Aquiles; Santacruz Varela, Amalio; Hernández Livera, Adrián y Molina Moreno, Juan Celestino. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agríc. Téc. Méx* [online]. vol.33, n.1, pp.53-61. ISSN 0568-2517.
- Pesev N, R Petrovic, Lj Zecevic, M Milosevic (1976) Study of possibility in raising maize inbred lines with two embryos. *Theor. Appl. Genet.* 47:197–201.

- Pilu R (2000) The twin trait maize. *Maize Gen. Coop. News.* 74: 51.
- Rawson, H. M. y Gómez, H. Trigo regado. Manejo del cultivo. FAO. 2001. 61p.
- Rebolloza, H. H.; Espinoza, V. J.; Sámano, G. D. y Zamora, V. V. M. 2011. Herencia de la poliembrionía en dos poblaciones experimentales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(1):27-33.
- Rincón, F., & Molina, J. (1990). Efecto del método de envejecimiento artificial sobre la germinación de semillas de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 51-53.
- Rincón-Sánchez, Froylán, Ruiz-Torres, Norma A., Cuellar-Flores, Ricardo, & Zamora-Cancino, Francisco. (2014). 'Jaguan', variedad criolla mejorada de maíz para áreas de temporal del sureste de Coahuila, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 37(4), 403-405. Recuperado en 02 de mayo de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000400014&lng=es&tlng=es.
- Ruiz-Torres N A, Rincón-Sánchez F, Bautista-Morales V M, Martínez-Reyna J M, Burciaga-Dávila H C y Olvera-Esquivel M. (2012). Calidad fisiológica de semilla en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Agraria* 9(2):43-48.
- Gutiérrez-Hernández Germán F, Jorge M. Vázquez-Ramos, Elpidio García-Ramírez, Marina O. Franco-Hernández, José L. Arellano-Vázquez y Dagoberto Durán-Hernández. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 34 (2): 77-84.
- Salinas Y. Molina J. 1996. Efecto del ácido giberélico y de la temperatura sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz. *Información Tecnológica – Vol 7 N° 2*.
- Salazar, P.; Trejo, A. y Hernández, L. M. 2006. Pruebas de envejecimiento acelerado en semillas de maíz (*Zea mays* L.) de diferentes bases genéticas. *Rev. Unellez Cienc. Technol.* 24:63-69.
- Sánchez-Villarreal, A. Floración en plantas tropicales y subtropicales: ¿Qué tan conservados están los mecanismos que inducen y controlan la floración? *Agroproductividad*. Sep2016, vol. 9 Issue 9, p50-55. 6p.
- SAS. 2000. Statistical Analysis System. Software Release 8.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP 2013. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012.

- Tomes, T. D. 1998. Heterosis: performance stability adaptability to changing technology, and the foundation of agriculture as a business. In: Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants. Lamkey, K. R., and J.E. Staub. (Eds). Madison, Wisconsin. pp:13-27.
- Vashisth, A. 2009. Germination characteristics of seeds of maize (*Zea mays* L.) exposed to magnetic fields under accelerated ageing conditions. J. Agric. Physics. 9:55-58.