

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comparación de Germinación y Vigor de Semillas de Maíces Poliembriónicos

Por:

**MIGUEL ÁNGEL CÓRDOBA GÓMEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comparación de Germinación y Vigor de Semillas de Maíces Poliembriónicos

Por:

**MIGUEL ÁNGEL CÓRDOBA GÓMEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. José Espinoza Velázquez  
Asesor Principal



Dra. Francisca Ramírez Godina  
Coasesor



M.P. María Alejandra Torres Tapia  
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por el hecho de darme la oportunidad de seguir con vida y haberme mostrado la vocación para llegar a ser quien ahora soy, por todos aquellos lugares que pude conocer en mi estancia y compañeros que me puso en el camino para guiarme y crecer, disfrutando de la calidez de la vida, aún en la presencia de momentos inoportunos.

A Mí Alma Terra Mater, por darme todas las herramientas necesarias para poder cumplir una meta más en mi vida. Siendo 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.

A la M.C. Alejandra Torres Tapia, por estar incondicionalmente a cualquier duda o sugerencia y más que nada la paciencia que tuvo para poder realizar esta investigación, ¡Muchas Gracias! De corazón.

Al Dr. José Espinoza Velázquez, por haber sido parte de este gran proyecto y por su disponibilidad gracias.

Al ahora ya M.C. Geovani Roblero Muñoz, por el apoyo hacia cualquier duda y trabajo que realizamos en laboratorio, y hacer del experimento menos aburrido ya que teníamos muchos materiales por evaluar, muchas gracias.

A la Dra. Francisca Ramírez Godina, por la disponibilidad hacia el trabajo y aporte de sus conocimientos.

A todos mis docentes, que me forjaron a ser la persona que soy y compartieron todos sus conocimientos y estuvieron para mí hacia cualquier duda y para aconsejarme.

## **DEDICATORIA**

**A mi querida Madre:** Susana Córdoba Gómez

Por su gran amor y cariño, por alentarme en salir adelante, aconsejarme y estar siempre pendiente de mí, sobre todo por el apoyo incondicional.

Siempre estaré orgulloso de ser tu hijo, Mamá. Gracias por la mejor herencia... La educación.

**A mi familia:**

Por el apoyo incondicional, la motivación y palabras de aliento para seguir forjándome en la vida, muchas gracias tíos, tías, primos, primas y sobrinos. Gracias por recibirme en temporada vacacional y a la vez darme un motivo más para concluir mis metas y que se sientan orgullosos de mí.

¡Muchas Gracias! Los quiero mucho.

### **A mis entrenadores:**

Gabino Herrera Barrera y Crisóstomo Barraza Chavira por los regaños con y sin motivo, y apoyarme dentro y fuera de la cancha y hacer de mí el jugador que ahora soy. Además de hacer más placentera mi estancia en la universidad como alumno y amigo. ¡Muchísimas Gracias!

### **A mis compañeros de Voleibol:**

Que conocí gracias a la selección de voleibol; Alfonso, Noé, Héctor, David, Yabin, Vitalino, Julio, Mariano, Chino, Neymar, Edgar, Pikis; por hacer más divertidos los días en la Universidad y torneos representando a la Universidad. También gracias al reciente equipo representativo; Edu, Oscar (Yogui), Checo, Alejandro, Luis, Paco y Marcos. Que me dejaron ser parte aun del equipo.

Gracias también al equipo femenino ya que de ahí también forje buenas amistades y aguantaron mi carácter y a la vez soportaron mis bromas; Lupita, Mariana, Margot, Ale, Josselin, Meli, Michelle, Diana y Katya. ¡Muchas Gracias! A todos que me permitieron ser parte de su vida y me ofrecieron su amistad incondicional. Por los buenos y malos ratos que me hicieron pasar, en la cancha, viajes, convivios y demás. Siempre podrán contar con su buen amigo Ángel o witho como se les plazca llamarme.

### **A mis compañeros y amigos:**

Con los que compartí toda mi estancia en la Universidad; Jaqui, Ale, Esne, Tere, Moy, Migue, Ulises, Beto, Emi, Menona, etc.; que gracias a todos forjamos no solo una amistad, sino una familia e hicimos más agradable la

estancia fuera de casa. Gracias también a mis amigos que no estuvieron en la Universidad, pero en cada periodo vacacional me motivaron a seguir adelante; Teddy, Chompa, Joselo, Pedrito, Marcelo, Eddy. Y como olvidar a mis rommies de obregón que me aguantaron todos los días en el tiempo que estuvieron en la universidad e hicieron que no se notara estar fuera de casa. Gracias a Harry, Luz, Ram, Jampa, Gabino y Pikis. que me recibieron cuando recién ingrese a la Universidad ¡muchas gracias!

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
Producción nacional de maíz.....	5
Demanda de características de germoplasma en maíz.....	5
Alternativa los poliembriónicos.....	6
Venta de semilla de maíz.....	8
Requisitos para la comercialización.....	9
Calidad fisiológica de las semillas y la selección de variedades.....	13
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
Ubicación de experimento.....	17
Material genético.....	18
Actividades realizadas en campo.....	19
Desgrane y limpieza de semilla.....	20
Variables evaluadas.....	20
Análisis estadístico.....	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
Resultados de análisis de varianza general.....	26
Resultados de análisis de varianza en la localidad Rio Bravo.....	29
Resultados de análisis de varianza en la localidad Buenavista.....	33
Correlaciones entre variables.....	37
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
3.1	Identificación de los genotipos del estudio.....	18
4.1	Cuadrados medios, nivel de significancia y media general de las variables evaluadas en el estudio de comparación de genotipos poliembriónicos de maíz.....	26
4.2	Cuadro de comparación de media con letra de agrupamiento de cada variable y de ambas localidades de los genotipos de maíz poliembriónico.....	27
4.3	Cuadro de medias por cada uno de los genotipos, con agrupamiento de letras de ambas localidades de maíces poliembriónicos.....	28
4.4	Cuadrados medios, nivel de significancia y media por Localidad de las variables evaluadas en el estudio de comparación de genotipos poliembriónicos de maíz, Localidad 2 (Rio Bravo).....	30
4.5	Cuadro de medias por cada uno de los genotipos, con agrupamiento de letras de ambas localidades de maíces poliembriónicos, Rio Bravo.....	32
4.6	Cuadro de medias por cada uno de los genotipos, con agrupamiento de letras de ambas localidades de maíces poliembriónicos, Buenavista (UAAAN).....	34
4.7	Cuadro de medias por cada uno de los genotipos, con agrupamiento de letras de ambas localidades de maíces poliembriónicos, Buenavista (UAAAN).....	35
4.8	Cuadro de resultados de análisis de correlaciones entre las variables evaluadas.....	38

## RESUMEN

El maíz es uno de los cereales más demandado a nivel mundial ya que se utiliza de diversas maneras, como lo es en la alimentación humana y animal, así como en la elaboración de productos industriales de aplicación diversa. La poliembrionía es un fenómeno de interés agronómico y económico, con potencial para aumento de la producción y competitividad. La presente investigación se llevó a cabo con la finalidad de comparar las diferentes metodologías de la calidad fisiológica (germinación y vigor) de 35 materiales genéticos, integrados por 15 familias de cada una de las poblaciones IMM-UAAAN-NAP (altura normal de alta poliembrionía), e IMM-UAAAN-NBP (altura normal de baja poliembrionía), y cinco genotipos segregantes de la poliembrionía, generados inicialmente de cruzas de líneas de alta endogamia (AN-255-18-19; AN-Tep-3, AN-CS-8, AN-7 y CML-78) con la población NAP; teniendo como testigos a tres híbridos que representan al maíz común, dos de ellos, Garañón y DK-4060, son materiales comerciales, y uno, UAAAN-HCM, es un híbrido triple experimental, generado en UAAAN.

Una vez hecho el desgrane y limpieza de los diversos genotipos, se evaluaron 100 semillas de cada material genético por localidad, utilizando cuatro repeticiones por cada material y localidad, aplicando una prueba de calidad fisiológica inicial de germinación (GER), y luego se procedió a realizar un deterioro a la semilla mediante Envejecimiento Acelerado (EA) y posterior se evaluó el vigor a través del porcentaje de plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG), longitud media de plúmula (MLP), longitud media de radícula (LMR) y la tasa de crecimiento de plántula (Pesos seco, PS) conforme a la ISTA (2009) y AOSA (1992). Al término de la evaluación y analizados los datos mediante un diseño de bloques completamente azar, a través de las dos localidades, se encontró en el análisis de varianza una diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre localidades, genotipos y en la interacción localidades por genotipos en todas las variables; se realizó una comparación de medias (DMS,  $\alpha 0.05$ ); los resultados indican que la localidad

Buenavista tuvo la mejor respuesta en la calidad fisiológica de la semilla de los genotipos, con una germinación inicial, y aún después del EA por arriba del 88%, así como un mayor vigor en las variables de LMP (9.97 cm/plántula), LMR (17.5 cm/plántula) y PS (72.2 mg/plántula). En la comparación entre genotipos, sobresalieron G1, G2, G9, G10 y G14 en un primer grupo estadístico con valores altos en todas las variables, indicando que en maíces con poliembrionía, el EA no causa deterioro a la semilla, al contrario favorece la germinación, al estar en temperatura alta (42°C) por un tiempo prologando de 96 horas. Sin embargo, en el resto de los genotipos se mostró una disminución en la germinación y por ende en el vigor de la plántula, como se vio en los testigos Garañón, DK-4060 y UAAAN-HCM, quienes formaron parte de los grupos estadísticos con valores bajos.

Se realizaron análisis de varianza por localidad para una mejor apreciación en la comparación de los genotipos. Los resultados en la localidad Buenavista, permiten señalar un similar comportamiento en los genotipos, destacando en GER a G2, G11, G13 y G17 desde 99 a 98%, incluido UAAAN-HCM (97%) en el primer grupo estadístico; después del EA, sobresalieron G17 y G4 (99%) dentro de 24 genotipos en este grupo; y en el vigor de plántula después EA, en LMP a G17 (12.24 cm/plántula) y T33 (11 cm/plántula); en LMR a G9 (19.83 cm/plántula), y en PS a G7 (92.45 mg/plántula). Mientras que en Río Bravo, en GER sobresalieron, G2, G8 y G6 desde 96% a 86%; en PN después del EA a G10 y G6 (97%) y T33 (91%), dentro del primer grupo de 11 genotipos; en LMP G2, G6, G10 y T38 desde 11.9 a 10.5 cm pl<sup>-1</sup>; en LMR destaco T38 (19.44 cm pl<sup>-1</sup>), seguidos G16, G19, G21 (18.6, 18.4 y 17.9 cm pl<sup>-1</sup>); y en PS a G1, G6 y G9 (77.2, 76.1 y 75.6 mg pl<sup>-1</sup>) y al testigo T38 con 64.4 mg pl<sup>-1</sup>. Así mismo, en el análisis de correlaciones entre variables de los genotipos estudiados, se encontró una asociación positiva y significativa de entre las variables GER y PN después del EA; y esta última tuvo una correlación positiva y significativa con las variables LMP, LMR y PS.

Con base en los resultados de esta investigación, se concluye que la producción de semilla de maíces poliembriónicos tiene una mayor calidad fisiológica en condiciones como la localidad 1 (Buenavista); sin embargo, la tendencia de

respuesta en la calidad fisiológica de semillas a través de las variables evaluadas de los genotipos G2, G9, G10 y G14 fue sobresaliente en ambas localidades. Así, para evaluar la calidad fisiológica de semilla en materiales genéticos poliembriónicos, las pruebas aplicadas en el estudio fueron favorables sobre todo para materiales de NBP, cuando se requiere promover la germinación, el EA aumenta la germinación estándar inicial y el vigor de la plántula generando mayor longitud de plúmula y raíz; así como aumento en la acumulación de peso seco.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es de importancia mundial ya que se utiliza de diversas maneras en la alimentación humana y animal, así como en la elaboración de productos industriales de aplicación diversa. México es uno de los países donde mayormente se consume este cereal, ya que es uno de los alimentos de la canasta básica de la población mexicana, y es utilizado para la generación de productos derivados como aceites, granos para pozole, palomitas, tamales, elotes, cereales, harina, azúcar o glucosa, entre otros.

Por la importancia del maíz en México, es este uno de los países con mayor demanda en producción, aunque a la fecha no ha podido ser autosuficiente, ya que en el ciclo 2016-2017 la importación de maíz para México alcanzó los 14 millones de toneladas, procedentes principalmente de los Estados Unidos, que significaron 2 mil 385 mdd, de acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Las importaciones son mayormente en maíz amarillo (13 millones t) destinado en su mayor volumen a la producción de alimentos balanceados para la ganadería. En cuanto al maíz blanco, el país tiene autosuficiencia, ya que, en el periodo señalado, importó 1 millón t, y exportó 1.5 millones t.

En la agricultura en los últimos años ha revolucionado en la generación de técnicas alternas para lograr tener mayor producción de cultivos en menos espacio, con la ayuda del mejoramiento genético aprovechando las modificaciones fisiológicas y/o anatómicas naturales o de adaptación de algunas especies, logrando aportaciones en la generación de nuevos materiales adaptables a los cambios drásticos del clima y que facilitan tener mayor densidad de población en plantas con menor densidad de siembra.

Por ejemplo, la poliembrionía en maíz (denominada de aquí en adelante como "PEm") es una característica natural que puede aprovecharse como una vía adicional en el diseño de variedades de aplicación especial. Este fenómeno es de interés agronómico y económico por el aumento de la producción y competitividad, las ventajas que ofrece son favorables, aportar mayor potencial de rendimiento, incremento del valor nutrimental del grano, aumento de la calidad y cantidad de

aceites almacenados causados por la presencia de dos o más embriones por semilla. (Sánchez, 2017). Resultando en el aumento en el número de plantas y mazorcas. Otros beneficios, son de bajo costo de producción, por mismo número de semillas y mayor población de plantas por área de producción. Sin duda este fenómeno ayudaría bastante con la demanda nacional e internacional.

Sin embargo, no solo es importante contar con variedades que concentren características sobresalientes, sino que se cuente con suministro suficiente y oportuno de semilla para la producción de estos materiales. Uno de los valores agronómicos relevantes en la producción y suministro de semillas para siembra es la calidad, concepto conocido como el grado de excelencia de una semilla para lograr establecerse, desarrollarse y producir fruto con valores altos de rendimiento; esta calidad se mide en cuatro parámetros dados por: la calidad genética, física, sanitaria y fisiológica.

El último parámetro es de suma importancia para la comercialización de semillas, se determina en tres fases: 1) la viabilidad, evalúa características genéticas y de vigor desde la planta, durante la maduración de semilla, daños mecánicos y hasta almacenamiento de la misma; 2) la germinación, que es la capacidad de una semilla de generar plantas normales en condiciones óptimas de acuerdo con el tipo y especie, debido a que existen muchos factores que pueden afectar este parámetro. Por último, 3) el vigor de la semilla, el cual representa el comportamiento real de un cultivo por su desempeño en campo. El vigor, es la capacidad de la semilla de germinar y desarrollar una plántula normal, aun en condiciones adversas, el método aplicado permite medir la fuerza, la rapidez de desarrollo, resistencia al estrés ambiental (lluvias, sequía) y la capacidad de mantener la viabilidad hasta el almacenamiento (embrión vivo).

Existen pruebas de laboratorio que determinan el vigor de un lote de semillas mediante condiciones artificiales como el envejecimiento acelerado (EA) que consiste en deteriorar de manera controlada la semilla de manera similar tal y como ocurre naturalmente; es la prueba de vigor más aplicada a semillas comerciales por su exposición a altas temperaturas y humedad, lo cual merma su capacidad germinativa, el crecimiento inicial de plántulas, la tolerancia a

condiciones adversas. Estas manifestaciones adversas no ocurren uniformemente en semillas, aún en un mismo lote (González, 2014). Debido a que cada una de las semillas se comporta de manera diferente, respondiendo de forma diferencial a condiciones adversas.

En Instituto Mexicano de Maíz “Dr. Mario Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, consciente de ello, ha generado a través de su programa de mejoramiento genotipos de maíz que contienen y heredan el fenómeno de la poliembriónía (Espinoza et al., 1998), con características sobresalientes en la calidad nutricional, alto contenido de lisina, triptófano y ácidos grasos (González et al., 2011) y rendimiento. Sin embargo, no se tiene suficiente información sobre la evaluación de la calidad de semillas, debido a las características fenotípicas y la fisiología propia de estos materiales poliembriónicos. Por ello, el presente estudio trata de determinar las características de calidad fisiológica de este tipo de materiales genéticos, a través de las diferentes pruebas de calidad recomendadas por la ISTA (2015).

### **Objetivo general**

- Comparar la respuesta de germinación y vigor de materiales genéticos de maíz poliembriónico producidos en dos localidades, en condiciones de laboratorio.

### **Objetivo específicos**

- Comparar la germinación estándar con las diferentes metodologías de vigor en materiales genéticos de maíz que incluyen la poliembrionía producidos en dos localidades.

### **Hipótesis**

- Al menos una de las metodologías estudiadas será efectiva en determinar la calidad fisiológica de la semilla de la mayoría de los materiales genéticos bajo estudio.
- Al menos uno de los materiales genéticos concentrará capacidades superiores en calidad fisiológica.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Producción nacional de maíz**

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal básico en la alimentación en México y es aquí donde se presenta el mayor consumo per cápita del mundo. Es también en México en donde se encuentra una de las mayores riquezas en cuanto a diversidad genética de esta planta. Ello se atribuye a que en este país es donde se domesticó al maíz (Kato *et.al.*, 2009).

El cultivo de maíz es sin duda, el más importante del país y resume en buena medida la naturaleza y los problemas de la agricultura mexicana (González y Sánchez, 2009). Desde el punto de vista del comercio exterior, el grano de maíz es el rubro más importante de las importaciones de productos agropecuarios del país. Por ello es una de las actividades económicas que más ha sido estudiada. Siendo un cultivo estratégico tanto para la producción como la alimentación de los mexicanos, es preciso dar seguimiento a los diversos indicadores de producción y eficiencia (entendida como rendimiento por hectárea) en las distintas regiones del país.

### **Demanda de características de germoplasma de maíz**

El conocimiento de los factores que determinan el aumento de la demanda y la tasa de utilización de semilla mejorada es importante por las ganancias que se pueden obtener en la productividad y en el bienestar de los productores de maíz. Con el objetivo de determinar los factores que afectan la demanda y la probabilidad de usar semilla mejorada de maíz en México, ya que esta es de suma importancia como uno de los insumos que utiliza el agricultor. Está claro que en nuestro país es bastante la demanda ya que, en alimentos como la tortilla, y otros productos como tamales, pinole, elote, tostadas, botanas, etc. son demandados cotidianamente. el maíz moderno, tal y como se le conoce en la actualidad, se caracteriza en siete grandes grupos, a saber: El maíz cristalino (duro), maíz dulce, el maíz palomero o reventador, maíz dentado, maíz harinoso, maíces cerosos, y el maíz tunicado, utilizado casi exclusivamente para investigación. Se puede agregar algunas otras variantes, aunque son derivadas de algunos de los grupos mencionados, como los

tipos de maíces opacos con proteínas de alta calidad, y el tipo de maíz “baby” o cornlets, o baby sweetcorn. todos estos tipos modernos de maíz son utilizados para diferentes aplicaciones, lo cual conlleva a diferentes procesos y presentaciones.

La secretaría de agricultura y desarrollo rural, nombrada antes de ahora como “Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)”, reportó que en 2016 dentro del documento de Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, el 76 % del maíz amarillo se destinó al consumo pecuario, 18% a la industria del almidón, 2% al autoconsumo humano y el resto a las mermas (2%). Y el 52% del maíz blanco se destinó al consumo humano, 19% al consumo pecuario, 18% al autoconsumo, 6% a las exportaciones, 1% a semilla para siembra y el resto a mermas (4%).

### **Alternativa de los poliembriónicos**

El mejoramiento genético y la innovación en semillas han sido factores cruciales en el aumento de la productividad del maíz y los ingresos de los productores de todo el mundo. En México, particularmente en las zonas de temporal, la demanda de semillas mejoradas es heterogénea y el resultado de la adopción es incierto, esto, debido principalmente a la gran variación de condiciones ambientales en que se cultiva (Donnet *et al.*, 2012)

Por ello es que se han generado diversos trabajos sobre la poliembriónía en maíz, (Alcalá *et al.*, 2016). Comentan que en el Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN), se iniciaron por Castro (1973) quien reporta los resultados de estudios realizados en maíces con el carácter “doble embrión”, originados en el compuesto 301- SSE (Selección Súper Enana) en una frecuencia de 1 a 2 %. Los casos encontrados aquí se derivaron por segregación de la mencionada población, la cual fue formada a 9 partir de germoplasma de la población Puebla grupo 1, Tuxpeño braquítico, y muestra de una población de maíz con la característica “tallo cuadrado” amarillo, cristalino, de procedencia argentina.

La poliembrionía en maíz (PEm) es un fenómeno de interés en este cultivo, ya que es una característica natural que puede aprovecharse como una vía complementaria en el diseño de variedades de aplicación especial. Resultados de investigación utilizando genotipos de maíz con PEm (Valdez, 2005; González et al., 2011; 2013; Domínguez, 2013; Alcalá et al., 2018; Roblero, 2019) se ha podido documentar que el fenómeno, inserto en varias fuentes de maíz común, influye de manera positiva en, mayor potencial de rendimiento y el valor nutrimental del grano.

Además, por su posibilidad de producir dos o más plantas, causada por la presencia de dos o más embriones por semilla. Esta condición también puede presentar ventajas agronómicas, tales como: reducción en la cantidad de semilla usada en la siembra, mayor producción de materia seca por hectárea sembrada e incremento de la calidad nutrimental del grano (Pesev *et al.*, 1976; Rodríguez y Castro, 1978; Castro, 1979; Gómez, 1983; Espinoza *et al.*, 1998; González *et al.*, 2011).

Algunos autores, han aprovechado este fenómeno y han dado lugar a diferentes trabajos de investigación, por ejemplo, el incremento de la calidad nutrimental del grano de maíz (*Zea mays* L.) puede lograrse al combinar fuentes de germoplasma que se complementen en cuanto a su alto contenido de aceite y calidad proteica (Espinoza *et al.*, 1998; González *et al.*, 2011).

### **Ventajas y desventajas**

Pese a lo anterior, este grano, al igual que otros cereales, presentan una característica común en su estructura proteica, comúnmente son deficientes en lisina (LI) y triptófano (TR) (Bressani, 1992). Esta es una desventaja nutricional ya que los dos son aminoácidos esenciales para humanos y animales mono gástricos, quienes no los sintetizan de manera suficiente y deben obtenerlos de proteínas de origen animal (Martínez *et al.*, 1996).

Por lo tanto, para plantar una unidad de área se requerirá menos semilla, lo que se traducirá en menores costos de almacenamiento y transporte. Sin embargo, se necesitan experimentos de rendimiento y densidad de población para evaluar la

mejora en el rendimiento de grano debido a las variedades de maíz poliembriónico (Espinoza *et al.*, 1998; Domínguez, 2013).

### **Venta de semilla de maíz**

La producción agrícola requiere insumos como fertilizantes, mano de obra, plaguicidas y semilla; esta última puede ser criolla o mejorada. Por ser utilizada como insumo, la cantidad consumida de semilla mejorada de maíz está en función de la producción del grano, variable que depende de la superficie cosechada y del rendimiento. Un aumento en la superficie cosechada eleva la producción y aumenta el consumo de insumos como la semilla mejorada, de acuerdo a como lo comenta (García y Ramírez, 2014).

En México se realizó una estimación del consumo de este insumo. El consumo total se comparó con la producción de semilla mejorada para determinar el saldo comercial (déficit o superávit) en cada zona productora de maíz.

Se utilizó información de superficie y densidad de siembra por estado, ciclo de producción, régimen hídrico y variedades de maíz, así como importaciones y exportaciones de semilla por aduana y país de origen y destino. Los resultados indican que en el promedio anual del periodo 2008/2010 el consumo total de semilla fue de 160.2 miles de toneladas, de las cuales 42.5 % correspondió a mejorada y el restante a criolla. La producción anual de semilla mejorada fue de 62.5 mil toneladas y el déficit fue mayor a 90 mil toneladas.

El análisis del saldo comercial indica que 26 entidades presentaron un déficit de semilla mejorada, y el mayor ocurrió en los estados de Chiapas, Puebla, Oaxaca, Veracruz y Estado de México, donde superó las 10 mil toneladas en cada entidad. Debido a su importancia en el aumento de la productividad de maíz, se debe promover la producción de semilla mejorada para cubrir el déficit nacional y apoyar a pequeñas empresas productoras de semilla para evitar la existencia de una estructura imperfecta de mercado (García y Ramírez, 2014).

En cuanto a la superficie sembrada según al régimen de humedad, el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria

(CEDRSSA), reportan que, en el 2015 la superficie de las semillas mejoradas, en cuanto a temporal 6,716,371 has. Teniendo como un 63 por ciento de superficie y en cuanto a la superficie irrigadas abarca solo el 37 por ciento. Siendo los estados de Tamaulipas, Sinaloa, Zacatecas, Chihuahua, Guanajuato y Jalisco, los que reportan mayor superficie sembrada de semilla mejorada, resaltando a Tamaulipas y Sinaloa con más del 90 por ciento de su superficie es semilla mejorada. En contrapartida, los estados de Oaxaca y Yucatán, reportan menos del 20 por ciento de su superficie sembrada se utilizan semillas mejoradas.

### **Requisitos para la comercialización en semillas de maíz**

En la comercialización de semillas, según el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas, dependencia descentralizada del gobierno mexicano para estos asuntos (SNICS), indica que se requiere observar algunos parámetros que consisten en el cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 5, fracción VII de la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas, y dando cumplimiento al artículo 13 de su reglamento; el cual tiene por objeto integrar, difundir y mantener actualizado el Directorio de Productores, Obtentores y Comercializadores de Semillas, para lo cual debe incluir a las personas físicas y personas morales que se dediquen a la obtención de variedades vegetales, así como a la producción, almacenamiento, beneficio, distribución, exportación, importación y comercio de semillas para siembra, al mismo tiempo que reporta la capacidad instalada (infraestructura) con la que cuentan.

Y en cuanto a variedades según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, ahora SADER). Los Derechos que otorga la Ley Federal de Variedades Vegetales se enumeran enseguida:

1º Ser reconocido como obtentor de una variedad vegetal. Este derecho es inalienable e imprescriptible.

2º Aprovechar y explotar, en forma exclusiva y de manera temporal, por si o por terceros con su consentimiento, una variedad vegetal y su material de propagación,

para su producción, reproducción, distribución o venta, así como para la producción de otras variedades vegetales e híbridos con fines comerciales.

Vigencia del aprovechamiento exclusivo:

a) Dieciocho años para vides, especies perennes (forestales, frutícolas, ornamentales) y su porta injertos.

b) Quince años para las especies no incluidas en el inciso anterior.

Excepciones para el derecho de obtentor:

No se requiere el consentimiento del obtentor de una variedad vegetal para utilizarla, cuando el material es utilizado como:

a) Insumo de investigación para la obtención de otras variedades vegetales;

b) Uso propio, como grano para consumo o siembra;

c) Para el consumo humano o animal.

Ámbito de protección del derecho de obtentor:

Se protege el material de propagación o semilla para siembra de cualquier género y especie vegetal. En esta definición no se incluyen algas y hongos.

Requisitos de la variedad vegetal:

1. Novedad: cuando la variedad no se enajena,

1.1. Un año anterior a la fecha de presentación de la solicitud de título de obtentor en territorio nacional, o;

1.2. Dentro de los seis años anteriores a la presentación de la solicitud (en perennes) o de cuatro años para el resto de las especies en el extranjero.

2. Distinción: cuando la variedad vegetal se distinga técnica y claramente por uno o varios caracteres pertinentes de cualquiera otra variedad.

3. Homogeneidad: si la variedad vegetal es suficientemente uniforme en sus caracteres pertinentes, a reserva de la variación previsible por su reproducción sexual o multiplicación vegetativa.

4. Estabilidad: si conserva inalterados sus caracteres pertinentes, después de reproducciones o propagaciones sucesivas.

Adicionalmente a estos requisitos, el obtentor propone una denominación, que permita identificar claramente la variedad vegetal. El nombre propuesto debe ser diferente a cualquier otro existente de la misma especie botánica o de una especie semejante, en el país o en el extranjero, y no ser idéntica o similar en grado de confusión a una previamente protegida conforme a la Ley de Propiedad Industrial.

Requisitos de presentación:

1. Solicitud de título de obtentor: Nombre del (los) investigador, fitomejoradores, productor o persona física que obtuvo o desarrolló la variedad; en caso de ser más de uno, la participación que porcentualmente le corresponda a cada uno en su aprovechamiento y explotación.
2. Informe técnico: Señalar la designación genérica planteada para identificar la variedad. Esta denominación, en caso de ser aprobada, quedará firme para todos los efectos legales; es conveniente indicar también la referencia del obtentor.
3. Comprobante del pago de derechos.
4. Acreditación de la personalidad del representante legal (en su caso).

Disposiciones transitorias:

Es importante destacar algunos preceptos incluidos en los artículos IV y V transitorios de la Ley Federal de Variedades Vegetales, que se refieren a:

1. Excepción en la novedad para aquellas variedades vegetales que hayan sido inscritas en el Registro Nacional de Variedades de Plantas al que se refiere la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas; estas variedades son

susceptibles de otorgamiento de título de obtentor, previo cumplimiento de las condiciones previstas en la propia ley. La duración de la protección de los derechos se determina conforme la fecha en que fue asignado el número de registro en el Registro Nacional de Variedades de Plantas y los plazos de vigencia señalados en la ley.

2. Transferencia de expedientes del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial que:

2.1. Hayan sido presentados con anterioridad a la entrada en vigor de la ley, de conformidad con lo establecido en el artículo V transitorio del decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Fomento y Protección de la Propiedad Industrial publicado en el Diario Oficial de la Federación Del 2 de agosto de 1994.

2.2. Se encontraban en trámite al amparo de la Ley de Fomento y Protección de la Propiedad Industrial.

Administración de los Derechos de Obtentor:

La recepción, gestión y análisis técnico de las solicitudes de título de obtentor la realiza el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

El SNICS, es un órgano administrativo desconcentrado de la SAGARPA, creado desde 1961. Actualmente desarrolla tres proyectos fundamentales:

- a) Certificación y análisis de semillas.
- b) Protección a los derechos de obtentor.
- c) Coordinación de acciones en materia de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura.

Comité Calificador de Variedades Vegetales:

La verificación del cumplimiento de los requisitos de novedad, distinción, homogeneidad y estabilidad de las variedades solicitadas para protección, así como la aprobación de la denominación varietal le corresponde al Comité Calificador de

Variedades Vegetales, el cual se instaló el 16 de junio del 2000. Para el desempeño de sus funciones, el Comité se auxilia de grupos de apoyo técnico compuestos por expertos en cada género o especie.

### **Calidad fisiológica de semillas y la selección de variedades**

La comprensión de los aspectos socio-económicos de los ambientes de producción del maíz es esencial para una adecuada planificación y para llevar a cabo programas de mejoramiento y producción (Beck y Vasal, 1993). Según Harris (1999), una de las opciones más importantes que poseen los agricultores para incrementar los rendimientos es la adopción de variedades mejoradas, adaptadas a la región.

La interacción de genotipo-ambiente puede modificar la magnitud del comportamiento de una variedad a través de localidades, por lo que es razonable que los agricultores demandan nuevos materiales, sean variedades mejoradas o híbridos de maíz que respondan consistentemente a los ambientes de producción. Esta diversidad ambiental modifica el ordenamiento relativo de los distintos cultivares difundidos, condicionando el proceso de selección de genotipos próximos a inscripción o la introducción de nuevo germoplasma.

El proceso de selección de mazorcas para semilla en campo consiste en marcar las mejores plantas cuando el cultivo se encuentra en las etapas de floración, elote duro y madurez de cosecha. Se van a seleccionar y marcar sólo aquellas plantas que reúnan las características de interés, por ejemplo, que florezcan antes que el resto (si son más precoces pueden ser menos afectadas por la sequía o las heladas); que estén sanas (si se mantienen sanas entre un grupo de plantas enfermas, es que son resistentes a esa enfermedad); las que son de menor altura y de tallo grueso (son más resistentes al acame), que las mazorcas provengan de plantas con competencia completa, evitando tomarlas de los surcos de orilla, entre otras.

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). Además de la interacción entre ellas, se determinan durante el ciclo biológico de la planta materna y son afectadas por factores bióticos y abióticos (Sierra *et al.*, 2008).

El estudio de factores controlables de la producción de semilla en maíz es de primordial importancia, debido a que muchos de ellos o sus interacciones pueden afectar la obtención de un mejor rendimiento y calidad de la semilla producida (Hernández *et al.*, 2010). 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 óptimas.

Por ello, a lo largo de los años se han realizado diversos estudios sobre pruebas de laboratorio que reflejen de manera eficaz la calidad real de la semilla, permitiendo cumplir con los requisitos establecidos para asegurar su integridad y conservación, la comercialización, y el establecimiento en campo. Todas estas medidas desencadenan todo un sistema de producción de semillas, cumpliendo con normas de calidad que garanticen el éxito en la producción de un cultivo.

Se han propuesto diversas pruebas para evaluar el vigor y por razones de operatividad, eficacia y costo, una prueba de vigor debe ser barata, sencilla, cuantitativa, reproducible y correlacionada con la emergencia en campo de la semilla (McDonald, 1980). Las pruebas de vigor se dividen en dos tipos: a) directas, las cuales simulan las condiciones donde pasan las semillas en el campo, con la ventaja que se evalúan todos los factores que afectan el vigor; y b) indirectas, que miden atributos fisiológicos de la semilla y son medidos en el laboratorio y relacionado con el establecimiento en campo (Copeland, 1976).

La prueba de envejecimiento acelerado (EA) deteriora la semilla de manera artificial, dando una condición como 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). La prueba disminuye su capacidad germinativa, el crecimiento inicial de plántulas, la tolerancia a condiciones adversas y no ocurre uniformemente en semillas, aún en un mismo lote (McDonald, 1999), además de ser considerada una de las pruebas que más refleja la emergencia en campo.

Dada la importancia de las semillas como materia prima para un establecimiento de cultivo, y sobre todo considerando que la evaluación y estimación de la calidad fisiológica es primordial en la comercialización y selección de materiales genéticos para propósitos de registro de nuevas variedades.

Salazar *et al.* (2006), encontraron que el efecto de EA fue más acentuado a las 48 horas de exposición, afectando de manera negativa la germinación, longitud radical y peso seco de raíz, pero no fue suficiente para disminuir la altura de la plántula y peso seco de la plúmula en nueve cultivares de maíz; así mismo, los autores señalaron que existió una respuesta variable en la pérdida de germinación en los materiales estudiados y se logró identificar materiales resistentes y susceptibles al deterioro.

Durán *et al.* (2011) estudiaron la respuesta del envejecimiento acelerado en cuatro variedades criollas azules de maíz, teniendo un efecto negativo en el peso seco de la plántula, al disminuir con el envejecimiento acelerado, Y un incremento el número de plantas anormales (PA) en los materiales.

Fontana *et al.* (2016) mencionan que las pruebas de (EA) para determinar el vigor, basado en el aumento del deterioro de las semillas, cuando se exponen a condiciones de alta temperatura y humedad relativa por periodos de tiempo que varían según la especie, son de las más utilizadas a nivel internacional y es necesario estandarizarlas para cada especie. Una de sus deficiencias radica en que, en función de la especie y para una misma temperatura, el aumento del periodo de exposición proporciona ganancias en los porcentajes del contenido de agua de las semillas.

Ayala *et al.* (2006) mencionan que el tratamiento de envejecimiento acelerado en frijol, presenta los valores más bajos en todas las variables, con excepción de plantas anormales, lo que demostró que este tratamiento deterioró las semillas y disminuyó significativamente el vigor.

González *et al.* (2008) mencionan que existe una disminución de la calidad fisiológica al someter la semilla de maíz a estrés por envejecimiento acelerado. Las variedades con mayor porcentaje de germinación después del envejecimiento, tienen mayor capacidad de almacenamiento o de resistir al deterioro impuesto por condiciones de estrés.

Jacinto *et al.* (2017) señalan que los cambios evidentes por envejecimiento acelerado fueron el oscurecimiento de la testa y el endurecimiento del grano de maíz, medido en términos de tiempo de cocción. El cambio de color inducido por el envejecimiento acelerado se correlacionó con el ocurrido después de cuatro años de almacenamiento, pero no con el tiempo de cocción.

Arango (2018) encontró que luego de la ejecución de la prueba de EA en semillas de maíz a 41°C durante 72 horas y llevados a germinación en una cámara bioclimática, todos los lotes de híbridos produjeron plántulas con coleóptilo sano y fuerte, indicando que la temperatura y el tiempo de exposición no les afectó en la morfología y fisiológica de la plántula.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación de los experimentos generadores de las semillas**

La presente investigación consistió en estudiar semillas de 38 diversos materiales de maíz, las cuales fueron producidas y cosechadas en el año 2017, provenientes de establecimientos de los materiales en dos localidades: Río Bravo, Tamps. (enero – junio), y Buenavista, Saltillo (Campo experimental de UAAAN), Coahuila, México (junio – diciembre).

### **Descripción de localidades**

Localidad 1: En el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Río Bravo–Tamaulipas, cuyas coordenadas geográficas 25° 57' de Latitud Norte y 98° 01' de Longitud Oeste, y una altitud de 26 msnm.

Localidad 2: En el campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Está situado en Municipio de Saltillo, a 7 km, al sur de esta ciudad, sobre la carretera 54 (Saltillo-Zacatecas). Se localiza entre las coordenadas geográficas 25° 22" de latitud norte y 101° 02" longitud oeste y a una altitud de 1742 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. Al tiempo de la madurez fisiológica y óptimo se cosecharon las mazorcas de cada material y se procedió al desgrane para la obtención de semillas.

Una vez limpia la semilla, se llevó al Laboratorio de ensayos de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), donde se realizó su evaluación de los materiales sobre calidad fisiológica.

### **Material genético**

Los 38 materiales genéticos derivados de familias provenientes de poblaciones NAP (Normal de Alta Poliembriónía) y NBP (Normal de Baja Poliembriónía), y genotipos segregantes de la poliembriónía, provenientes de cruzamientos iniciales entre materiales poliembriónicos (Poblaciones NAP y BAP) con líneas endocriadas, como AN-255-18-19, AN-Tep-3, AN-CS-8, an-7 y CML-78. Con excepción de este último genotipo, los materiales son generados por el Instituto Mexicano de Maíz “Dr. Mario Castro Gil perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Como testigos se utilizaron tres híbridos, dos de categoría comercial, y uno experimental, los cuales representan al maíz común, no-PEm (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1 identificación de los genotipos del estudio**

<b>Identificación</b>	<b>Genotipo<sup>‡</sup></b>	<b>Procedencia</b>
G1	Familia A-01	Población IMM-UAAAN-NBP
G2	A-02	“
G3	A-03	“
G4	A-04	“
G5	A-05	“
G6	A-06	“
G7	A-07	“
G8	A-08	“
G9	A-09	“
G10	A-10	“
G11	A-11	“
G12	A-12	“
G13	A-13	“
G14	A-14	“
G15	A-15	“

G16	B	(IMM-UAAAN-NAP x AN-7)
G17	C	(IMM-UAAAN-BAP x CML-78)
G18	C-01	Población IMM-UAAAN-NAP
G19	C-02	“
G20	C-03	“
G21	C-04	“
G22	C-05	“
G23	C-06	“
G24	C-07	“
G25	C-08	“
G26	C-09	“
G27	C-10	“
G28	C-11	“
G29	C-12	“
G30	C-13	“
G31	C-14	“
G32	C-15	“
T33	DK-4050	Híbrido Comercial
G34	E	(IMM-UAAAN-NAP x AN-255-18-19)
G35	F	(IMM-UAAAN-NAP x AN-Tep-3)
G36	G	(IMM-UAAAN-NAP x AN-CS-8)
T37	Garañón	Híbrido Comercial
T38	IMM-UAAAN-HCM	Híbrido experimental

‡ Los genotipos B, C, E, F y G que aparecen en la columna media son descendientes de tercera generación, segregantes de la poliembriónía, de la cruce inicial señalada en la columna “Procedencia”. La frecuencia PEm promedio en ellos es 18 %.

### Actividades realizadas en campo

La siembra en Río Bravo (INIFAP) se llevó a cabo el 21 de febrero, 2017, en terreno labrado, surcado y fertilizado (100 N: 80 P: 00 K). Una vez trazado el plan de siembra, ésta se realizó de manera manual, a tapapiés.

La siembra en Buenavista, Saltillo (UAAAN) se llevó a cabo en fecha 22 de junio de 2017, utilizando semilla remanente del ciclo desarrollado en Río Bravo. el procedimiento de labranza y fertilización fue similar al aplicado en Río Bravo (INIFAP).

la segunda fertilización en las dos localidades consistió en aplicación aplicando 150 kg de urea (69 unidades de N), al momento del cultivo, cuando las plantas alcanzaron las etapas V6 a V8, alrededor de los 40 días post-siembra.

**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. En Río Bravo, se aplicó riego por gravedad, y en Buenavista, se aplicó por la vía de cintilla, con goteros a 25 cm.

**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:** está 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.

### **Desgrane y limpieza de semilla**

El desgrane de los materiales genéticos en ambas localidades se realizó mediante el sistema tradicional, consistió en frotar dos mazorcas una contra otra, procediendo a limpiar la semilla, para evitar problemas de deterioro en la calidad de semillas por el contenido de materiales contaminantes, como son las hojas, rastrojos, piedras y otros contaminantes que pueden venir acompañando al lote de semillas, se realizó de manera manual y por zarandeo mediante una criba tipo redonda de 12/64”.

### **Variables evaluadas**

Una vez acondicionada la semilla se tomó muestras en cantidad suficiente (2 kg) de cada uno de los materiales con la finalidad de determinar la calidad fisiológica inicial

mediante la prueba de germinación estándar, e inmediatamente después se aplicó la metodología para EA, la envejece la semilla de manera artificial, y se evaluó el vigor mediante el porcentaje de germinación, longitud media de plúmula y peso seco de la plántula.

**Germinación estándar inicial (GER).** Se evaluaron 100 semillas de cada material genético por localidad, realizando cuatro repeticiones por cada material y localidad, conforme a la ISTA (2009), sembrando 25 semillas sobre un papel de germinación húmedo "Anchor" de 24 x 33 cm, después se cubrió con otro papel húmedo, posteriormente se enrolló a formar un "taco", se identificó y colocó en una bolsa de polietileno, una vez realizados los "tacos" y colocados en bolsas, fueron llevados a una cámara de germinación Modelo Lumistell ICP-18, con 8 horas luz y 16 oscuridad, durante 7 días a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Ya germinadas las muestras se realizó un conteo de Plántulas Normales (PN) a los siete días.

**Plántulas normales (PN).** Se consideraron plántulas normales conforme a las reglas de la AOSA (1992), aquellas que tuvieron sus estructuras esenciales: un sistema radicular bien desarrollado, que incluye raíz primaria (radícula), raíces seminales, un epicotilo sin daño en el tejido conductor, plúmula intacta y una hoja verde bien desarrollada dentro del coleóptilo.

Aquellas que presentaron ligeros defectos en las estructuras anteriores o cierto retardo, sin que esto limite su crecimiento y desarrollo y revelen un desarrollo vigoroso y balanceado. Así mismo aquellas que estaban dañadas por hongos y bacterias, siempre y cuando fuera evidente que la fuente de infección no es la semilla, y que presentaran sus estructuras esenciales.

El resultado de plántulas normales se obtuvo como el promedio de las 4 repeticiones y se expresó como porcentaje.

**Envejecimiento acelerado (EA).** La metodología para envejecer la semilla, se llevó a cabo sometiendo 100 semillas por genotipo y localidad, colocándolas en una canasta de plástico con orificios dentro de un vaso precipitado de vidrio de 600 mL,

conteniendo 100 mL de agua destilada, posteriormente se cubrió el vaso con una bolsa de polietileno y sujeta por una liga de caucho.

Los vasos se colocaron en una cámara de envejecimiento VWR Scientific (a VWR COMPANY); que reproduce el daño que ocurriría en el transcurso de meses o incluso años a la intemperie; para simular el envejecimiento del exterior, la cámara expone los materiales a ciclos alternados de luz fluorescente y humedad relativa de 95%, a una temperatura de 42°C, todo ello por 96 horas (4 Días).

Una vez envejecidos, las semillas de cada genotipo y localidad fueron sometidas al procedimiento para determinar el vigor de la semilla mediante la prueba de germinación estándar (anteriormente descrita), cuantificando Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), y Semillas sin Germinar (SSG); así como las pruebas de evaluación de crecimiento de plántula a través de Longitud media de plúmula (LMP), Longitud media de radícula (LMR) y la Tasa de crecimiento de plántula conocida como Peso seco (PS), descritas a continuación.

**Plántulas anormales (PA).** Se consideró como plántula anormal aquellas que durante la prueba presentaron deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales lo que les impide su crecimiento y desarrollo normal como; plúmulas retorcidas en espiral; talluelos hinchados, coleóptilos sin hojas verdes, que miden menos de 2.5 cm. esas se pueden clasificar como anormales por tener alguna deficiencia en desarrollo de sus estructuras esenciales.

1. Presentan una combinación de defectos en sus estructuras esenciales que limitan la continuación de su crecimiento y desarrollo. Estos defectos son bien marcados y varían según las especies. Para una acertada clasificación es conveniente referirse al Manual de Evaluación de Plántulas.
2. Plántulas dañadas, lesiones que dañen el tejido conductor del epicotilo o raíz.
3. Plántulas deformes, con desarrollo débil o desequilibrado de las estructuras primordiales: plúmulas retorcidas en espiral; plúmulas, epicotilos poco desarrollados; talluelos hinchados y raíces sin desarrollo; plúmulas hendidas o coleóptilos sin hojas verdes.

4. Plántulas con estructuras esenciales deterioradas por hongos o bacterias, excepto en el caso que se determine que dichas infecciones no provienen de la semilla.

El resultado de plántulas anormales se obtuvo como el promedio de las 4 repeticiones y se expresó como porcentaje.

**Semillas sin germinar (SSG).** Se determinó como semilla sin germinar a aquellas que se mantuvieron duras durante y al final de la prueba de germinación, ya que no absorben agua porque tienen cubierta impermeable, no muestran ningún signo de desarrollo y comúnmente están flácidas, decoloradas y con presencia de hongo. El resultado de plántulas anormales se obtuvo como el promedio de las 4 repeticiones y se expresó como porcentaje.

**Longitud media de plúmula (LMP).** Se preparó papel de germinación "Anchor" trazando cinco líneas paralelas de 2 cm, marcadas en el eje de 30 cm del papel y a partir de la parte media hacia arriba; en la línea central se colocó una cinta adhesiva doble pegamento. Se adhirieron 25 semillas de cada genotipo por localidad a un cm de separación, quedando sobre la línea central y orientada con el embrión hacia abajo para su crecimiento.

Se cubrieron con otras dos hojas de papel "Anchor", se enrollaron a formar un "taco", se humedecieron con agua destilada, se colocaron en bolsas de polietileno y fueron llevadas a una cámara de germinación Modelo Lumistell ICP-18, a  $25 \pm 1$  °C sin luz, al cabo de los 7 días, se contaron el número de plúmulas que estaban situadas en cada paralela. A las líneas se les dio un valor de 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13 cm valor del punto medio de cada paralela a la línea central.

El número de plúmula que quedó en cada línea se multiplicó por la correspondiente distancia y se sumó, dividiendo la longitud total entre el número de semillas (25), como sigue:

$$L = \frac{(nx1+nx3+.....nx13)}{25}$$

Donde:

L = Longitud media de plúmula en cm.

n = Número de plúmulas entre dos paralelas.

x = Distancia del punto medio de paralelas a línea central.

Las plántulas clasificadas como anormales se excluyen del conteo.

**Longitud media de radícula (LMR).** Se realizó conforme a Perry (1987), sembrando cuatro repeticiones de 25 semillas para cada material en cuatro repeticiones sobre una hoja de papel de germinación “anchor” húmedo y se cubrió con otra hoja de papel humedecida de igual manera para cubrir la semilla, enrollando a formar “tacos”, se colocaron los tacos en una bolsa de polietileno, las cuales se llevaron a una cámara de germinación Modelo Lumistell ICP-18 a  $25 \pm 1$  °C sin luz, al cabo de los 7 días, se midió la raíz principal de diez plántulas normales con ayuda de un escalímetro y se registró el dato en cm.

**Tasa de crecimiento de plántula conocida como Peso seco (PS).** En cuatro repeticiones de 25 semillas fueron sembradas sobre dos hojas de papel de germinación “anchor” de 35.5X63 cm con humedad de 30 ml por hoja, las semillas se colocaron orientadas con el embrión hacia abajo, cubriendo con otra hoja igualmente humedecida, enrollando a un diámetro de 6 cm con orificio de 1 cm, a formar un “taco”. Los “tacos” se colocaron en canastas de plástico de 18X28X31 cm aproximadamente cubriendo con bolsas de polietileno de 35X60 cm y fueron llevadas a una cámara de germinación Modelo Lumistell ICP-18 a  $25 \pm 1$  °C sin luz, al cabo de los 7 días.

Al final de la prueba, las plántulas consideradas normales se colocaron en bolsas de papel kraft y se llevaron a secado por 24 horas a 80 °C, en un horno marca Felisa. Después del secado, el total de las plántulas por repetición se pesaron. El peso total se dividió entre el número de plántulas normales, reportando el resultado en mg/plántula.

### **Análisis estadístico**

Una vez obtenidos los datos de las pruebas de laboratorio, se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2009), utilizando un diseño experimental bloques completamente al azar para utilizando cuatro repeticiones por cada genotipo bajo el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + R_j + GR_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable observada.

$\mu$  = Efecto de la media general del experimento.

$G_i$  = Efecto del i-ésimo genotipo.

$R_j$  = Efecto de la j-ésima repetición.

$GR_{ij}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo genotipo con la j-ésima localidad.

$E_{ijk}$  = Error experimental.

### **Comparación de medias**

Para comparar entre los genotipos se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa, la cual según Steel y Torrie (1986) se calcula mediante los términos siguientes:

$$DMS = (t_{\alpha/2, g.l., EE}) (\sqrt{CMEE/r})$$

Donde:

CMEE = Cuadro medio de error experimental.

r = Numero de observaciones usadas para calcular un valor medio.

$\alpha$  = Nivel de significancia.

g.l.EE. = Grados de libertad del error experimental.

t T = Valor tabular que se usa en la prueba, con los grados de libertad del error y el nivel de significancia.

### **Análisis de correlación simple**

Posteriormente se realizó un análisis de correlación para todas las combinaciones por pares de variables estudiadas con el fin de detectar su posible asociación entre ellas por medio de la fórmula:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

r=Coficiente producto.momento de correlación lineal; x= X-X ; y= Y-Y

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez analizados los datos y diseñados los cuadros del análisis de varianza para las variables evaluadas se describen los siguientes resultados.

En el análisis de varianza general se encontró una alta diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre localidades, genotipos y en la interacción localidades por genotipos en todas las variables evaluadas, como se muestra en el Cuadro 4.1. Estos resultados indican que al menos en una de las localidades produjo una mejor calidad fisiológica de semilla en los genotipos estudiados aún después del Envejecimiento Acelerado; así como entre los genotipos, al menos uno de ellos fue diferente en su calidad fisiológica del resto. El Coeficiente de Variación (CV) en la variable de germinación inicial fue de 8.91% con una media general de 86.9% de plántulas normales; mientras que después del envejecimiento acelerado, la germinación obtuvo un CV de 12.7% con la media general de 79.5% de plántulas normales (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Cuadrados medios, nivel de significancia y media general de las variables evaluadas en el estudio de comparación de genotipos poliembriónicos de maíz.

	Localidad	Rep (Loc)	Genotipos	Loc*Gen	Error Exp.	Media	CV
gl	1	3	37	37	222		
GER	490.11**	96.03*	319.87**	165.84**	60.02	86.90	8.91
PN	22459.76**	102.67*	982.76**	741.5**	101.99	79.5	12.71
PA	2832.84**	56.44n/s	148.3**	121.6**	71.57	8.26	102.4
SSG	11725.5**	59.70*	541.13**	468.18**	34.33	12.2	48.1
LMP	979.82**	4.48**	23.1**	23.91**	1.83	8.17	16.55
LMR	1170.43**	9.75*	39.59**	34.12**	6.49	15.53	16.40
PS	47776.41**	614.47**	696.42**	437.53**	158.54	59.68	21.09

Niveles de significancia: \*\*=  $p \leq 0.01$  altamente significativo; n/s= no significativo; CV (%) Porcentaje de Coeficiente de Variación; GER= Porcentaje de Germinación inicial; PN= Porcentaje de Plántulas Normales; PA= Porcentaje de Plántulas Anormales; SSG= Porcentaje de Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula ( $\text{cm pl}^{-1}$ ); LMR= Longitud Media de Radícula ( $\text{cm pl}^{-1}$ ); PS= Peso seco de plántula ( $\text{mg pl}^{-1}$ ).

Estos resultados eran de esperarse, el tener una disminución del porcentaje de germinación inicial al ser afectado por el estrés del envejecimiento acelerado como lo mencionan algunos autores (Ayala *et al.*, 2006; Gonzáles *et al.*, 2008, Fontana *et al.*, 2016). Sin embargo, existió un contraste muy marcado entre una localidad y otra, simplemente por las distintas condiciones climáticas, donde en Buenavista en el año 2017, Las temperaturas promedio máximas fueron de 30.2 y 19.7°C, y promedio mínimo es de 16.3 a 4.5°C; mientras que, en Río Bravo, el promedio anual en máxima es de 38 a 29°C y la mínima de 24 a 9°C.

Dada la significancia entre localidades, y para verificar este contraste se realizó una prueba de comparación de medias en las variables estudiadas mostradas a continuación en el Cuadro 4.2; sobresaliendo la localidad Buenavista con mayor porcentaje de germinación antes y después del envejecimiento acelerado 88.2 y 88.1% respectivamente; también por obtener los más bajos porcentajes de plántulas anormales y semillas sin germinar, además de presentar los valores más altos de las pruebas fisiológicas de vigor en longitud media de plúmula y radícula, así como de peso seco de plántula, dado que las condiciones climáticas de esta localidad, son más frías, los materiales genéticos respondieron con mejor nivel de calidad que en la localidad de Río Bravo.

Cuadro 4.2 Cuadro de comparación de media con letra de agrupamiento de cada variable y de ambas localidades de los genotipos de maíz poliembriónicos.

Localidades	Germinación inicial (%)	PN (%)	PA (%)	SSG (%)	LMP ( $\text{cm pl}^{-1}$ )	LMR ( $\text{cm pl}^{-1}$ )	PS ( $\text{mg pl}^{-1}$ )
Río Bravo	85.6 b	70.8 b	11.3 a	18.4 a	6.38 b	13.6 b	47.15 b
Buenavista	88.2 a	88.1 a	5.2 b	5.9 b	9.97 a	17.5 a	72.2 a

Diferentes literales indica diferente grupo estadístico; PN= Plántulas Normales; PA= Plántulas Anormales; SSG= Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula; ; LMR= Longitud Media de Radícula; PS= Peso seco de plántula.

Así mismo, por las diferencias significativas entre genotipos, también se realizó una prueba de comparación de medias entre las variables estudiadas (Cuadro 4.3); encontrando en la variable de germinación estándar inicial (GER) 13 grupos estadísticos, dentro del primer grupo estadístico se conformó por 15 genotipos, se destacaron G2 y G8 con 97 y 96.5% respectivamente. Mientras que en el último grupo fue formado por 4 genotipos resultando el G30 con el menor porcentaje de germinación con 70.5%

Cuadro 4.3 Cuadro de medias por cada uno de los genotipos, con agrupamiento de letras de ambas localidades de maíces poliembriónicos.

Genotipos	GER	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS
G1	89.5 abcdefg	88 abcde	4 ghijk	8.5 ghijklm	10.07 bc	17.9 abcd	83.39 a
G2	97 a	93 abc	1 k	5.5 jklmn	10.95 ab	17.66 abcde	75.1 abc
G3	81.5 hijkl	91 abcd	3 ijk	6 ijklmn	9.95 bcd	17.13 abcdef	58 efghijklmn
G4	90.5 abcdef	86.5 bcdefg	7 cdefghijk	6.5 hijklmn	8.48 efg	15.2 efghij	61.66 defghijk
G5	85 efghij	84 cdefghi	5 fghijk	10.5 ghijk	8.41 efg	16.29 bcdefghi	57.67 efghijklmn
G6	93.5 abcd	84 cdefghi	6.5 defghijk	9.5 ghijkl	8.87 cde	13.52 j	63.04 cdefghij
G7	83.5 fghijkl	81 efghijk	9 abcdefghijk	9 ghijkl	8.36 efg	17.9 abcd	65.89 cdefgh
G8	96.5 a	87 bcdef	8.5 bcdefghijk	4.5 lmn	8.49 efg	14.9 fghij	67.53 bcdef
G9	93.5 abcd	94 ab	1 k	5 klmn	10.95 ab	18.1 abc	78.33 ab
G10	94 abcd	97 a	2 jk	1 n	11.54 a	17.9 abcd	72 abcd
G11	94.5 abc	84 cdefghi	5.5 efghijk	9 ghijkl	8.23 efg	14.5 ghij	58.49 efghijklm
G12	87.5 cdefghi	83 defghij	5.5 defghijk	11 ghij	8.14 efg	14.24 ghij	66.34 bcdefg
G13	92.5 abcde	82 defghijk	11 abcdefghi	6 ijklmn	8.02 efg	13.52 j	60.11 defghijklm
G14	89.5 abcdefg	91.5 abcd	5 fghijk	3 mn	8.72 def	13.65 j	71.1 abcd
G15	89.5 abcdefg	86.5 bcdefg	4 ghijk	9.5 ghijkl	8.34 efg	14.22 ghij	69.27 bcde
G16	88.5 cdefgh	88 abcde	6 defghijk	6 ijklmn	10.24 ab	17.9 abcd	47.73 mno
G17	96 ab	88 abcde	6.5 defghijk	5 klmn	10.07 bc	15.86 cdefghij	56.76 fghijklmn
G18	82.5 ghijkl	78 fghijkl	11 abcdefghi	11 ghij	7.26 ghi	18.1 abc	61.74 defghijk
G19	81 hijkl	78 fghijkl	7 cdefghijk	14 defg	7.52 fghi	17 abcd	57.94 efghijklmn
G20	88 cdefghi	76.5 hijklm	9.5 abcdeghij	14 defg	6.59 ijkl	16.3 bcdefghi	60.25 defghijkl
G21	86.5 defghi	74.5 ijklm	12 abcdefg	12 fgh	7.4 fghi	16.2 bcdefghi	54.64 ghijklmn
G22	88 cdefghi	85 bcdefgh	15.5 ab	8.5 ghijklm	6.73 hijk	15.45 defghij	57.30 efghijklmn
G23	85.5 efghij	67.5 mno	13.5 abcde	19 cd	6.22 jklm	14.98 fghij	50.28 klmno
G24	87 cdefghi	76 hijklm	12.5 abcdef	12 fgh	7.25 ghi	14.33 ghij	48.29 lmno
G25	84 fghijk	77 ghijklm	11.5 abcdefgh	11.5 ghi	7.58 efghi	15.7 cdefghij	53.54 hijklmn
G26	76 lm	46 q	15 abc	38.5 a	4.98 mn	9.31 k	50.69 jklmno
G27	78.5 jkl	62.5 nop	12.5 abcdef	28.5 b	5.29 lmn	13.82 ij	47.88 lmno
G28	76.6 klm	55.4 pq	12 abcdefg	31.5 b	5.66 klmn	9.78 k	46.02 no
G29	89.5 abcdefg	73.5 klm	14 abcd	13 efg	7.33 ghi	13.43 j	52.77 ijklmn
G30	70.5 m	58.5 op	13.5 abcde	28 b	4.75 n	13.9 hij	39.95 o
G31	81 hijkl	75.5 hijklm	12 abcdefg	12.5 efg	7.22 ghi	14.31 ghij	61.88 defghijk
G32	87 cdefghi	73 klm	17 a	10 ghijkl	7.33 ghi	14.27 ghij	53.57 hijklmn

<b>T33</b>	87.5 cdefghi	76 hijklm	7 cdefghijk	17.5 cdef	8.33 efg	16.4 bcdefgh	60.89 defghijk
<b>G34</b>	77 klm	70.5 lmn	7 cdefghijk	22 c	7.49 fghi	13.86 ij	53.71 hijklmn
<b>G35</b>	92 abcde	90 abcde	3 ijk	6.5 hijklmn	10.48 ab	17.6 abcd	57.83 efg hijklmn
<b>G36</b>	80.75 ijkl	76 hijklm	6 defghijk	18 cde	8.44 efg	18.6 ab	64.34 cdefghi
<b>T37</b>	86.5 defghi	73 klm	8.5 bcdefghijk	13.5 defg	7.92 efgh	16.6 abcdefg	52.69 ijklmn
<b>T38</b>	94.5 abc	89.5 abcde	3.5 hijk	6 ijklmn	11.02 ab	19.1 a	69.16 bcdef

Diferentes literales indica diferente grupo estadístico; GER= Porcentaje de Germinación inicial; PN= Porcentaje de Plántulas Normales; PA= Porcentaje de Plántulas Anormales; SSG= Porcentaje de Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula, PS= Peso seco de plántula.

Con respecto a la variable de vigor de PN después del EA, mostrada en el Cuadro 4.3, se encontraron 17 grupos estadísticos, donde en el primer grupo estadístico formado por diez genotipos destacó el G10, con el mayor porcentaje de germinación (97%); mientras en el último grupo estadístico se encontraron a G26 y G28 con 46 y 55.4% de germinación cada uno. Sin embargo, los genotipos G3, G7, G9, G10, G14 y G16; tuvieron un comportamiento contrario al descrito por algunos autores (Ayala *et al.*, 2006; Gonzáles *et al.*, 2008, Fontana *et al.*, 2016), Quienes mencionan que el estrés por envejecimiento acelerado causa una disminución en la germinación, lo que pudiera tener la posibilidad que en caso de maíces con poliembrionía no causaría efecto, o favorecería la germinación, al estar en condiciones de alta temperatura por un tiempo prologando de 96 horas. Pero, el resto de los genotipos si mostró esta tendencia a la que hacen referencia estos autores.

Para una mejor apreciación en la comparación de los genotipos en las localidades estudiadas, se llevó a cabo un análisis de varianza por localidad, describiendo los resultados como sigue:

### **Resultados del análisis de varianza en la Localidad Río Bravo**

En el análisis de varianza en la localidad 1, se encontró una alta diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos las variables evaluadas, como se observa en el Cuadro 4.4. Estos resultados nos indican que al menos en uno de los genotipos produjo una mayor calidad fisiológica en la germinación y vigor; conteniendo un CV de 10.42% en el porcentaje de germinación inicial y con un promedio general de 85.63% de plántulas normales, resultado que muestra, como se mencionó

anteriormente, que en esta localidad las condiciones climáticas, pudieron ser un efecto negativo en la producción de semillas de estos genotipos, al mostrar una baja calidad fisiológica en la germinación estándar; generando así, después de un envejecimiento de semillas, un vigor con un CV de 17.13% y una media general en el porcentaje de germinación de 71.14% de plántulas normales (Cuadro 4.4).

Así, en la variable plántulas anormales, se obtuvo una media de 11.33%, teniendo un alto CV de 92.36%, debido a que en esta variable alguno de los genotipos no presentó porcentajes por su elevado vigor; este efecto también se encontró en la variable semillas sin germinar marcando un CV de 38.13% y teniendo una media general de 18.13%.

Cuadro 4.4 Cuadros medios, nivel de significancia y media en la Localidad 1 de las variables evaluadas en el estudio de comparación de genotipos poliembriónicos de maíz.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Ger (%)	PN (%)	PA (%)	SSG (%)	LMP (cm pl <sup>-1</sup> )	LMR (cm pl <sup>-1</sup> )	PS (mg pl <sup>-1</sup> )
Genotipo	37	270.14**	1327.6**	191.63*	850.88**	33.66**	60.23**	661.02**
Repetición	3	82.71*	77.43	102.36	106.37	5.15	8.16	739.76**
Error Exp.	109	79.63	148.6	109.57	47.81	2.43	8.09	236.67
Total	149							
CV (%)		10.42	17.13	92.36	38.13	24.42	10.42	32.62
Media		85.63	71.14	11.33	18.13	6.38	85.63	47.15

Niveles de significancia: \*\*=  $p \leq 0.01$  Altamente significativo; \*=  $p \leq 0.05$  Significativo; CV (%) Porcentaje de Coeficiente de Variación; GER= Germinación; PN= Plántulas Normales; PA= Plántulas Anormales; SSG= Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula.

Con respecto a las variables de vigor longitud media de plúmula y de radícula, se encontró un CV de 24.42% y con una media de 6.38 cm/plántula para LMP, y para LMR se obtuvo un CV de 10.42%, con una media general de 85.63 cm/plántula, como se muestra en el Cuadro 4.4. En el caso de la variable PS, se tuvo la misma tendencia de alto CV con 32.62% con una media de 47.15 mg/plántula.

Así mismo, al haber encontrado diferencias significativas entre genotipos de la localidad 1, se realizó una prueba de comparación de medias en las variables estudiadas (Cuadro 4.5), encontrando en la variable fisiológica de germinación estándar inicial (GER), ocho grupos estadísticos, destacando en el primer grupo los

genotipos G2, G8 y G6 con valores medios de 96% a 86%; nuevamente se logró observar que la germinación inicial de estos materiales fue superior que del resto, dado entre ellos también el testigo IMM-UAAAN-HCM (T38), quien sobresalió con una germinación inicial de 92%. Mientras en el último grupo fue formado por G28 y G26, ambos con una media de 66%, indicando su baja calidad fisiológica inicial y por ende estarían en desventaja que el resto de los genotipos al someterse a un estrés.

Para la variable plantas normales de la prueba de envejecimiento acelerado se encontraron 17 grupos estadísticos, sobresaliendo los genotipos G10 y G6 con una media de 97% y el testigo DK-4050 (T33) con 91% formando parte de los 11 genotipos del primer grupo estadístico; mientras el último grupo estadístico lo formaron G26 y G28, como era de esperarse con los valores más bajos de 10 y 20.7 % respectivamente (Cuadro 4.5), lo cual marca el efecto negativo al ser sometida una semilla de baja calidad a un estrés, dando como resultado un bajo vigor.

En cuanto la variable de plántulas anormales, la prueba de comparación de media mostró ocho grupos estadísticos, donde los genotipos G2, G6, G9, y el testigo IMM-UAAAN-HCM (T38) tuvieron los valores más bajos de 2% de anormalidades, marcados con la literal “h” como el último grupo estadístico formado por 25 genotipos en el Cuadro 4.5; nuevamente se reafirma que los materiales con poliembrionía no se logran afectar en una prueba de estrés, contrastando con algunos autores (González *et al.*, 2008, Fontana *et al.*, 2016). Mientras que nueve genotipos formaron el primer grupo estadístico con los más altos porcentajes de anormalidad en las plántulas, estando G32, G22, G26, G28 y G29 desde 28 a 20 %, donde el primero fue el más afectado.

Con respecto a el porcentaje de SSG, la prueba comparación de medias reflejó 14 grupos estadísticos, donde el mejor grupo fue conformado por ocho genotipos entre los cuales G10 y G14 no presentaron semilla sin germinar y se encuentran señalados con la literal “n” en el Cuadro 4.5, así como el testigo IMM-UAAAN-HCM encontrado como T38, que formo parte de este grupo con 6%; reafirmando lo descrito anteriormente, que algunos materiales poliembriónicos del estudio no se vieron afectados por el EA; en cambio el peor grupo fue formado por G26, G27 y

G28, con valores inferiores a 70 %, siendo del grupo de materiales genéticos que se vieron afectados por EA, como lo mencionan algunos autores (Fontana *et al.*, 2016; Ayala *et al.*, 2006; Gonzáles *et al.*, 2008).

Cuadro 4.5 Resultados de comparación de medias entre genotipos en la localidad Río Bravo, Tamaulipas.

Genotipo	Germinación	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS
G1	83 bcdef	79 bcdefghij	8 cdefgh	14 ghijk	9.2 bcd	17.3 abcd	77.2 a
G2	96 a	89 abcde	2 h	9 ijklmn	10.5 abc	17.2 abcde	62.8 abcd
G3	87 abcd	85 abcdef	4 fgh	11 ijklm	9.2 bcd	15.9 abcdefghi	41 efghijk
G4	92 abc	74 defghijklm	14 abcdefgh	12 hijkl	5.6 ghijk	12.4 ghijklmn	45.2 cdefghijk
G5	91 abc	77 bcdefghik	10 cdefgh	13 hijkl	6 fghij	13.6 efghijkl	26.4 jk
G6	96 a	97 a	2 h	2 mn	11.9 a	16.1 abcdefgh	76.1 ab
G7	93 ab	72 fghijklmn	13 bcdefgh	15 fghijk	6.8 efg	17 abcdef	39.3 fghijk
G8	96 a	85 abcdef	11 cdefgh	4 lmn	6.1 fghi	12.4 ghijklmn	53.2 cdefgh
G9	93 a	90 abcd	2 h	8 jklmn	10.6 abc	16.3 abcdefg	75.6 ab
G10	91 abc	97 a	3 gh	0 n	11.8 a	16.3 abcdefg	62.4 abcde
G11	90 abcd	75 cdefghijkl	9 cdefgh	16 fghij	5.4 ghijk	11.8 jklmn	44.1 cdefghijk
G12	78 defgh	68 ghijklmn	11 cdefgh	21 fgh	5.1 ghijkl	10.6 lmn	51.7 cdefgh
G13	87 abcd	67 hijklmn	21 abc	12 hijkl	4.1 ijklm	9.4 mn	40.3 fghijk
G14	90 abcd	92 ab	8 cdefgh	0 n	6.5 efg	10.4 lmn	65.2 abcdef
G15	90 abcd	80 bcdefghi	5 efg	15 fghijk	6.2 fghi	11.2 klmn	5.9 abcdefg
G16	86 abcde	83 abcdefgh	6 defgh	11 ijklm	9.3 bcd	18.6 ab	36.7 fghijk
G17	93 ab	77 bcdefghijk	13 bcdefgh	10 ijklm	7.9 def	15.2 bcdefghijk	40.3 fghijk
G18	86 abcde	78 bcdefghijk	11 cdefgh	11 ijklm	8.5 cde	17.5 abcd	50.4 cdefghi
G19	81 bcdefg	70 fghijklmn	11 cdefgh	17 fghij	6.9 efg	18.4 ab	47 cdefghij
G20	92 abc	73 efghijklmn	13 bcdefgh	14 ghijk	4.3 ijkl	13.20 efghijkl	39.2 fghijk
G21	88 abcd	84 abcdefg	8 cdefgh	8 jklmn	9.4 bcd	17.9 abc	5.4 bcdefg
G22	89 abcd	77 bcdefghijk	26 ab	15 fghijk	3.1 lmno	12.6 ghijklm	42.7 defghijk
G23	88 abcd	65 ijklmn	20 abcd	15 fghijk	4.7 hijkl	12.4 ghijklmn	41.6 defghijk
G24	87 abcd	60 lmno	18 abcdef	23 efg	3.9 jklmn	11.3 klmn	32.3 hijk
G25	83 bcdef	75 cdefghijkl	9 cdefgh	16 fghij	6.1 fghi	12.2 hijklmn	43.8 cdefghijk
G26	66 h	10 q	21 abc	68 a	0.4 o	2.5 o	32 hijk
G27	73 fgh	45 op	13 bcdefgh	50 b	1.8 no	12 ijklmn	36.6 fghijk
G28	66 h	20.7 q	20 abcd	57 b	0.5 o	2.6 0	29.3 ijk
G29	86 abcde	58 mnop	20 abcde	23 efg	3.7 klmn	8.5 n	34.4 ghijk
G30	69 gh	43 p	17 abcdefg	40 c	2.1 mno	11.9 ijklmn	24 k

<b>G31</b>	80 cdefg	57 nop	19 abcde	24 def	3.7 klmn	11.6 jklmn	50.1 cdefghi
<b>G32</b>	93 ab	59 lmnop	28 a	13 hijkl	5.6 ghijk	12.7 ghijklm	44.6 cdefghijk
<b>T33</b>	81 bcdefg	58 mnop	11 cdefgh	31 cde	5.6 ghijk	14 cdeghijkl	47.8 cdefghij
<b>G34</b>	72 fgh	62 klmn	6 defgh	32 cde	6.1 fghi	13.2 fghijklm	48.1 cdefghi
<b>G35</b>	90 abcd	85 abcdef	3 gh	12 hijkl	9.2 bcd	17.4 abcd	47 cdefghij
<b>G36</b>	74 efgh	63 jklmn	4 fgh	33 cd	5.9 fghij	17.3 abcd	51.4 cdefgh
<b>T37</b>	86 abcde	73 efghijklmn	9 cdefgh	18 fghi	7 defg	15.6 abcdefghij	45.5 cdefghijk
<b>T38</b>	92 abc	91 abc	2 h	6 klmn	11.2 ab	19.44 a	64.4 abc

Diferentes literales indica diferente grupo estadístico; GER= Porcentaje de Germinación inicial; PN= Porcentaje de Plántulas Normales; PA= Porcentaje de Plántulas Anormales; SSG= Porcentaje de Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PS= Peso seco de plántula.

En cuanto para la variable de vigor MLP, se obtuvieron 15 grupos estadísticos, teniendo como primer grupo a G2, G6 y G10, así como el testigo IMM-UAAAN-HCM (T38), con la mayor longitud de plúmula desde 11.9 a 10.5 cm/plántula, como se muestra en el mismo Cuadro 4.5; sobresaliendo G6 y G11 con los más altos valores; y el grupo con menor vigor en longitud fueron G26, G27, G28 y G30 desde 2.1 a 0.4 cm/plántula. En el caso de la variable LMR, en la prueba de comparación se formaron 15 grupos estadísticos, formando el primer grupo 14 genotipos entre ellos G38 con la mayor longitud de raíz de 19.44 cm/plántula, seguidos por mencionar algunos como G16, G19, G21, donde el de menor longitud es de más de 17 cm/plántula. Dadas las bajas longitudes de plúmula y radícula descritas se logró observar el efecto negativo del vigor de la semilla al ser sometida a EA, confirmando lo descritos al respecto por Salazar *et al.* (2006).

En cuanto la variable PS, el análisis mostró 11 grupos estadísticos (Cuadro 4.5), teniendo como primer grupo a ocho genotipos de los cuales sobresalieron G1, G6 y G9 con mayor peso acumulado en las plántulas normales, ubicados entre 77 Y 76 mg/plántula, así mismo, en este grupo se encontró al testigo IMM-UAAAN-HCM (T38) con 64.4 mg/plántula; mientras que el grupo más bajo en vigor de peso seco fueron 20 genotipos entre ellos, siendo los más bajos G5, G28 y G30, con valores inferiores a mg/plántula, señalados en el Cuadro 4.7. Durán *et al.*, 2011

### **Resultados del análisis de varianza en la Localidad Buenavista**

En el análisis de varianza de la localidad 2 (Buenavista), se encontró una alta diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos en todas las variables evaluadas, como se muestra en el Cuadro 4.6. Estos resultados indican que al menos en uno

de los genotipos produjo una mayor calidad fisiológica tanto en germinación como en vigor.

El coeficiente de variación en la variable de germinación inicial fue de 7.2% con una media inicial de 88.17% de plántulas normales; mientras que después de la germinación con envejecimiento acelerado se obtuvo un CV de 8.71% con la media general de 88.07% de plántulas normales (Cuadro 4.6). Con respecto a la variable plántulas anormales, el CV fue de 115.24%, debido a que en algunos de los genotipos no se encontró valor en esta variable (0%), teniendo una media de 5.21%.

En la variable semillas sin germinar mostró un CV de 75.45%, este porcentaje tuvo la misma explicación que en plántulas anormales, con una media de 5.97%. Para las variables de longitud media de plúmula y radícula obtuvieron un CV de 11.67% y con una media de 9.96% en la primera; y en LMR, un CV de 12.62%, con una media de 17.49%, como se muestra en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Cuadrados medios, nivel de significancia y media en la Localidad 2 de las variables evaluadas en el estudio de comparación de genotipos poliembriónicos de maíz.

<b>Fuente de Variación</b>		<b>GER</b>	<b>PN</b>	<b>PA</b>	<b>SSG</b>	<b>LMP</b>	<b>LMR</b>	<b>PS</b>
Genotipo	37	215.58*	335.86**	72.89**	125.08**	11.88**	11.50**	472.93**
Repetición	3	59.32*	124.17*	49.82*	20.31*	2.25*	3.14n/s	51.99n/s
Erro Exp.	111	40.40	58.95	36.06	20.31	1.35	4.87	80.40
Total	151							
CV(%)		7.20	8.71	115.24	75.45	11.67	12.62	12.42
Media		88.17	88.07	5.21	5.97	9.96	17.49	72.19

Niveles de significancia: \*\*=  $p \leq 0.0$ .; Altamente significativo; CV (%) Porcentaje de Coeficiente de Variación; GER= Germinación; PN= Plántulas Normales; PA= Plántulas Anormales; SSG= Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula; PS= Peso seco de plántula.

Por las diferencias significativas encontradas entre genotipos en la localidad 2, se realizó una prueba de comparación de medias entre las variables estudiadas, mostrando los resultados en el Cuadro 4.7, indicando en la variable de germinación estándar inicial (GER), 11 grupos estadísticos, destacando G2, G11, G13 y G17 con una media de 99% al 98%. Cabe resaltar el comportamiento del testigo IMM-UAAAN-HCM (T38) que obtuvo una germinación inicial de 97%. Mientras que en el

último grupo estuvo formado por G5, G18, G3, G7 y G30, resultando el primero (G5) con una media de 79% y el último (G30) con el menor porcentaje de germinación con 72%, lo que quiere decir que la calidad de los materiales genéticos no fue igual al inicio y, por tanto, tendrían una desventaja al ser sometidas a una prueba de estrés como el EA.

En el caso de vigor, en la variable plantas normales después del envejecimiento acelerado se encontraron 11 grupos estadísticos, siendo más destacados G17 y G4 con una media de 99% dentro de 24 genotipos (Cuadro 4.7), teniendo el valor más bajo dentro del grupo 89%; lo que demuestra nuevamente que el EA no afecta en gran medida a los maíces con poliembrionía, como en otros materiales de maíz en donde sí se vieron afectados por el EA (González *et al.*, 2008, Fontana *et al.*, 2016). Cabe señalar que el último grupo dentro de esta variable fueron 5 genotipos con germinaciones de 74% a 65%, siendo G21 el más bajo de todos siendo afectado por el estrés; en cambio el testigo T33 resultó no afectarse por obtener un valor de vigor de 94%, como se muestra en el mismo Cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7 Resultados de comparación de medias entre genotipos en la localidad Buenavista, Saltillo.**

Genotipo	Germinación	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS
<b>G1</b>	96 abc	97 abc	0 g	3 fghi	10.9 abcd	18.4 abcdef	89.6 ab
<b>G2</b>	98 a	97 abc	0g	2 ghi	11.4 abc	18.1 abcdef	87.3 abc
<b>G3</b>	76 ijk	97 ab	2 efg	1 hi	10.7 abcde	18.4 abcdef	75 cdefgh
<b>G4</b>	89 bcdefg	99 a	0 g	1 hi	11.3 abc	18 abcdef	78.1 bcdefg
<b>G5</b>	79 hijk	91 abcde	0 g	8 cdefg	10.8 abcd	19 abcd	88.9 ab
<b>G6</b>	91 abcdef	71 jk	12 abc	17 ab	5.8 lm	10.9 i	49.9 l
<b>G7</b>	74 jk	90 abcdef	5 cdefg	3 fghi	9.9 cdefgh	18.8 abcde	92.4 a
<b>G8</b>	97 ab	89 abcdef	6 bcdefg	5 efghi	10.8 abcd	17.4 abcdefgh	81.8 abcdef
<b>G9</b>	94 abcd	98 ab	0 g	2 ghi	11.3 abc	19.8 a	81 abcdefg
<b>G10</b>	97 ab	97 abc	1 fg	2 ghi	11.2 abc	19.6 ab	81.6 abcdef
<b>G11</b>	99 a	93 abcd	2 efg	2 ghi	11.1 abcd	17.2 abcdefgh	72.9 efgh
<b>G12</b>	97 ab	98 ab	0 g	1 hi	11.2 abc	17.9 abcdef	81 abcdefg
<b>G13</b>	98 a	97 abc	1 fg	0 i	11.9 ab	17.6 abcdefg	80 abcdefg
<b>G14</b>	89 bcdefg	91 abcde	2 efg	6 defghi	11 abcd	16.9 abcdefg	85.9 abcd
<b>G15</b>	89 bcdefg	93 abcd	3 defg	4 fghi	10.4 bcdefg	17.2 abcdefgh	82.7 abcde
<b>G16</b>	91 abcdef	93 abcd	6 bcdefg	1 hi	11.2 abc	17.2 abcdefgh	58.7 jkl
<b>G17</b>	99 a	99 a	0 g	0 i	12.2 a	16.6 bcdefgh	73.2 efgh
<b>G18</b>	79 hijk	78 hij	11 abcd	11 bcde	6 lm	18.6 abcdef	73 efgh

<b>G19</b>	81 ghij	86 defgh	3 defg	11 bcde	8.2 ijk	17 abcdefgh	68.9 ghi
<b>G20</b>	84 fgghi	80 fghij	6 bcdefg	14 bc	8.9 ghijk	19.2 abc	81.2 abcdefg
<b>G21</b>	85 efgh	65 k	16 a	16 b	5.3 m	14.5 h	53.9 kl
<b>G22</b>	87 defgh	93 abcd	5 cdefg	2 ghi	10.3 bcdefgh	18.3 abcdef	71.9 efghi
<b>G23</b>	83 fgghi	70 jk	7 bcdefg	23 a	7.8 jk	17.6 abcdefg	59 jkl
<b>G24</b>	87 defgh	92 abdce	7 bcdefg	1 hi	10.6 bcdef	17.3 abcdefgh	64.3 hijk
<b>G25</b>	85 efgh	79 ghij	14 ab	7 defgh	9 fghij	19.2 abc	63.3 hijk
<b>G26</b>	86 defgh	82 efghi	9 abcdef	9 cdef	9.5 defghi	16.2 cdefgh	69.3 fghi
<b>G27</b>	84 fgghi	80 fghij	12 abc	7 defgh	8.8 hijk	15.7 fgh	59.2 jkl
<b>G28</b>	87 defgh	90 abcdef	4 cdefg	6 defghi	10.8 abcd	17.8 abcdef	62.7 hijk
<b>G29</b>	93 abcde	89 abcdef	8 abcdefg	3 fghi	10.9 abcd	18.3 abcdef	71.2 efghij
<b>G30</b>	72 k	74 ijk	10 abcde	16 b	7.3 kl	16 defgh	55.9 kl
<b>G31</b>	82 ghij	94 abcd	5 cdefg	1 hi	10.7 abcd	17 abcdefgh	73.6 defgh
<b>G32</b>	81 ghij	87 cdefgh	6 bcdefg	7 defgh	9.1 efghij	15.8 efgh	62.5 hijk
<b>T33</b>	94 abcd	94 abcd	3 defg	4 fghi	11.1 abcd	18.8 abcdef	73.9 defgh
<b>G34</b>	82 ghij	79 ghij	8 abcdefg	12 bcd	8.8 ghijk	14.5 gh	59.2 jkl
<b>G35</b>	94 abcd	95 abcd	3 defg	1 hi	11.7 ab	17.7 abcdef	69 ghi
<b>G36</b>	87.5 cdefgh	89 abcdef	8 abcdefg	3 fghi	10.9 abcd	19.8 a	77.2 bcdefg
<b>T37</b>	87 defgh	73 ijk	8 abcdefg	9 cdef	8.8 ghijk	17.7 abcdef	59.9 ijkl
<b>T38</b>	97 ab	88 bcdefgh	5 cdefg	6 defghi	10.8 abcd	18.7 abcdef	73.9 defgh

Diferentes literales indica diferente grupo estadístico; GER= Porcentaje de Germinación inicial; PN= Porcentaje de Plántulas Normales; PA= Porcentaje de Plántulas Anormales; SSG= Porcentaje de Semillas Sin Germinar; LMP= Longitud Media de Plúmula; LMR= Longitud Media de Radícula; PS= Peso seco de plántula.

En cuanto la variable de plántulas anormales (PA) después de un deterioro mostrado en el mismo Cuadro 4.7, se encontraron siete grupos estadísticos, donde se destacaron 7 genotipos (G17, G9, G12, G1, G4, G5 y G2), los cuales no presentaron plántulas anormales, es decir, tuvieron valor 0 %. En cambio, en el último grupo, se tuvieron los valores con mayor porcentaje conformado por 11 genotipos, siendo G21 con mayores anomalías de 16%; dentro de este mismo grupo se encontró a T33 con 3% de incidencia, lo cual indica un efecto del EA, como lo mencionan Fontana *et al.* (2016), que aumentan las anomalías de las plántulas.

Los resultados de la prueba de comparación de medias para semillas sin germinar (SSG), marcaron nueve grupos estadísticos, teniendo dentro del último grupo los mejores genotipos por obtener los más bajos porcentajes, siendo G13 y G17 sin incidencia, señalado en el Cuadro 4.7; y en cuanto a los testigos, se encontró al

testigo DK-4050 (T33) con 4%; mientras que los genotipos del primer grupo presentaron los altos valores de semillas sin germinar fueron, estando G6 con 17% y G23 con 23%, lo cual confirma el efecto negativo del EA (Fontana *et al.*, 2016; Ayala *et al.*, 2006).

En una siguiente variable de vigor, Longitud Media de Plúmula después del envejecimiento acelerado, se obtuvieron 13 grupos estadísticos (Cuadro 4.7), teniendo en el primer grupo a G17 con un valor de 12.24 cm/plántula, cabe señalar que el testigo DK-4050 (T33) presentó hasta 11 cm/plántula de longitud de plúmula, que a diferencia de G21 con 5.33%, que obtuvo la más baja longitud, confirmando lo descrito por Ayala *et al.* (2006), que tiende a disminuir el vigor de la semilla al ser sometida a EA. En la variable de longitud media de radícula después del deterioro, marcó hasta nueve grupos estadísticos, teniendo a G9 con 19.83 cm/plántula de longitud mayor que el resto de los genotipos, seguido el testigo IMM-UAAAN-HCM (T38) con un valor de 18 cm/plántula; en contraste el genotipo G6 obtuvo 10.94 cm/plántula, el valor más bajo de vigor encontrado en esta variable; nuevamente se confirma el efecto negativo del EA, al tener baja LMR como mencionan Salazar *et al.* (2006).

Por último, en los resultados de la variable de vigor peso seco (PS) después del envejecimiento acelerado, se formaron 12 grupos estadísticos, teniendo a G7 con el mayor peso seco acumulado de los materiales evaluados con 92.45 cm/plántula (Cuadro 4.7); mientras que G6, perteneciente al último grupo estadístico con 49.9 cm/plántula, resultó ser el de más bajo vigor.

Así mismo, el testigo DK-4050 (T33) sobresalió nuevamente y presentó un vigor de 74 mg/plántula, cabe señalar que este testigo sobresalió en todas las variables evaluadas entre los testigos. Siendo no estar afectado por el estrés del EA en contraste de lo encontrado por Durán *et al.* (2011).

### **Correlaciones entre variables**

En el análisis de correlaciones entre las variables estudiadas, se encontró una altamente significativa entre ellas, donde a mayor germinación estándar inicial se tengan de los materiales de este estudio, se tendrá una respuesta de mayor vigor en la germinación después del envejecimiento acelerado (PN)  $r=0.45$ ; así como una mayor longitud media de radícula  $r=0.40$  a pesar de haber sido sometida la semilla a un estrés; además se encontró que al tener un mayor porcentaje de PN después del envejecimiento acelerado, se tiene un menor porcentaje de semillas sin germinar con un nivel de  $r=-0.48$  (Cuadro 4.8), confirmando que estas variables son inversamente proporcionales.

**Cuadro 4.8 Cuadro de resultados del análisis de correlaciones entre las variables evaluadas.**

	GER	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS
GER	1.00	0.45*	-0.21	-0.48*	0.29	0.40*	0.21
PN		1.00	-0.67**	-0.87**	0.66**	0.85**	0.59**
PA			1.00	0.33	-0.49*	-0.67**	-0.48*
SSG				1.00	-0.59*	-0.75**	-0.54**
LMP					1.00	0.72**	0.58**
LMR						1.00	0.70**
PS							1.00

Niveles de significancia: \*\*=  $p \leq 0.01$  Altamente significativo; \*=  $p \leq 0.05$  Significativo

Con respecto a la variable de plántulas normales después del EA, se encontró una asociación significativa y positiva con las variables LMP, LMR y PS teniendo  $r=0.66$ ,  $r=0.85$  y  $r=0.59$  de asociación (mismo Cuadro 4.8) en los genotipos estudiados, lo que indica que al obtener un mayor porcentaje PN de los materiales después del EA, se tendrá mayor respuesta en las variables de vigor de crecimiento y peso de plántula aún después del deterioro de la semilla; Así mismo, se encontró que estas variables de vigor tuvieron una correlación altamente significativa y positiva entre ellas, donde LMP  $r=0.72$  y  $r=0.58$  con PS; teniendo además esta misma asociación de LMR con PS de  $r=0.70$ .

Además, el análisis de correlaciones confirmó la relación significativa y positiva que existe entre el porcentaje de PA y SSG que fue de  $r=0.33$ ; así, como la relación negativa con el resto de las variables, dando al igual que en PN, una respuesta inversamente proporcional, ya que a mayor porcentaje de PA se tendrá menor vigor

en LMP con  $r=-0.49$ , LMR con  $r=-0.67$  y PS con  $r=-0.48$ . Y a mayor porcentaje de semilla sin germinar también se presentará menor vigor en la plántula, en las variables de LMP ( $r=-0.599$ , LMR ( $r=-0.75$ ) y PS ( $r=-0.54$ ), como lo muestra el Cuadro 4.8.

## CONCLUSIONES

Con base en estos resultados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Dadas las diferentes condiciones de producción de semilla de los materiales genéticos estudiados, por localidades, se reflejó una respuesta diferente en su calidad fisiológica; donde destacó la localidad 2 (Buenavista), por obtener la mayor calidad de semilla; sin embargo, la tendencia de los comportamientos de los genotipos de las familias de la población IMM-UAAAN-NBP, en ambas localidades fue similar, a mayor germinación estándar inicial presentaron igual o mayor porcentaje de vigor en PN, LMP, LMR y PS.
- Por el origen y tipo de materiales genéticos estudiados, se tuvieron diferentes respuestas en su calidad fisiológica, siendo que los genotipos de familias NBP (Normal Baja de Poliembrionia), en especial G2, G9, G10 y G14, por haber presentado mayor porcentaje en la germinación estándar inicial y respondieron positivamente a la prueba de envejecimiento acelerado, mayor respuesta en las variables de PN, LMP, LMR y PS.
- La respuesta de la calidad fisiológica de la semilla en la localidad en Buenavista, de los genotipos de las familias IMM-UAAAN-NBP (G1, G2, G3, G4, G5, G7, G9, G10, G12, G14 y G15), así como de las familias IMM-UAAAN-NAP (G22 y G31) sobresalieron al tener un efecto positivo al ser sometidos a una prueba de estrés como envejecimiento acelerado, presentando una germinación inicial menor y aumentando los valores de vigor en PN, LMP, LMR y PS después del EA.

- En la respuesta de la calidad fisiológica de la semilla en la localidad 1 (Río Bravo), los genotipos de las familias IMM-UAAA-NBP (G6, G10 y G14) sobresalieron en al tener un efecto positivo al ser sometidos a una prueba de estrés como envejecimiento acelerado, presentando una germinación inicial menor y aumentando los valores de vigor en PN, LMP, LMR y PS después del EA.
- Las metodologías para evaluar la calidad fisiológica de semilla en materiales genéticos poliembriónicos, es favorable sobre todo para materiales de la población NBP, cuando se requiere promover la germinación, el EA aumenta la germinación estándar inicial y el vigor de la plántula generando mayor longitud de plúmula y raíz; así como aumento en la acumulación de peso seco.
- Las correlaciones indican que existe alta variación entre todos los genotipos, ya que se obtuvieron valores muy altos y a la vez también se llegaron a presentar valores en cero y por ende se muestran los valores altamente significativos en todas las variables.

## LITERATURA CITADA

- 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. (in Press) ISSN on-line: 1853-8665
- Arango, P. M. R. 2018. Caracterización de la calidad de lotes de maíz (*Zea mays* L.) para el uso como simiente a través de ensayos fisiológicos y bioquímicos. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional de Rosario. 2018.
- Association of Official Seed Analysis (AOSA). 1992. Vigor Testing handbook. Contribution No.32 to the handbook of seed testing). USA. 6:1-126.
- Ayala G. O. J; Pichardo G. J. M; Estrada G. J. A; Carrillo S. J. A. y Hernández, L. A. 2006. Rendimiento y calidad de semilla del frijol ayocote en el valle de México. Agric. Téc. Méx vol.32 no.3 2006.
- CEDRSSA. 2018. Uso de Semillas Mejoradas en México. Palacio legislativo de san lázaro, Ciudad de México. 2018.
- Donnet, L.; López, D.; Arista, J.;Carrión, F.; Hernández, V.; y González, A. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2012.
- Domínguez Tamayo, A (2013) parámetros genéticos y características agronómicas de genotipos de maíz que segregan poliembrionía. Tesis de maestría en ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre, 2013. 98pp

- Durán, H.D; Gutiérrez, H. G.F.; Arellano, V.J.L.; García R.E. y Virgen, V. J. 2011. Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana* 22(1):11-20. ISSN:1021-7444
- Espinoza, V. J.; Vega, M.C; Navarro, E.; y Burciaga, G.A. Poliembrionía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana*. 1998; 9:83-88.
- Fontana, M. L.; Pérez, V. R. y Luna, C. V. 2016. Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Ciencias Agrarias* 15 (1) ISSN 1666-7719
- García, S. J. A. y Ramírez, J. R. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Re. Fitotec. Mex* vol.37 no.1 Chapingo. 2014.
- García, S. J.A.; y Guzmán, S.E. Factores que afectan la demanda de semilla mejorada de maíz en México. *Rev. fitotec. mex* [online]. 2015, vol.38, n.3, pp.319-327. ISSN 0187-7380.
- González R. F; León G. D; Borges G. L; Pinzón L. L; Magaña M. M; Sangines G. R. y Urrestarazu G. M. 2014. Envejecimiento acelerado sobre calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Rev. Méx. Cien. Agrí.* ISSN 2007-0934
- González, T. G; Mendoza, H. F. M; Covarrubias, P. J; Morán, V. N; y Acosta, G. J. A. 2008. Rendimiento y Calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajo. *Agric. Téc. Méx* vol.34 no. 4 2008. ISSN 0568-2517
- González-Vázquez, VM, Espinoza-Velázquez, J, Mendoza-Villarreal, R, 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.
- González, E.A. y Sánchez R.Y. 2008. Ineficiencia de las transferencias del Estado a la agricultura mexicana, *Rev. Mex. de Econ. Agríc. y de los Rec. Nat.* 1(1):7-26.

- International Seed Testing Association (ISTA). 2009. International rules for seed testing Edition 2009. *The International Seed Testing Association*, Zürichstr. 50 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland. ISBN-13 978-3-906549-53-8.
- Jacinto, H.C.; Bernal, L.I.; Garza, G.R.; y Garza, G.D. 2017. Cambios poscosecha en frijo durante el almacenamiento prolongado en contraste con el envejecimiento acelerado. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas* Vol. 8 Núm. 8 2017. ISSN 2007-0934
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp.México, D.F.
- Martínez, S. J; Virgen, V. J; Peña, O. M.G. y Santiago, R. A. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.1 no.3 ISSN 2007-0934
- Pérez, M.C.; Hernández, L.A.; González, C.F.V.; García, S. G; Carballo, C. A; Vásquez, R.T.R. y Tovar, G.M.R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* Vol.32 no.3 México. ISSN 0568-2517
- Planeación agrícola nacional 2017-2030 ejemplar que forma parte del conjunto de 29 cuadernillos que complementan la investigación de la planeación agrícola 2017-2030 Primera edición,2017.
- Raya. P. J. C; Aguirre. M. C. L; Medina. J. G; Ramírez P. J. G; Andrio. E. E; Castellanos. S. A. y Covarrubias P. J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.3 no.4 texcoco ISSN 2007- 0934
- Roblero Muñoz, E G (2019) Caracterización agronómica y determinación de calidad física y fisiológica en maíces segregantes de la poliembrionía. Tesis de maestría en ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio, 2019. 58pp

- 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. Unell. Cienc. Tec. 24:63-69
- Sánchez, B.F. 2017. La asombrosa poliembrionía del maíz. AGENCIA INFORMATIVA CONACYT.
- SAS Institute Inc. 2009. Base SAS® 9.1.3 Procedures Guide. Second Edition, Vol. 4. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 398 p.
- Serna-Saldívar S O, C A Amaya-Guerra (2008) El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y la alimentación. *In: Nixtamalización del Maíz a la Tortilla. Aspectos Nutrimientales y Toxicológicos.* M E Rodríguez-García, S O Serna-Saldívar, F Sánchez-Sinencio (eds). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. pp:105-151.
- Steel D. R.G. y Torrie H.J. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda Edición. McGraww-Hill. Colombia. ISBN 968-451-495-6, 613 p.
- Valdez Lara, L E (2005) Respuesta asociada a la selección de genotipos de maíz en frecuencia de poliembrionía y calidad nutrimental del grano. Tesis de maestría en ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo, 2005. 72pp.